



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
ADMINISTRACIÓN**

Escuela de Ingeniería de Sistemas

***Evaluación multicriterio en sistemas de información
geográfica aplicada a la cuenca del río Paute***

Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero de Sistemas

Autor:

Jorge Hernán Mera Dávila

Director: Ing. M.Sc. Omar Delgado Inga
Cuenca, Ecuador

2012

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo constante en mi vida académica.

Agradecimientos

A Omar Delgado, Nadia López, Nathaly Cedillo y Diego Pacheco, por su ayuda y paciencia a lo largo de este proyecto.

A la vida, por brindarme oportunidades para alcanzar la felicidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de ilustraciones y tablas	x
Figuras	x
Tablas	xv
Gráficos	xvii
Resumen.....	xviii
Abstract	xix
Introducción	1
CAPÍTULO I: SISTEMATIZACIÓN DE LOS INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Generalidades	3
1.3 Indicadores Sociales	4
1.4 Indicadores Ambientales	4
1.5 Indicadores de Disponibilidad de agua	5
1.6 Indicadores de Importancia agropecuaria.....	6
1.7 Metodología para la organización de los archivos	6
1.8 Conclusiones	10
CAPÍTULO II: FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS CRITERIOS DE EVALUACION	11
2.1 Introducción.....	11
2.2 Importancia ambiental	12
2.3 Vulnerabilidad de ecosistemas	19
2.4 Disponibilidad del agua.....	21
2.5 Importancia agropecuaria	37

2.6 Conclusiones	46
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN LOS SIG	47
3.1 Introducción.....	47
3.2 Antecedentes	48
3.3 Definición	48
3.4 Componentes de la EMC en un SIG	50
3.4.1 Objetivos y alternativas	50
3.4.2 Criterios: factores y limitantes.....	51
3.4.3 La regla de decisión	52
3.4.4 El proceso de evaluación	53
3.4.5 Matrices	53
3.5 Modelos matemáticos para EMC en un SIG	54
3.5.1 Sumatoria lineal ponderada	54
3.5.2 Lógica difusa.....	55
3.5.3 Post procesamiento de los mapas.....	55
3.5.4 Análisis de sensibilidad	56
3.6 Conclusiones	58
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO	59
4.1 Introducción.....	59
4.2 Requisitos previos para la selección de programas COTS <i>Commercial of the shelf</i> candidatos en la investigación	60
4.2.1 Resultados de la selección de programas candidatos.....	62
4.3 ILWIS	63
4.3.1 Antecedentes	63
4.3.2 Características principales de ILWIS	64
4.3.3 Aplicaciones científicas	66
4.3.4 Ventajas de ILWIS.....	67

4.3.5 Desventajas de ILWIS	67
4.4 IDRISI Taiga	68
4.4.1 Antecedentes	68
4.4.2 Características Principales de IDRISI.....	69
4.4.3 Aplicaciones científicas	70
4.4.4 Ventajas de IDRISI.....	71
4.4.5 Desventajas de IDRISI.....	72
4.5 DEFINITE	72
4.5.1 Antecedentes	72
4.5.2 Características principales	73
4.5.3 Aplicaciones científicas	73
4.5.4 Ventajas de DEFINITE.....	74
4.5.5 Desventajas de DEFINITE	75
4.6 InVEST.....	75
4.6.1 Antecedentes	75
4.6.2 Características principales	76
4.6.3 Aplicaciones científicas	77
4.6.4 Ventajas de InVEST	78
4.6.5 Desventajas de InVEST	79
4.7 Comparativa de precios entre las alternativas analizadas.....	79
4.7.1 Precios de ILWIS 3.7.....	79
4.7.2 Precios de IDRISI Taiga	79
4.7.3 Precios de DEFINITE	80
4.7.4 Precios de InVEST.....	80
4.8 Modelo de calidad ISO/IEC 9126-1:2001	81
4.8.1 Estructura de las características de ISO/IEC 9126-1	81
4.9 Conclusiones	84

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LOS MODELOS ESPACIALES	85
5.1 Introducción.....	85
5.2 Preparación de la información.....	86
5.2.1 Componente Ambiental	87
5.2.2 Componente disponibilidad del agua.....	88
5.2.3 Componente Económico – Productivo	99
5.3 Modelos espaciales mediante EMC.....	100
5.3.1 Componente Ambiental	100
5.3.2 Componente Disponibilidad del Agua.....	104
5.3.3 Componente Económico – Productivo	115
5.4 Homogenización de la Información	118
5.4.1 Componentes Ambiental, Disponibilidad del Agua y Económico – Productivo.....	118
5.5 Análisis de sensibilidad (AS)	125
5.5.1 Componente Ambiental	126
5.5.2 Componente Disponibilidad del Agua.....	132
5.5.3 Componente Económico - Productivo.....	147
5.6 Análisis por Subcuencas.....	148
5.6.1 Componente Ambiental	148
5.6.2 Componente Disponibilidad del Agua.....	151
5.6.3 Componente Económico – Productivo	164
5.7 Escenarios Compartidos	165
5.7.1 Escenario Compartido 1.....	165
5.7.2 Escenario Compartido 2.....	167
5.7.3 Escenario Compartido 3.....	168
5.7.4 Escenario Compartido 4.....	170
5.7.5 Escenario Compartido 5.....	171

5.8 Conclusiones	173
CAPÍTULO VI: DIFUSIÓN DE RESULTADOS EN UN SERVIDOR DE MAPAS EN INTERNET	174
6.1 Introducción.....	174
6.2 Servidor de Mapas en Internet.....	175
6.2.1 Funcionamiento de un Servidor de Mapas en Internet	176
6.2.2 Arquitectura de un Servidor de Mapas en Internet	176
6.3 Infraestructura de Datos Espaciales IDE	177
6.3.1 Componentes de una IDE	178
6.4 MapServer	179
6.4.1 Características de MapServer	179
6.4.2 Arquitectura MapServer	179
6.5 Open Layers	180
6.6 Cartografía Temática y Página Web.....	183
6.6.1 Preparación de capas temáticas.....	183
6.6.2 Máquina virtual.....	184
6.6.3 gvSIG	184
6.6.4 MapFish	185
6.6.5 Programación	186
6.6.6 Publicación.....	188
6.6.7 Pruebas de uso con la página web	188
6.7 Conclusiones	192
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	193
Conclusiones	193
Recomendaciones:	195
GLOSARIO	196
BIBLIOGRAFÍA	197

ANEXOS	204
Anexo 1	204

Índice de ilustraciones y tablas

Figuras

Fig. 1.1	Uso de ArcCatalog Versión 9.3 en la sistematización de los archivos.....	8
Fig. 1.2	Uso de Microsoft Excel para mantener un control de cambios.....	9
Fig. 3.1	Sistema de integración entre SIG y EMC.....	51
Fig. 3.2	Matriz de evaluación.	53
Fig. 4.1	Pantalla de presentación de ILWIS 3.7.	64
Fig. 4.2	Entorno de trabajo de ILWIS.....	66
Fig. 4.3	Pantalla de presentación de IDRISI Taiga.....	69
Fig. 4.4	Entorno de trabajo de IDRISI Taiga.....	71
Fig. 4.5	Resultado gráfico de un análisis en DEFINITE.	73
Fig. 4.6	Entorno de trabajo de DEFINITE.....	74
Fig. 4.7	Base lógica del funcionamiento de InVEST.....	76
Fig. 4.8	Entorno de trabajo de InVEST 2.2.1.	78
Fig. 5.1	Árbol de decisión para la generación de modelos espaciales.....	86
Fig. 5.2	Modelo de importancia ambiental clasificación por <i>quantiles</i>	102
Fig. 5.3	Modelo de vulnerabilidad de ecosistemas clasificación por <i>quantiles</i>	104
Fig. 5.4	Modelo Espacial Multicriterio 1.....	106
Fig. 5.5	Modelo Espacial Multicriterio 2.....	107
Fig. 5.6	Modelo Espacial Multicriterio 3.....	109
Fig. 5.7	Modelo Espacial Multicriterio 4.....	110
Fig. 5.8	Modelo Espacial Multicriterio 5.....	111
Fig. 5.9	Modelo Espacial Multicriterio 6.....	113
Fig. 5.10	Modelo Espacial Multicriterio 7.....	115
Fig. 5.11	Modelo económico-productivo clasificado por <i>quantiles</i>	116
Fig. 5.12	Modelo económico - productivo clasificado por <i>quantiles</i>	117

Fig. 5.13 Mapas del modelo de importancia ambiental original EMC y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	119
Fig. 5.14 Mapas del modelo de vulnerabilidad de ecosistemas original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	120
Fig. 5.15 Mapas del modelo de importancia agropecuaria original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	121
Fig. 5.16 Mapas Modelo Espacial 2: Conservación del Recurso hídrico original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	121
Fig. 5.17 Mapas del Modelo Espacial 3: Zonas con mejor regulación de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	122
Fig. 5.18 Mapas del Modelo Espacial 4: Zonas con mejor regulación de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	122
Fig. 5.19 Mapas del ME 5: Vulnerabilidad a la contaminación del agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	123
Fig. 5.20 Mapas del ME 6: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5.....	123
Fig. 5.21 Mapas del Modelo Espacial 7: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua por agentes antrópicos original y el procesado con el filtro MODA 5x5.	124
Fig. 5.22 Mapas de importancia ambiental a) mapa original, b) mapa modificado la cobertura, c) mapa modificado la distancia a cuerpos de agua.....	128
Fig. 5.23 Resta de mapas a) resta entre el mapa original y el mapa con la cobertura variada, b) resta entre el mapa original y el mapa de distancia a cuerpos de agua variada.	129
Fig. 5.24 Mapas de vulnerabilidad de ecosistemas a) mapa original, b) mapa modificado la pendiente, c) mapa modificado la distancia a vías.....	131
Fig. 5.25 Resta de mapas a) resta entre el mapa original y el mapa con la pendiente variada, b) resta entre el mapa original y el mapa de distancia a vías variada.....	132
Fig. 5.26 Modelo Espacial Multicriterio 2 [Original y Variado] – Factor I.	133
Fig. 5.27 Diferencia entre el Modelo Original y Modelo Variado – Factor I.....	133

Fig. 5.28 Modelo Espacial Multicriterio 2 [Original y Variado] – Factor II.....	134
Fig. 5.29 Diferencia entre el Modelo Original 2 y Modelo Variado 2 – Factor II. .	134
Fig. 5.30 Modelo Espacial Multicriterio 3 [Original y Variado] – Factor I.	135
Fig. 5.31 Diferencia entre el Modelo Original 3 y Modelo Variado 3 – Factor I....	136
Fig. 5.32 Modelo Espacial Multicriterio 3 [Original y Variado] – Factor II.....	136
Fig. 5.33 Diferencia entre el Modelo Original 3 y Modelo Variado 3 – Factor II. .	137
Fig. 5.34 Modelo Espacial Multicriterio 4 [Original y Variado] – Factor I.	138
Fig. 5.35 Diferencia entre el Modelo Original 4 y Modelo Variado 4 – Factor I....	138
Fig. 5.36 Modelo Espacial Multicriterio 4 [Original y Variado] – Factor II.....	139
Fig. 5.37 Diferencia entre el Modelo Original 4 y Modelo Variado 4 – Factor II. .	139
Fig. 5.38 Modelo Espacial Multicriterio 5 [Original y Variado] – Factor I.	140
Fig. 5.39 Diferencia entre el Modelo Original 5 y Modelo Variado 5 – Factor I....	140
Fig. 5.40 Modelo Espacial Multicriterio 5 [Original y Variado] – Factor II.....	141
Fig. 5.41 Diferencia entre el Modelo Original 5 y Modelo Variado 5 – Factor II. .	141
Fig. 5.42 Modelo Espacial Multicriterio 6 [Original y Variado] – Factor I.	142
Fig. 5.43 Diferencia entre el Modelo Original 6 y Modelo Variado 6 – Factor I....	143
Fig. 5.44 Modelo Espacial Multicriterio 6 [Original y Variado] – Factor II.....	143
Fig. 5.45 Diferencia entre el Modelo Original 6 y Modelo Variado 6 – Factor II. .	144
Fig. 5.46 Modelo Espacial Multicriterio 7 [Original y Variado] – Factor I.	145
Fig. 5.47 Diferencia entre el Modelo Original 7 y Modelo Variado 7 – Factor I....	145
Fig. 5.48 Modelo Espacial Multicriterio 7 [Original y Variado] – Factor II.....	146
Fig. 5.49 Diferencia entre el Modelo Original 7 y Modelo Variado 7 – Factor II. .	146
Fig. 5.50 Mapas de importancia agropecuaria a) mapa original, b) mapa modificado la distancia a vías.	147
Fig. 5.51 Resta entre el mapa original y el mapa con la distancia a las vías modificada.....	148
Fig. 5.52 Valoración de la CRP de acuerdo a la importancia ambiental y la vulnerabilidad de ecosistemas.....	149

Fig. 5.53 Mapa final resultante del modelo 2.	152
Fig. 5.54 Mapa final resultante del modelo 3.	154
Fig. 5.55 Mapa final resultante del modelo 4.	156
Fig. 5.56 Mapa final resultante del modelo 5.	158
Fig. 5.57 Mapa final resultante del modelo 6.	160
Fig. 5.58 Mapa final resultante del modelo 7.	162
Fig. 5.59 Valoración de la CRP de acuerdo a la importancia agropecuaria.	164
Fig. 5.60 Zonas de mayor importancia ambiental ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad.....	166
Fig. 5.61 Zonas de mayor importancia ambiental ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad.....	166
Fig. 5.62 Zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua, que se encuentran vulnerables por estar en zonas productivas.....	167
Fig. 5.63 Zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua, que se encuentran vulnerables por estar en zonas productivas.....	168
Fig. 5.64 Zonas de alta importancia ambiental que se encuentran en zonas productivas.	169
Fig. 5.65 Zonas de alta importancia ambiental que se encuentran en zonas productivas.	169
Fig. 5.66 Zonas de alta productividad que se encuentran en zonas ambientales vulnerables.	170
Fig. 5.67 Zonas de alta productividad que se encuentran en zonas ambientales vulnerables.	171
Fig. 5.68 Zonas de alta producción, regulación y protección del agua, que se encuentran en zonas de importancia ambiental.....	172
Fig. 5.69 Zonas de alta producción, regulación y protección del agua, que se encuentran en zonas de importancia ambiental.....	172
Fig. 6.1 Representación temática de mapas.	175
Fig. 6.2 Funcionamiento de un <i>Web Map Service</i>	176

Fig. 6.3 Arquitectura de un Servidor de Mapas. Fuente: (Serra del Pozo, 2011)...	177
Fig. 6.4 Componentes de una IDE. Fuente: (Ballari, 2011).	178
Fig. 6.5 Arquitectura de una aplicación MapServer. Fuente: (MapServer, 2012)...	180
Fig. 6.6 <i>Layer Switcher</i> . Fuente: (OSGeo, 2012).	181
Fig. 6.7 <i>PanZoomBar</i> . Fuente: (OSGeo, 2012).	181
Fig. 6.8 <i>Overview Map</i> . Fuente: (OSGeo, 2012).	182
Fig. 6.9 <i>Permalink</i> . Fuente: (OSGeo, 2012)	182
Fig. 6.10 <i>Mouse Toolbar</i> . Fuente: (OSGeo, 2012)	182
Fig. 6.11 <i>Scale Line</i> . Fuente: (OSGeo, 2012).....	182
Fig. 6.12 <i>Mouse Position</i> . Fuente: (OSGeo, 2012).....	183
Fig. 6.13 Uso de ArcGIS para procesar los mapas.	183
Fig. 6.14 CentOS 5 corriendo en una máquina virtual.	184
Fig. 6.15 Exportación de capas temáticas en gvSIG.....	185
Fig. 6.16 Demostración de una implementación de MapFish en OpenLayers. Fuente: (MapFish, 2012).....	185
Fig. 6.17 Componentes de la página web.	187
Fig. 6.18 Estadísticas de uso de navegadores Web por País. Fuente: (StatCounter GlobalStats, 2012).....	190
Fig. 6.19 Estadísticas de uso de navegadores Web en Ecuador. Fuente: (StatCounter GlobalStats, 2012).....	190

Tablas

Tabla 4.1 Requisitos funcionales para la selección de los programas	60
Tabla 4.2 Requisitos de Fiabilidad y Usabilidad para la selección de los programas	61
Tabla 4.3 Requisitos de Eficiencia, Mantenibilidad y Portabilidad para la selección de los programas	62
Tabla 4.4 Precios de IDRISI Taiga según su versión.....	80
Tabla 4.5 Precios de DEFINITE según su versión.....	80
Tabla 5.1 Factores seleccionados para EMC.	87
Tabla 5.2 Clasificación de los regímenes estacionales mediante el índice SI.	89
Tabla 5.3 Factores seleccionados para la evaluación multicriterio.....	100
Tabla 5.4 Matriz de Saaty valorada para la importancia ambiental con su radio de consistencia (c.r).	101
Tabla 5.5 Pesos asignados a los factores de importancia ambiental por la matriz de Saaty.....	101
Tabla 5.6 Matriz de Saaty valorada para la vulnerabilidad de ecosistemas con su radio de consistencia (c.r).	103
Tabla 5.7 Pesos asignados a los factores de vulnerabilidad de ecosistemas por la matriz de Saaty.....	103
Tabla 5.8 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 1.....	105
Tabla 5.9 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 1.	106
Tabla 5.10 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 2.....	107
Tabla 5.11 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 2. Fuente:	107
Tabla 5.12 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 3.....	108
Tabla 5.13 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 3.	108
Tabla 5.14 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 4.....	110
Tabla 5.15 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 4.	110
Tabla 5.16 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 5.....	111
Tabla 5.17 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 5.	111

Tabla 5.18 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 6.....	113
Tabla 5.19 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 6.	113
Tabla 5.20 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 7.....	114
Tabla 5.21 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 7.	114
Tabla 5.22 Matriz de Saaty valorada para el componente económico productivo (c.r).	115
Tabla 5.23 Pesos asignados a los factores de importancia ambiental por la matriz de Saaty.	116
Tabla 5.24 Valoración final de las categorías de la importancia ambiental de la CRP.	125
Tabla 5.25 Valoración final de las categorías de la vulnerabilidad de ecosistemas de la CRP.	125
Tabla 5.26 Valoración final de las categorías de la importancia agropecuaria de la CRP.	125
Tabla 5.27 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 2.	153
Tabla 5.28 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 3.	155
Tabla 5.29 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 4.	157
Tabla 5.30 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 5.	159
Tabla 5.31 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 6.	161
Tabla 5.32 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 7.	163
Tabla 5.33 Modelos utilizados del Componente Ambiental.	165
Tabla 5.34 Modelos utilizados del Componente Económico-Productivo y Componente Disponibilidad del Agua.	167
Tabla 5.35 Modelos utilizados del Componente Ambiental y Componente Económico-Productivo.	168
Tabla 5.36 Modelos usados del Componente Económico-Productivo y del Componente Ambiental.	170
Tabla 5.37 Modelos usados del Componente Disponibilidad del Agua y del Componente Ambiental.	171

Gráficos

Gráfico 5.1 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	102
Gráfico 5.2 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	104
Gráfico 5.3 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	108
Gráfico 5.4 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	109
Gráfico 5.5 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	110
Gráfico 5.6 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	112
Gráfico 5.7 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	113
Gráfico 5.8 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	115
Gráfico 5.9 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	116
Gráfico 5.10 Área en hectáreas de los rangos asignados por <i>quantiles</i>	117
Gráfico 5.11 Comparación de la valoración en porcentajes de los rangos asignados por <i>quantiles</i> para la importancia, entre los modelos normal (N%) y MODA (M%).	119
Gráfico 5.12 Comparación de la valoración en porcentajes de los rangos asignados por <i>quantiles</i> , entre los modelos normal (N%) y MODA (M%) para el componente ambiental.	120
Gráfico 5.13 Importancia ambiental en porcentajes de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones.	149
Gráfico 5.14 Vulnerabilidad de ecosistemas en porcentajes de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones.	150
Gráfico 5.15 Importancia agropecuaria en hectáreas de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones.	164

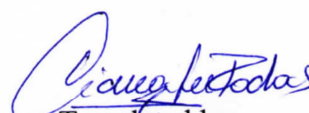
Resumen

Este trabajo de graduación consiste en el análisis de herramientas que permitan la identificación de las zonas que requieran intervención en la cuenca del río Paute, mediante la evaluación multicriterio de los diferentes indicadores ambientales disponibles en el área, a través del análisis de modelos espaciales; todo esto con la finalidad de buscar la preservación ambiental en estas zonas, mientras se ejecuta una investigación aplicada a la rama de los Sistemas de Información Geográfica en la Ingeniería de Sistemas y se publican los resultados en el Servidor de Mapas en Internet de la Universidad del Azuay.

ABSTRACT

This graduation project is an analysis of the tools that allow us to identify which areas of the basin of Paute River require intervention, through a multi-criteria evaluation of the different environmental indicators that are available in the area, and through the analysis of space models; all this in order to secure the environmental preservation of these zones while executing a research applied to Geographic Information Systems within the area of Systems Engineering and publishing the results in the Internet Map Server of the University of Azuay.




Translated by,
Diana Lee Rodas

Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido actualmente en una herramienta indispensable para la planificación y análisis espacial en varias áreas como: temas ambientales, planeación urbana, estrategias de marketing, campañas políticas, análisis de impactos, etc. Su uso ha probado ser de mucha ayuda en todos estos campos y cada día se valora más la capacidad de esta rama del conocimiento para realizar estudios precisos con fundamentos geográficos.

Con la evolución tecnológica de las últimas décadas, el alcance y posibles usos de estas herramientas han incrementado notablemente. Con ello, programas con funcionalidades más específicas han sido desarrollados, incluyendo funciones matemáticas y capacidades de cómputo que antes no se creían posibles.

En este trabajo de graduación, se pretende analizar las herramientas que permiten la evaluación multicriterio en Sistemas de Información Geográfica, realizando una comparación de las ventajas y desventajas de ciertos programas a la vez que se ejecuta un caso práctico para un proyecto de la Universidad del Azuay, cuyo objetivo es encontrar las zonas de intervención en la cuenca del río Paute, en función de múltiples criterios analizados por expertos de cada rama específica relacionada con la conservación del recurso hídrico de la cuenca.

En este proyecto se van a obtener varios modelos espaciales, los cuales facilitarán la toma de decisiones para la conservación de la cuenca; luego de realizar un análisis de diferentes programas disponibles para la evaluación multicriterio, y posteriormente poner a la disposición de la comunidad estos modelos espaciales, en el servidor de mapas de la Universidad del Azuay, permitiendo el acceso a través de la página web de la misma.

CAPÍTULO I: SISTEMATIZACIÓN DE LOS INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

1.1 Introducción

Todo proyecto del cual sean parte varios investigadores, tiene como vulnerabilidad la organización de sus diferentes componentes. Para el caso de este proyecto en particular, la organización de los archivos es muy importante; especialmente a causa de factores externos como diferentes computadoras utilizadas, distintas localidades, diferentes fechas de estudio, etc. Como ayuda en éste proceso, existen técnicas que permiten la correcta sistematización de los mismos, mediante ciertas reglas definidas previamente, las cuales siendo aplicadas son de mucha utilidad para mantener el orden adecuado de la información generada en el proyecto durante la duración del mismo.

Este capítulo muestra los pasos que se siguieron en la realización de esta sistematización, las medidas que se tomaron para evitar que se generen problemas ocasionados por archivos con nombres incorrectos, archivos duplicados, etc. Para que las etapas de éste proyecto hayan podido continuar con normalidad, los procedimientos realizados en ésta etapa fueron de mucha ayuda.

1.2 Generalidades

El propósito de este tema de investigación, es analizar herramientas para análisis multicriterio, que faciliten la toma de decisiones a las organizaciones que deseen intervenir la zona de la cuenca del río Paute, con el propósito de mejorar la conservación del recurso hídrico y la calidad de vida de los habitantes que tanto directa como indirectamente se ven afectados por las medidas que se ejecuten en este lugar y publicar los resultados en forma de modelos espaciales en el servidor de mapas web de la Universidad.

La Universidad del Azuay, en conjunto con el Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del río Paute, FONAPA, han elaborado un proyecto en varias etapas, en el cual buscan como finalidad obtener modelos espaciales luego de analizar múltiples factores relacionados entre sí, en los que se encuentren las diferentes variables directas e indirectas que afecten la utilización y conservación del recurso hídrico, de manera que se pueda tener una idea clara de las necesidades para garantizar este recurso y proveer así un panorama claro que permita la intervención de las entidades que estén interesadas en realizar trabajos en la zona. Para ello, un equipo multidisciplinario realizó trabajos de recopilación, análisis y tratamiento de los datos, de manera que pudieron generar varios modelos espaciales en los cuales se identifican los impactos ambientales que podrían resultar como producto de ciertas decisiones tomadas.

El equipo investigador realizó la identificación de las variables de los indicadores, para posteriormente realizar una depuración de datos y tratamiento de la información, obteniendo varios archivos con el resultado del procesamiento de los datos que analizaron. Estos archivos debieron ser clasificados y sistematizados dentro de una computadora, para mantener un orden general y permitir el análisis y tratamiento de la información en conjunto.

Los indicadores sistematizados fueron: sociales, ambientales, disponibilidad de agua e importancia agropecuaria. Debido a que cada investigador estaba hecho cargo de diferentes áreas, éste proceso tuvo que ser coordinado con éstas personas, de forma que exista comunicación entre todos los responsables del proyecto. También se entregó un archivo con la definición de las reglas para la creación de archivos y los

estándares para los nombres, el cual permitió a los investigadores procesar los archivos que iban generando.

1.3 Indicadores Sociales

Los indicadores sociales son factores que identifican los aspectos humanos de las comunidades que habitan en las zonas de estudio, los datos se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC en el año 2010. Para el desarrollo de este proyecto, se definieron los siguientes factores:

- Población total: Este factor contiene el número de habitantes por sector censal.
- Tasa de crecimiento: Es el índice de crecimiento de la población en la zona.
- Eliminación de aguas servidas: Indica el método a través del cual se eliminan las aguas servidas.
- Eliminación de basura: Indica el método a través del cual se elimina la basura.
- Sistema de abastecimiento de agua: La forma en la que reciben el suministro de agua en los domicilios.
- Analfabetismo: La tasa de analfabetismo en la zona de estudio.

1.4 Indicadores Ambientales

Los indicadores ambientales agrupan todos los factores que corresponden a la realidad ambiental, abarcando inventarios de parques y áreas protegidas, así como también análisis de suelos, ríos, subcuencas y vías. Se definieron los siguientes factores:

- Dentro de Importancia:
 - o Áreas de bosque y vegetación protegidas.
 - o Áreas de importancia para la conservación de aves.
 - o Centros poblados de la cuenca del río Paute.
 - o Endemismo.
 - o Área del Parque Nacional Cajas.

- Dentro de Vulnerabilidad:
 - o Centros poblados de la cuenca del río Paute.
 - o Vías de primer y segundo orden.
 - o Proyecto de adaptación al cambio climático PACC: Erosión.
 - o Proyecto de adaptación al cambio climático PACC: Inundación.
 - o Proyecto de adaptación al cambio climático PACC: Movimiento de masa.
 - o Riesgos de contaminación.

1.5 Indicadores de Disponibilidad de agua

Este tipo de indicadores son importantes para considerar la conservación de los sectores donde existen páramos y bosques andinos en buen estado; esto con el propósito de mejorar la regulación del agua, especialmente en las épocas de estiaje. Estos indicadores agrupan las precipitaciones y uso del suelo. Para la producción de agua se manejan indicadores de precipitación y temperatura. En la protección del recurso hídrico se utilizan las fuentes hídricas, ríos, lagunas y ciénegas. Para el uso o demanda del agua, se consideran las concesiones de agua y la población servida. Finalmente, para el análisis de agua se utilizó el índice de calidad de agua WQI. El listado de factores utilizados es el siguiente:

- Regulación de agua:
 - o Precipitación promedio interanual e intermensual de la cuenca del río Paute.
 - o Precipitación mensual promedio de la cuenca del río Paute.
- Producción de agua:
 - o Temperatura promedio interanual e intermensual de la cuenca del río Paute.
 - o Temperatura media mensual de la cuenca del río Paute.
- Protección de las fuentes de agua:
 - o Inventario de fuentes hídricas de la cuenca del río Paute.
 - o Información cartográfica de ríos, quebradas, lagunas y ciénegas de la cuenca del río Paute a escala 1:25000.

- Uso del recurso hídrico:
 - o Concesiones y permisos de uso del agua para la cuenca alta y media del río Paute.
 - o Concesiones de agua de la cuenca del río Paute.
 - o Población servida por agua de consumo humano en la cuenca del río Paute.
- Calidad de agua:
 - o Índice de calidad de agua WQI.

1.6 Indicadores de Importancia agropecuaria

Los indicadores de importancia agropecuaria abarcan el tema económico productivo, permitiendo entender los procesos de cambio en los planos económicos, culturales y políticos y así analizar el impacto o carga ecológica de las actividades agro-productivas en el territorio y así definir su capacidad de acogida. Los factores que se utilizaron son los siguientes:

- Jerarquización de zonas degradadas.
- Zonas de cultivos dentro de la cuenca del río Paute.
- Zonas de pastos dentro de la cuenca del río Paute.
- Clasificación de suelos dentro de la cuenca del río Paute.
- Zonas formadoras de agua dentro de la cuenca del río Paute y mapa ecológico de las mismas.
- Clasificación de suelos dentro de la cuenca del río Paute.
- Modelo digital del terreno de la cuenca hidrográfica del río Paute, en función de pendientes y clasificaciones.

1.7 Metodología para la organización de los archivos

Como paso previo a la organización de los archivos, se diseñó un lineamiento a seguir para los nombres de los archivos y su orden dentro de las carpetas. Ese lineamiento exige el siguiente formato para los nombres de los archivos:

NombreArchivo_Lugar_TipoCoordenadas_SistemaCoordenadas_Zona_Transformación

La transformación se debía incluir únicamente en caso de que el sistema de coordenadas haya sido modificado (transformado), y debía incluir el tipo de transformación o “set” utilizado para la misma. Para todos los temas, se utilizó WGS84 como sistema de referencia espacial.

Este lineamiento fue exigido a todos los integrantes del proyecto, con el propósito de mantener un orden lógico e identificación fácil de los archivos; sin embargo, existieron limitaciones técnicas con ciertos archivos especialmente de tipo raster, para los cuales se consideró como excepción nombres según el límite de caracteres que permitía el software de clasificación. De todas maneras, una hoja de cálculo fue utilizada, para mantener un control de cambios actualizado permanentemente con los nombres de los archivos, su ubicación, fecha de última modificación, detalle de contenidos, entre otros aspectos; todo esto con el propósito de permitir un control de todos los archivos, inclusive si el nombre no pudo ser ingresado de acuerdo a los lineamientos establecidos.

Debido a la manera particular en la que los archivos *shape* y *raster* son generados (varios archivos para un solo tema), se utilizó el programa ArcCatalog Versión 9.3 para clasificar los mismos. Todas las carpetas y archivos del proyecto fueron clasificados utilizando este programa, lo que permitió mantener un control adecuado de los mismos.

Como un paso adicional necesario, se procedió a ingresar los metadatos de cada archivo, en función de los documentos entregados por cada investigador. En estos documentos, se incluía una ficha con el metadato de cada archivo, el cual incluía la siguiente información:

- Nombre del tema.
- Lugar geográfico.
- Resumen del tema.
- Propósito del tema.
- Estado y cobertura de los datos.
- Año de levantamiento de la información.
- Año de publicación de la información.

- Institución que generó la información.
- Institución que publicó la información.
- Nombre del archivo.
- Tipo de archivo.
- Tamaño del archivo.
- Limitaciones de acceso y utilización de los datos.
- Detalle de la persona que registró y levantó la información (Nombre, Entidad, Dirección, Teléfono, Correo Electrónico).
- Sistema de coordenadas.
- Tratamiento de la información.
- Detalle de los atributos (Atributo, Tipo de Dato, Descripción).

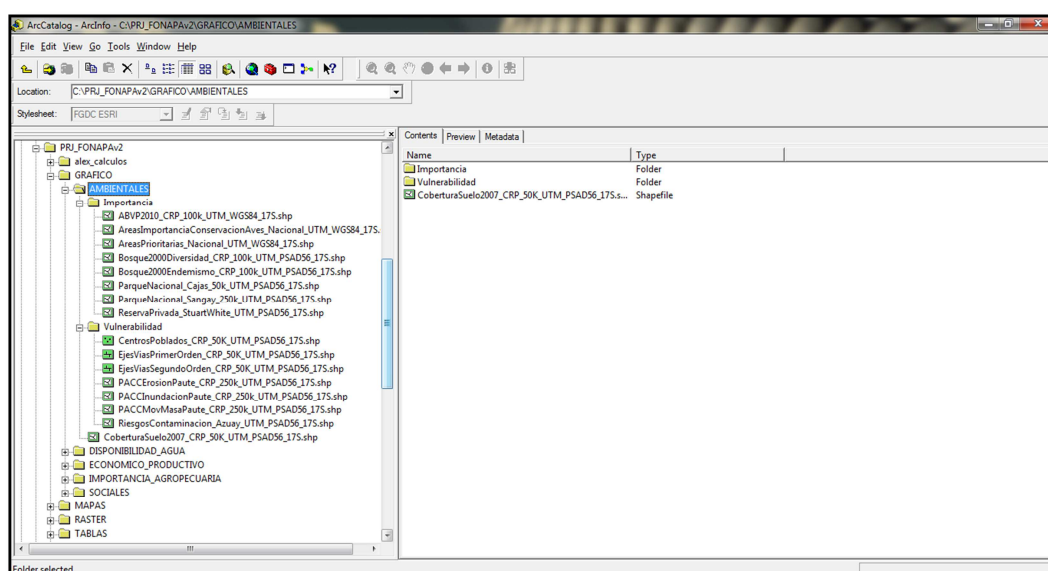


Fig. 1.1 Uso de ArcCatalog Versión 9.3 en la sistematización de los archivos.

Debido a la frecuente modificación de los archivos durante el desarrollo del proyecto, se utilizó una hoja de cálculo en Microsoft Excel para mantener un control de cambios, en la que se detallaron las modificaciones realizadas, estado de los archivos, persona responsable, fecha y hora en la que se realizó el cambio; permitiendo disminuir la posibilidad de errores, archivos perdidos, etc. especialmente considerando la gran cantidad de archivos existentes y la variedad de personas dentro del personal de investigación.

Control Sistematización.xlsx							
Buscar en la hoja							
Inicio Diseño Tablas Gráficos SmartArt Fórmulas Datos Revisar Referencias							
Editar		Fuente		Formato		Celdas	
Relevar Arial 11		Alineación		Normal Correcto Incorrecto		Insertar Eliminar Formato Temas	
Pasar Borrar		Combinar		Condicional Formato		Tema	
A55		C		D		E	
Nombre Anterior		Nombre Nuevo		Metadato		Atributos	
				Tipo		Nombre que debería ser y no fue	
1	AMBITALES			Shape	Consistencia	Consistencia	No es problema, pero es
2	Cobertura_Suato_CRP_50K_UTM_SAM56_2007	CoberturaSuato2007_CRP_50K_UTM_PSA456_175					
3	AMBITALES: IMPORTANCIA						
4	Cap_Suato	AnalPtoPrioritas_Nacional_UTM_WGS84_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
5	Acas_Ecuador	AnalPtoPrioritasConsejerosNacionales_Nacional_UTM_WGS84_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Inc. Se cambia nombre por tabla real.		
6	Carbonio_siem3000	CarbonioSiem2000_Sierra_UTM_WGS84_175	Raster	Inc. Prev. WORD	Lt Inc. Se cambia nombre por tabla real.		
7	Carbonio_siem3000	CarbonioSiem2000_Sierra_UTM_WGS84_175	Raster	Inc. Prev. WORD	Lt Inc. Se cambia nombre por tabla real.		
8	Requesa_2000_Diversidad_Alas_CRP_100K_UTM_SAM56	Bosque2000Diversidad_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Inc. Se cambia nombre por tabla real.		
9	Requesa_2000_Endemismo_CRP_100K_UTM_SAM56	Bosque2000Endemismo_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
10	Reserva_Phujaqui_Buena_Vista	ReservaPehuajqui_BuenaVista_UTM_PSA456_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
11	Fin_Cajas_50K_UTM_SAM56	ParqueNacional_Cajas_50K_UTM_PSA456_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
12	Fin_Cajas_50K_CRP_100K_UTM_SAM56	ParqueNacional_Cajas_50K_UTM_PSA456_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
13	AMPV_CRP_2010_WGS84_UTM	AMPV2010_CRP_100K_UTM_WGS84_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		
14	Bioclimaticos_WGS84	Bioclimaticos_Molotoc_100K_UTM_WGS84_175	Shape	Inc. Prev. WORD	Lt Consistencia		Nathaly entrega directivo
15	AMBITALES: VULNERABILIDAD						
16	est_50k	est_50k					
17	est_20k	est_20k					
18	pto_50k_aerod_img	Pto50k_aerod_img	Raster	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		No permite cambiar el si
19	Registros_Ordenamiento	RegistrosOrdenamiento_CRP_50K_UTM_PSA456_175	Raster	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		No permite cambiar el si
20	Concesiones_Produccion	ConcesionesProduccion_Azayay_UTM_PSA456_175	Shape	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		El archivo provee de la
21	Lineas_Primer_Orden_CRP_50K_SAM56	LineasPrimerOrden_CRP_50K_UTM_PSA456_175	Shape	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		El nombre del archivo es
22	Lineas_Via_Segundo_Orden_CRP_50K_UTM_SAM56	LineasViaSegundoOrden_CRP_50K_UTM_PSA456_175	Shape	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		El nombre del archivo es
23	Mediaciones_Paso_250K_PSA456	PCCMediaciones_Paso_250K_UTM_PSA456_175	Shape	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		El nombre del archivo es
24	Mediaciones_Paso_250K_PSA456	PCCMediaciones_Paso_250K_UTM_PSA456_175	Shape	si	IndicEstadisticas_CRP_50K_UTM_PSA456_175		El nombre del archivo es
25	DISPONIBILIDAD AGUA: PRODUCCION DEL AGUA						
26	Estaciones_Regimen_TemperaturDifora_CRP_100K_UTM_SAM56	EstacionesRegimenTemperaturDifora_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Shape	Prev. pnt			El archivo provee de la
27	pnt_pnt_50k	est_pnt_50k	Raster			TemperaturaPromedio_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Hubo un error al copiar y
28	DISPONIBILIDAD AGUA: REGULACION						
29	Estaciones_Meteorologicas_CRP_100K_UTM_SAM56	EstacionesMeteorologicas_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Shape	pnt_pnt_50k			El archivo provee de la
30	AMBITALES: PROTECCION DEL RECURSO						
31	Rioa_CRP_50K_UTM_SAM56	RioaCarp_50K_UTM_PSA456_175	Shape			PrecipitacionPromedio_CRP_100K_UTM_PSA456_175	El archivo provee de la
32	Lagunas_CRP_50K_UTM_SAM56	LagunasCarp_50K_UTM_PSA456_175	Shape				
33	Lagunas_CRP_50K_UTM_SAM56	LagunasCarp_50K_UTM_PSA456_175	Shape				
34	DISPONIBILIDAD AGUA: USO DEL RECURSO HEDICO						
35	Concesiones_Agua_Zona_Ayza_Media_CRP_100K_UTM_SAM56	ConcesionesAguaZonaAyzaMedia_CRP_25K_UTM_PSA456_175	Shape				Esta mal escrito en el archivo
36	CONOCIMIENTO						
37	AnalisisSectorAzayay	AnalisisSectorAzayay_UTM_PSA456_175	Shape				
38	Caniones_CRP_250K_UTM_SAM56	Caniones_CRP_250K_UTM_PSA456_175	Shape				El archivo provee de la
39	ECONOMICO PRODUCTIVO						
40	CapacidadAzogzaga_CRP_100K_UTM_SAM56	CapacidadAzogzaga_CRP_100K_UTM_PSA456_175	Shape				No es problema, pero es
41	Inc. Prev. WORD = Inconsistencia prevalece archivo de word						
42	Inc. Inconsistencia						
43	AMPV2010_CRP_100K_UTM_WGS84_175 BORRAR						
44	UIN est00_00 est00_30 est00_40 est00_50	BORRAR Capono_siem3000					
45		ma ambiental prevalece					
46		ma ambiental prevalece					
47		ma ambiental prevalece					
48		ma ambiental prevalece					
49		ma ambiental prevalece					

Fig. 1.2 Uso de Microsoft Excel para mantener un control de cambios.

Durante el desarrollo de esta etapa del proyecto, el proceso de depuración fue permanente; debido a que los investigadores constantemente encontraban nuevas formas de trabajar con la información, por lo tanto generaban o descartaban temas frecuentemente. Para la entrega del proyecto, se exigió que se indicaran los temas definitivos de manera que la información disponible pueda ser la más actualizada y no existan archivos duplicados o erróneos dentro de las carpetas finales.

Este proceso fue ejecutado en conjunto con los investigadores que formaron parte del proyecto, quienes indicaron siempre la información actual para permitir un manejo correcto de los archivos y su ubicación.

1.8 Conclusiones

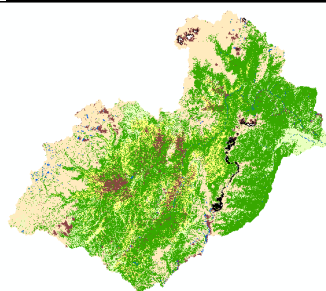
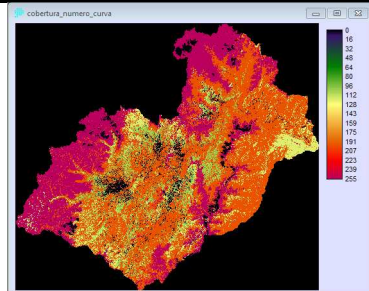
En este capítulo se documentó la organización de los indicadores y factores para cada tema que forma parte de este proyecto, con el propósito de facilitar el acceso a los archivos, normalizar los nombres de los mismos y ubicarlos de forma correcta en sus carpetas correspondientes. Para ello se determinaron reglas de forma previa, de manera que todos los integrantes del proyecto puedan acceder y modificar los archivos sin inconvenientes. La organización también permitió reutilizar los archivos generados por varios integrantes del proyecto fácilmente, de manera que se consiguió evitar duplicados que no eran de utilidad. En definitiva, se afirma que esta etapa de proyecto fue muy conveniente para la continuidad en el desarrollo del mismo.

CAPÍTULO II: FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS CRITERIOS DE EVALUACION

2.1 Introducción

Tanto factores como limitantes son considerados criterios dentro de una evaluación multicriterio, y son aspectos fundamentales en la misma. Para ello, el equipo multidisciplinario del proyecto investigativo, compuesto por el Biólogo Vinicio Santillán, el Ing. Agrónomo Andrés León y el Ing. Civil con especialización en Hidrología Alex Avilés, analizó 36 indicadores recopilados para poder evaluar el estado de los datos, su vigencia y calidad, para posteriormente poder determinar los datos definitivos a ser utilizados. En este capítulo se presentan la ficha de cada uno de los factores considerados dentro del estudio del proyecto con sus respectivos metadatos: categorías de clasificación, criterio de valoración, descripción, categorías y valoración, nombre de los archivos y mapas base, fuentes de información, procedimiento y observaciones.

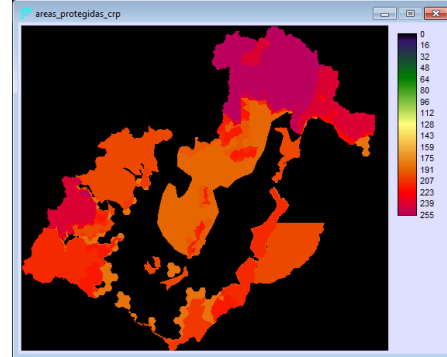
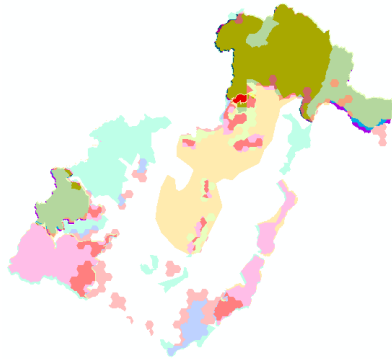
2.2 Importancia ambiental

Factor: Cobertura vegetal de la cuenca del río Paute edición 2007				
Categorías de clasificación:		Cobertura del Suelo - 8 categorías		
Criterio de valoración:		El mayor valor tiene el agua, seguidos por el páramo, la vegetación leñosa, los cultivos y pastos y los suelos descubiertos y/o centros poblados. Los valores de cero corresponden a las nubes y sombras, al no tener información.		
Descripción: Considerando el objetivo de conservar la cantidad y calidad del agua, la cobertura de agua, el páramo y la vegetación leñosa tienen los valores más altos. La cobertura vegetal de la cuenca del río Paute que fue obtenida a partir de la clasificación supervisada de la imagen satelital LANDSAT7 sensor ETM del 3 de noviembre del 2001, el producto se encuentra a escala 1:50 000.				
Categorías y Valoración:				
Cobertura_Suelo_CRP_UTM_WGS84_17s_set6_simplificado		Agrupación de Categoría	Valoración	
Nubes		Uso del Suelo	0	
Sombras			0	
Suelo descubierto y/o centros poblados			1	
Pastos			103	
Cultivos			119	
Vegetación leñosa			196	
Páramo			255	
Agua			255	
Archivos:				
Shape		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Cobertura_Suelo_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		cobertura	cobertura	cobertura_suelo
				
Fuentes de información: Institución que generó la Información: Universidad del Azuay, 2001 al 2005 Institución que publicó la Información: CGPaute, 2007				
Procedimiento: La valoración está dada por la importancia de la cobertura y uso del suelo para la conservación del agua. La información se obtuvo desde CRP_SAM56_V3 en formato shape; y, se la convirtió a raster (GRID de ArcGIS) por el campo “cobertura” de la tabla de atributos, luego se convirtió a formato raster de Idrisi y se reclasificó y valoró por tipo de cobertura_suelo.				
Observaciones: En el raster de cobertura se da un valor igual a cultivos y pastos. Considerando que los pastos retienen más agua que los cultivos, pero los pastos y la ganadería han sido los principales elementos de la deforestación y destrucción del suelo.				

Factor: Áreas de Conservación																																									
Categorías de clasificación:	Áreas de conservación - 4 categorías Áreas protegidas - 13 categorías																																								
Criterio de valoración:	Para la construcción de este criterio se utilizó la información de Parques Nacionales, Áreas Privadas, Áreas de Bosque y Vegetación Protectora (ABVP), Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs), Áreas Prioritarias a Nivel Nacional para la conservación (APNN). Las áreas están valoradas por importancia dando como resultado 21 posibles formas de combinación de áreas protegidas, siendo las zonas con mayor valor (255), donde se interceptan todas las categorías de áreas protegidas.																																								
Descripción: Parques Nacionales: Sangay y Cajas dentro de la CRP. Áreas de Bosque y Vegetación Protectora: 26 áreas protectoras ABVP dentro de la CRP. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves: en éstas áreas se tiene tres categorías (A1, A2, A3). • Categoría A1, el área mantiene regularmente una población viable de por lo menos una especie amenazada a nivel global, de acuerdo con la última lista oficial global, u otras cuya conservación sea de interés mundial. • Categoría A2, se considera a que el área mantiene un componente significativo de especies de distribución restringida. Estas áreas están identificadas de manera preliminar como Áreas de Endemismo de Aves (EBA) o Áreas Secundarias (SA) en Stattersfield et al. (1998). • Categoría A3, se considera a que el área mantiene un componente significativo de un grupo de especies cuyas distribuciones están en gran medida o totalmente confinadas a un bioma. Áreas Prioritarias a Nivel Nacional para la Conservación: Corresponde a las áreas que tienen prioridad para ser conservadas a nivel nacional ubicadas dentro de los Parques Nacionales Sangay y Cajas; con extensiones boscosas que sirven de conexión en la CRP.																																									
Categorías y Valoración: <table><tr><th colspan="2">Valoración de cada criterio</th></tr><tr><td>Parques Nacionales</td><td>A</td></tr><tr><td>Áreas de Bosque y Vegetación Protectora</td><td>B</td></tr><tr><td>Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves</td><td>C</td></tr><tr><td>Áreas Prioritarias a Nivel Nacional para la Conservación</td><td>D</td></tr></table> <table><tr><th>Áreas protegidas</th><th>Agrupación de Categoría</th><th>Valoración</th></tr><tr><td>D</td><td rowspan="16">Áreas protegidas según su prioridad (Parques Nacionales, ABVP, AICAs, APNN)</td><td>185</td></tr><tr><td>C</td><td>190</td></tr><tr><td>CD</td><td>195</td></tr><tr><td>BD</td><td>200</td></tr><tr><td>BC</td><td>205</td></tr><tr><td>BCD</td><td>210</td></tr><tr><td>A</td><td>215</td></tr><tr><td>AD</td><td>220</td></tr><tr><td>AC</td><td>225</td></tr><tr><td>AB</td><td>230</td></tr><tr><td>ABD</td><td>240</td></tr><tr><td>ABC</td><td>250</td></tr><tr><td>ABCD</td><td>255</td></tr></table>		Valoración de cada criterio		Parques Nacionales	A	Áreas de Bosque y Vegetación Protectora	B	Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves	C	Áreas Prioritarias a Nivel Nacional para la Conservación	D	Áreas protegidas	Agrupación de Categoría	Valoración	D	Áreas protegidas según su prioridad (Parques Nacionales, ABVP, AICAs, APNN)	185	C	190	CD	195	BD	200	BC	205	BCD	210	A	215	AD	220	AC	225	AB	230	ABD	240	ABC	250	ABCD	255
Valoración de cada criterio																																									
Parques Nacionales	A																																								
Áreas de Bosque y Vegetación Protectora	B																																								
Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves	C																																								
Áreas Prioritarias a Nivel Nacional para la Conservación	D																																								
Áreas protegidas	Agrupación de Categoría	Valoración																																							
D	Áreas protegidas según su prioridad (Parques Nacionales, ABVP, AICAs, APNN)	185																																							
C		190																																							
CD		195																																							
BD		200																																							
BC		205																																							
BCD		210																																							
A		215																																							
AD		220																																							
AC		225																																							
AB		230																																							
ABD		240																																							
ABC		250																																							
ABCD		255																																							

Archivos:

Shape	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
areas_protegidas_CRP_UTM_WGS84_17s_set6	a_p_puntaje	A_p_puntaje	areas_protegidas

**Fuentes de información:**

Parque Nacional Cajas: Parque Nacional Cajas-Universidad del Azuay, 2004-2008

Parque Nacional Sangay: Universidad del Azuay-CGPaute, 2004-2008

Área Privada: Fundación Cordillera Tropical, sin fechas

ABVP: MAE, 1996-1998

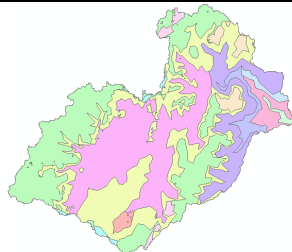
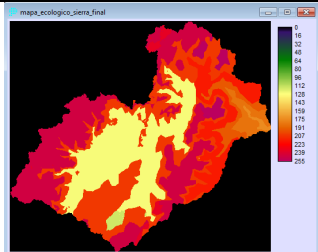
AICAs: BirdLife, 2005-2005

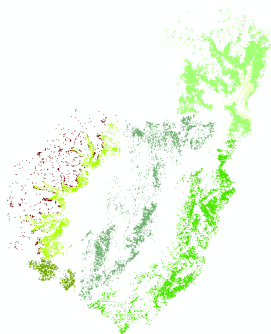
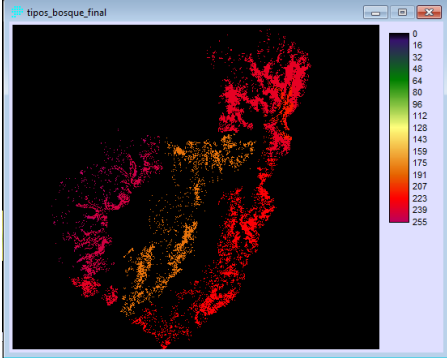
APNN: TNC, MAE, Conservation International, EcoCiencia, 2006-2006

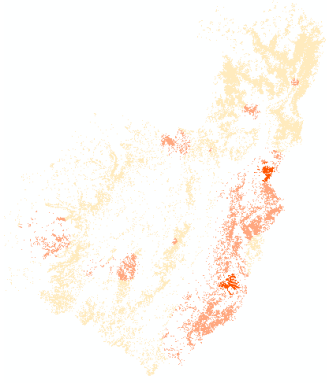
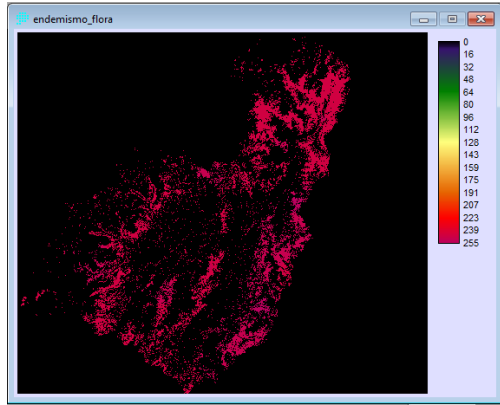
Procedimiento:

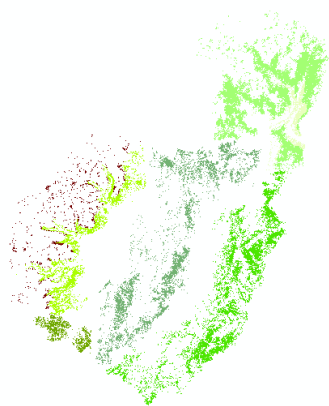
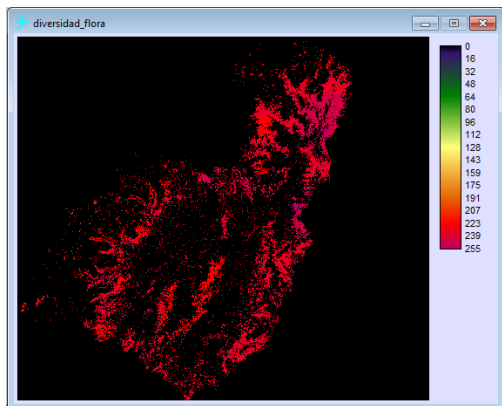
La valoración está dada por la sobre posición de las áreas de conservación, siendo las más altas las zonas que tienen mayor números de áreas de conservación.

La información se obtuvo desde varias fuentes explicadas en las fuentes de información, esta se convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “puntaje” de la tabla de atributos y luego se pasó al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (areas_protegidas), todo el proceso se realizó en WGS-84.

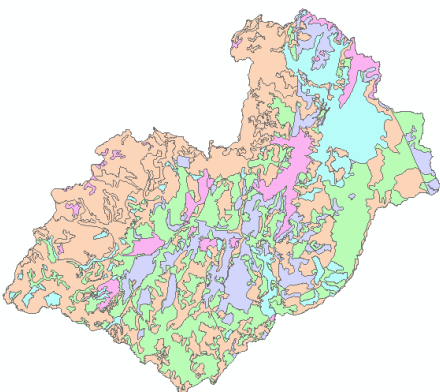
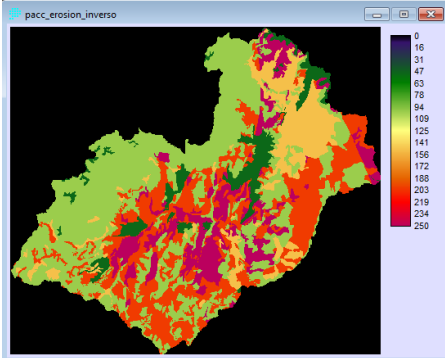
Factor: Formaciones Vegetales Sierra				
Categorías de clasificación:		Mapa Ecológico Sierra (1999) - 12 categorías		
Criterio de valoración:		Formaciones vegetales de la cuenca hidrográfica del Paute en el año 2000.		
Descripción:				
Es parte de una propuesta preliminar de un sistema de clasificación de la vegetación natural del Ecuador continental a escala 1:1.000.000. Contribuyendo al estudio de la biodiversidad en general y específicamente al estudio de la fitosociología y la fitogeografía del Ecuador mediante la estandarización de la nomenclatura respectiva. Su aplicación, junto a otros criterios como la viabilidad de poblaciones silvestres, el nivel de fragmentación y presión, ayuda en la identificación de áreas críticas, la definición de áreas protegidas, el manejo de recursos y el ordenamiento territorial, entre otros.				
Categorías y Valoración:				
Mapa_Ecologico_Sierra_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración	
Bosque Siempre Verde Piemontano de la Amazonia		Tipos de Formaciones Vegetales	185	
Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonia			185	
Matorral Seco Montano de los Andes del Norte y Centro			115	
Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Occidentales			195	
Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales			195	
Bosque Siempre-Verde Montano Bajo de los Andes Orientales del Norte y Centro			245	
Bosque Siempre-Verde Montano Bajo de los Andes Orientales del Sur			245	
Matorral Húmedo Montano de los Andes del Norte y Centro			125	
Bosque de Neblina Montano de los Andes Orientales			215	
Páramo Herbáceo			235	
Páramo Seco			245	
Páramo de Almohadillas			255	
Archivos:				
Shape		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Mapa_Ecologico_Sierra_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		mapa_eco_s	mapa_eco	mapa_ecologico_sierra
				
Fuentes de información:				
Institución que generó la Información: Rodrigo Sierra – ECOCIENCIA, 1994				
Institución que publicó la Información: ECOCIENCIA, 1999				
Procedimiento:				
La valoración de las formaciones vegetales dentro de la CRP que son importantes para la retención y conservación del agua. Teniendo los valores más altos en todos los tipos de páramo y el bosque nublado. Sin embargo, la calificación no es muy disímil, ya que las otras formaciones vegetales son también muy importantes. La información se obtuvo de la Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental, de Sierra (1999). Esta se convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “CLASS_NAME” de la tabla de atributos (Mapa_ecologico_Sierra) y luego se lo pasó al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (mapa_ecologico_sierra).				

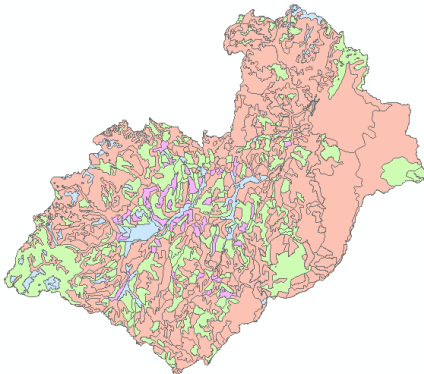
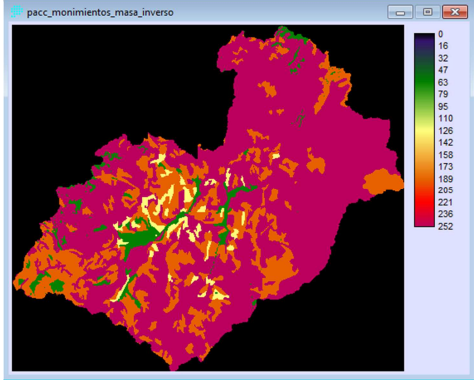
Factor: Tipos de Bosque				
Categorías de clasificación:	Tipos de Bosque - 7 categorías			
Criterio de valoración:	Formaciones vegetales de las especies leñosas en las zonas altas y medias de la cuenca hidrográfica del Paute en el año 2000.			
Descripción:				
El mapa contiene la distribución espacial de los tipos de bosque existentes en las zonas alta y media de la Cuenca Hidrográfica del Río Paute, en el año 2000. La identificación de los bosques se basa en estudios de vegetación (DIFORPA 2003), confrontada con la cobertura de bosque del año 2000 obtenida a partir de la imagen satelital LANDSAT5. Este mapa se encuentra a escala 1:100.000.				
Categorías y Valoración:				
Tipos_bosque_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración	
Bosque de las cuencas bajas de los ríos Palmira, Juval, Mazar y Pulpito		Descripción de Tipos de Bosque	215	
Matorrales dominados por <i>Myrcianthes rhopaloides</i> y <i>Hesperomeles ferrugínea</i>			185	
Bosques suroccidentales de <i>Clusia flaviflora</i>			235	
Bosques nororientales de <i>Clusia latipes</i>			235	
Bosques orientales de <i>Dicksonia sellowiana</i> y <i>Drimys granadensis</i>			225	
Bosques occidentales de <i>Weinmannia fagaroides</i> , <i>Hedyosmum cumbalense</i> y <i>Piper andreanum</i>			245	
Bosques de <i>Polylepis</i>			255	
Archivos:				
Shape		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Tipos_bosque_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Tipos_bosque	tiposbosque	Tipos_bosque
				
Fuentes de información:				
Institución que generó la Información: Universidad del Azuay-DIFORPA, 2000				
Institución que publicó la Información: Universidad del Azuay, 2003				
Procedimiento:				
La valoración está dada tomando en cuenta que los tipos de bosque son importantes para la retención y conservación del agua. Teniendo el valor más bajo los bosques de las cuencas bajas, ya que estos tienen menor importancia dentro de la CRP. Sin embargo, la calificación no es muy disímil a los otros tipos de bosque (200). Por otro lado, los bosques de <i>Polylepis</i> tienen igual valor que los restantes, al ser poco representativos, en su área.				
La información se obtuvo desde CRP_SAM56_V3, esta se la convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “descripción” de la tabla de atributos (tipos_bosque) y luego se convirtió al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (tipos_bosque).				

Factor: Estudio Florístico. Endemismo				
Categorías de clasificación:		Endemismo - 3 categorías		
Criterio de valoración:		Número de especies endémicas por zona, siendo los valores más altos los sitios que tienen entre 5 y 7 especies arbóreas.		
Descripción:				
Contiene información de la distribución espacial de los patrones de endemismo de las especies leñosas en las zonas altas y media de la cuenca hidrográfica del Paute en el año 2000. La escala a la que se encuentra la información es a 1:100.000.				
Categorías y Valoración:				
Endemismo_2000_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración	
0 - 3		0 < especies endémicas < 3	245	
3 - 5		3 < especies endémicas < 5	250	
5 - 7		5 < especies endémicas ≤ 7	255	
Archivos:				
Shape		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Endemismo_2000_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		endemismo	endemismo	endemismo_flora
				
Fuentes de información:				
Institución que generó la Información: Universidad del Azuay-DIFORPA, 1998 al 2000				
Institución que publicó la Información: Universidad del Azuay, 2003				
Procedimiento:				
La valoración está dada por el número de especies endémicas arbóreas en cada zona, obtenidas a partir de la interpolación de parcelas.				
La información se obtuvo desde CRP_SAM56_V3, ésta se convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “RANGO_END” de la tabla de atributos (endemismo) y luego se lo pasó al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (endemismo_flora), todo el proceso se lo realizó en WGS-84.				

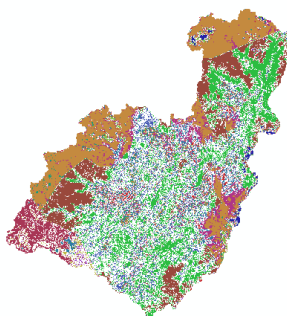
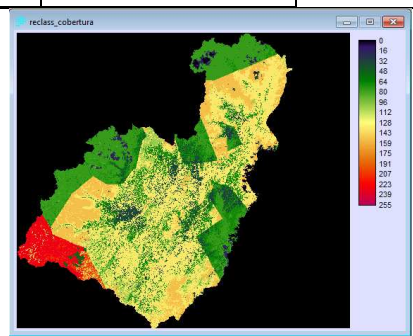
Factor: Estudio Florístico. Diversidad			
Categorías de clasificación:	Diversidad Flora - 6 categorías		
Criterio de valoración	Número de especies por zona, a intervalos de 10 puntos, siendo los valores más altos los sitios que tienen entre 50 y 55 especies arbóreas.		
Descripción:			
Contiene información de la distribución espacial de los patrones de riqueza (diversidad) de las especies leñosas en las zonas altas y media de la cuenca hidrográfica del Paute en el año 2000. El mapa se confeccionó empleando la cobertura de bosque del año 2000 y los datos de muestreos de vegetación. La escala a la que se encuentra la información es a 1:100.000.			
Categorías y Valoración:			
Diversidad_2000_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración
0 -10		0 < especies < 10	205
10 -20		10 < especies < 20	215
20 -30		20 < especies < 30	225
30 - 40		30 < especies < 40	235
40 - 50		40 < especies < 50	245
50 - 55		50 < especies ≤ 55	255
Archivos:			
Shape	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Diversidad_2000_CRP_UTM_WGS84_17s_s t6	diversidad	diversidad	diversidad_flora
			
Fuentes de información:			
Institución que generó la Información: Universidad del Azuay-DIFORPA, 1998 al 2000			
Institución que publicó la Información: Universidad del Azuay, 2003			

2.3 Vulnerabilidad de ecosistemas

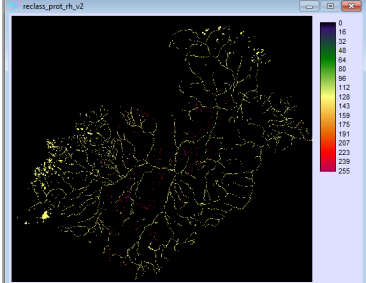
Factor: Vulnerabilidad a los riesgos climáticos en la cuenca del Paute - Peligros de Erosión			
Categorías de clasificación:	Peligros de Erosión - 5 categorías		
Criterio de valoración:	Nivel de susceptibilidad de erosión de las áreas dentro de la CRP. Contiene información sobre las amenazas, los impactos y vulnerabilidad en general que puede sufrir la cuenca por cambios en el clima.		
Descripción:			
Realiza un acercamiento a los problemas y riesgos en cuanto a erosión que se pueden dar en la CRP. Contiene información sobre las amenazas, los impactos, y vulnerabilidad en general que puede sufrir la cuenca por cambios en el clima. Escala 1:250.000.			
Categorías y Valoración:			
PACCerosion_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración
ZONAS SIN SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION		Susceptibilidad	50
ZONAS CON SUSCEPTIBILIDAD BAJA A LA EROSION			100
ZONAS CON SUSCEPTIBILIDAD LIGERA A LA EROSION			150
ZONAS CON SUSCEPTIBILIDAD MODERADA A LA EROSION			200
ZONAS CON SUSCEPTIBILIDAD ALTA A LA EROSION			250
Archivos:			
Shape	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
PACCerosion_CRP_UTM_WGS84_17s_set6	erosion	erosion	pacc_erosion
			
Fuentes de información:			
Institución que generó la Información: Ministerio del Ambiente y Proyecto de Adaptabilidad al Cambio Climático Ecuador, 2008			
Institución que publicó la Información: Ministerio del Ambiente y Proyecto de Adaptabilidad al Cambio Climático Ecuador, 2009			
Procedimiento:			
La información se obtuvo desde PACC, esta se convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “cobertura” de la tabla de atributos (DESCRIPCION) y luego se pasó al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (pacc_erosion).			

Factor: Vulnerabilidad a los riesgos climáticos en la cuenca del Paute - Peligros de Movimientos de Masa			
Categorías de clasificación:	Peligros de Movimientos de Masa - 4 categorías		
Criterio de valoración:	Nivel de susceptibilidad de movimientos de masa. Contiene información sobre las amenazas, los impactos, y vulnerabilidad en general que puede sufrir la cuenca por cambios en el clima.		
Descripción:			
Realiza un acercamiento a los problemas y riesgos en cuanto a los movimientos de masa que se pueden dar en la CRP. Presenta las amenazas, los impactos, y vulnerabilidad en general que puede sufrir la cuenca por cambios en el clima. Escala 1:250.000.			
Categorías y Valoración:			
PACCMovMasa_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		Agrupación de Categoría	Valoración
BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA		Susceptibilidad	63
MODERADA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA			126
MEDIANA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA			189
ALTA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA			252
Archivos:			
Shape	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
PACCMovMasa_CRP_UTM_WGS84_17s_set6	mov_masa	mov_masa	pacc_movimientos_masa
			
Fuentes de información:			
Institución que generó la Información: Ministerio del Ambiente y Proyecto de Adaptabilidad al Cambio Climático Ecuador, 2008			
Institución que publicó la Información: Ministerio del Ambiente y Proyecto de Adaptabilidad al Cambio Climático Ecuador, 2009			
Procedimiento:			
La valoración está dada por la susceptibilidad a los movimientos de masa de las zonas de la CRP.			
La información se obtuvo desde PACC, esta se convirtió a raster (ArcGIS) según la información contenida en la columna “cobertura” de la tabla de atributos (DESCRIPCION) y luego se pasó al formato Raster (Idrisi) y su reclasificación respectiva (pacc_movimientos_masas).			

2.4 Disponibilidad del agua

Factor: Regulación del Agua																																			
Categorías de clasificación:		Rangos de regulación del recurso hídrico - 14 categorías.																																	
Criterio de valoración:		A mayores valores de la multiplicación de la estacionalidad de la precipitación y la cobertura vegetal, son consideradas las áreas prioritarias para conservación.																																	
Descripción:																																			
El criterio es conservar las zonas donde se tenga una marcada estacionalidad y la cobertura de suelo bien conservada. Por ejemplo en zonas donde la precipitación es marcada en uno o dos meses y el resto de meses no tiene o tiene muy poca precipitación, se debería conservar las áreas donde existan una cobertura vegetal bien conservada, de tal manera que estas zonas se recarguen cuando exista la precipitación y vayan regulando el recurso hídrico en los meses donde no exista precipitación.																																			
Categorías y Valoración:																																			
<table><tr><th>Regulación del recurso</th><th>Valoración</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>17</td></tr><tr><td>4</td><td>34</td></tr><tr><td>6</td><td>51</td></tr><tr><td>8</td><td>68</td></tr><tr><td>9</td><td>77</td></tr><tr><td>10</td><td>85</td></tr></table>		Regulación del recurso	Valoración	0	1	2	17	4	34	6	51	8	68	9	77	10	85	<table><tr><th>Regulación del recurso</th><th>Valoración</th></tr><tr><td>12</td><td>102</td></tr><tr><td>16</td><td>136</td></tr><tr><td>18</td><td>153</td></tr><tr><td>20</td><td>170</td></tr><tr><td>24</td><td>204</td></tr><tr><td>27</td><td>230</td></tr><tr><td>30</td><td>255</td></tr></table>		Regulación del recurso	Valoración	12	102	16	136	18	153	20	170	24	204	27	230	30	255
Regulación del recurso	Valoración																																		
0	1																																		
2	17																																		
4	34																																		
6	51																																		
8	68																																		
9	77																																		
10	85																																		
Regulación del recurso	Valoración																																		
12	102																																		
16	136																																		
18	153																																		
20	170																																		
24	204																																		
27	230																																		
30	255																																		
Archivos:																																			
<table><tr><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th></tr><tr><td>cob_esta_mult.img</td><td>cober_estacio.rst</td><td>reclass_cober_estacio.rst</td></tr></table>		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	cob_esta_mult.img	cober_estacio.rst	reclass_cober_estacio.rst																												
Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)																																	
cob_esta_mult.img	cober_estacio.rst	reclass_cober_estacio.rst																																	
																																			
Archivo: cob_esta_mult		Archivo: reclass_cobertura																																	
Fuentes de información: La información se obtuvo del estudio realizado por el Concejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute (CG Paute) “Asistencia técnica en hidrología para el desarrollo de herramientas de caracterización y monitoreo hidrológico y evaluación de alternativas de gestión de los recursos hídricos” (Timbe L., 2008). La metodología utilizada para el cálculo de la estacionalidad proviene de la Tesis Doctoral: “Rainfall variability and rainfall-runoff dynamics in the Paute River Basin – Southern Ecuadorian Andes”, (Celleri R., 2007).																																			
Procedimiento:																																			
1. Se partió del mapa de cobertura vegetal [componente ambiental]. 2. Se elaboró un mapa de estacionalidad a partir de la información de la precipitación en la cuenca del Paute, para lo cual se calculó el índice de Walsh and Lawer (SI) (Celleri R., 2007), el mismo que proporciona una medida de la propagación de la precipitación mensual con respecto a una distribución ideal uniforme mensual en los 12 meses. 3. Por álgebra de mapas se realizó una multiplicación entre el mapa de cobertura vegetal y el mapa de estacionalidad, el mapa resultante es el que se introducirá en el sistema de identificación y priorización de zonas de intervención para la conservación del recurso hídrico. 4. Reclasificación según los valores expuestos en Categorías y Valoración. 5. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre cober_estacio 6. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_cober_estacio.rst																																			

Factor: Producción de Agua		
Categorías de clasificación:	Déficit y Superávit - 7 categorías.	
Criterio de valoración:	Preservar las zonas donde exista superávit, dado que son recursos que se pueden preservar para los diferentes procesos naturales y para los diferentes usos del hombre.	
Descripción: El mapa Déficit y Superávit anual del recurso hídrico en la cuenca del Paute, informa sobre el agua disponible en la cuenca del Paute en forma natural, es decir la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, sin tomar en cuenta la utilización del recurso hídrico por el hombre. El balance es positivo (superávit) cuando la precipitación es superior a la evapotranspiración y un valor negativo (déficit) es cuando sucede lo contrario (precipitación menor que la evapotranspiración).		
Categorías y Valoración:		
	Déficit y Superávit	Valoración
Déficit	- 586,69 a 0	1
Superávit	0 a + 10,53	2
	+ 10,53 a +526,36	50
	+526,37 a +1052,73	100
	+1579,10 a 2105,45	200
	+2105,46 a +2684,45	255
Archivos:		
Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
def_sup_wgs	def_sup.rst	reclass_def_sup.rst
Archivo: def_sup_wgs		Archivo: reclass_def_sup.rst
Fuentes de información: La información se obtuvo del estudio realizado por CG Paute “Asistencia técnica en hidrología para el desarrollo de herramientas de caracterización y monitoreo hidrológico y evaluación de alternativas de gestión de los recursos hídricos” (Timbe L., 2008)”, donde consideró los datos precipitación y temperatura del Instituto Nacional de Hidrometeorología e Hidrología (INAMHI).		
Procedimiento:		
1. El Mapa de Déficit y superávit fue creado a partir de los datos de lluvia y del cálculo de la evapotranspiración (ET) en la cuenca del Paute. 2. Los datos de lluvia fueron recopilados del INAMHI. 3. El cálculo de la de la ET se derivó a partir de la información de temperatura, radiación solar, velocidad del viento, flujo de calor del suelo, presión de vapor, y otros parámetros. Sin embargo la información mayormente utilizada fue de temperatura. El método de cálculo empleado fue de Thornthwaite (1948), basado principalmente en la temperatura media (Timbe L., 2008). 4. El mapa final consiste en una suma algebraica entre la precipitación y la evapotranspiración en la cuenca del río Paute, denominado superávit cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración y déficit cuando sucede lo contrario. 5. Se convirtió a formato raster de Idrisi, con el nombre def_sup.rst 6. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_def_sup.rst		
Observaciones: Toda la información se trabajó en WGS84_UTM_17s.		

Factor: Protección del recurso hídrico							
Categorías de clasificación:	Rangos de protección del recurso - 3 categorías.						
Criterio de valoración:	El criterio que se maneja es la protección de todas las zonas de drenaje importantes para los procesos naturales y de utilidad para la población, en donde se ha considerado un peso doblemente importante para las fuentes hídricas, dado que son proveedoras directas de agua para la población.						
Descripción: Para la generación del mapa de protección del recurso hídrico en la cuenca del Paute se ha tomado en primer lugar, la información de fuentes hídricas en la cuenca (Inventarios de Recursos Hídricos de la cuenca del Paute), en donde se considera que estos sectores sean prioritarios para una protección, dado que se debe asegurar el abastecimiento de agua actual y futuro del agua para consumo humano. En el mapa se consideró una zona de 100 metros alrededor del punto de ubicación de las fuentes hídricas para su protección (criterio tomado de las fichas de los inventarios hídricos realizados en la cuenca del río Paute). En segundo lugar tenemos los ríos perennes, dado que son hábitats de flora y fauna, además son importantes fuentes de abastecimiento de agua para los diferentes usos de la población. Por estas razones se ha considerado proteger los ríos perennes y sus alrededores, en 50 metros a cada lado del río (criterio de franjas de protección para un río). En tercer lugar tenemos las lagunas naturales, de igual forma que los ríos son importantes fuentes de abastecimiento de agua, también constituyen zonas de amortiguamiento para la regulación del recurso y por supuesto la importancia ambiental que tienen estos espacios naturales. Por estas razones se ha considerado las lagunas y sus alrededores zonas protección, de igual manera se tomó en cuenta un contorno alrededor del área de la laguna de 100 metros, tomando el mismo criterio de las fuentes hídricas. Por último tenemos los humedales y pantanos (ciénagas), dada la importancia de los procesos naturales que se producen en estas zonas se ha considerado como áreas importantes para la protección. Además del área de la ciénaga, se ha sumado un área adicional de 100 metros alrededor de la misma para la protección. En resumen, el mapa se generó cruzando información de fuentes hídricas, ríos, lagunas y ciénagas, en donde se ha considerado un peso doblemente importante para las fuentes hídricas.							
Categorías y Valoración: El conjunto de estas áreas se ha valorado de la siguiente manera, 255 para las fuentes hídricas (más importantes), 125 para los ríos, lagunas y ciénegas (medianamente importantes), finalmente el valor de 0 en las otras áreas (nada importantes), éste último valor (0), fue necesario cambiarlo a 1 para efectos de cruce de información en Idrisi.							
Archivos: <table><tr><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th></tr><tr><td>prot_rh_v2</td><td>prot_rh_v2.rst</td><td>reclass_prot_rh_v2.rst</td></tr></table>		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	prot_rh_v2	prot_rh_v2.rst	reclass_prot_rh_v2.rst
Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)					
prot_rh_v2	prot_rh_v2.rst	reclass_prot_rh_v2.rst					
							
Archivo: prot_rh_v2	Archivo: reclass_prot_rh_v2.rst						
Fuentes de información: La información de fuentes hídricas se obtuvo de los inventarios hídricos de la cuenca del Paute [Consejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute (CGPaute), Gobierno Provincial del Azuay y el Gobierno Provincial del Cañar]. La información de ríos, lagunas y ciénagas se obtuvo desde CRP_SAM56_V3, disponible en la Universidad del Azuay (IERSE) y CG Paute, instituciones que crearon la cartografía temática de la cuenca del Paute en la escala 1:50 000.							

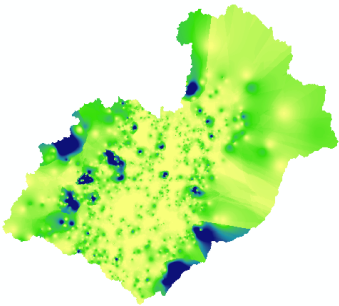
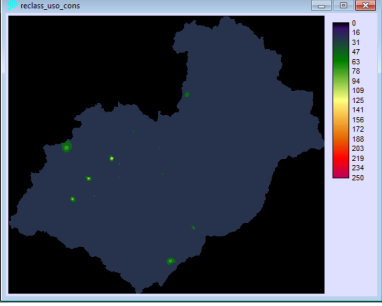
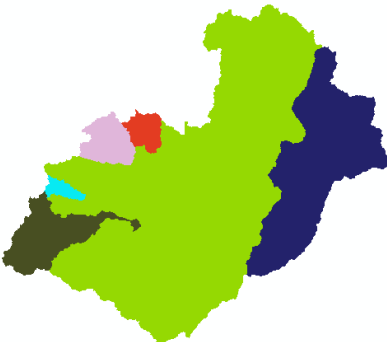
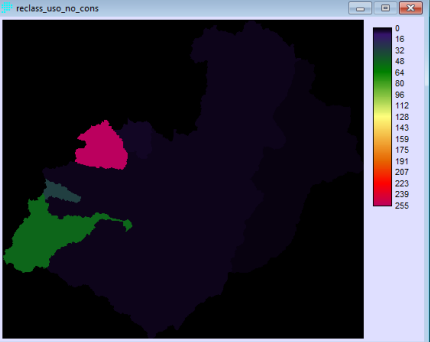
Procedimiento:

1. Se georreferenció las fuentes hídricas, ríos, lagunas y ciénegas.
2. A las fuentes hídricas se les asignó un valor de 255 (mayormente importante).
3. A los ríos, lagunas y ciénegas se les asignó un valor de 125 (importante).
4. Para las áreas fuera de los atributos anteriores, se estableció un valor de 1 (nada importante).
5. Posteriormente, se convirtió a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre prot_rh_v2
6. La reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_prot_rh_v2

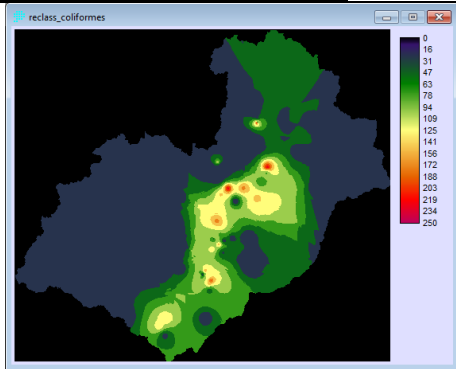
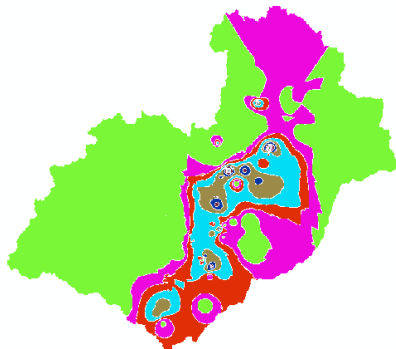
Observaciones:

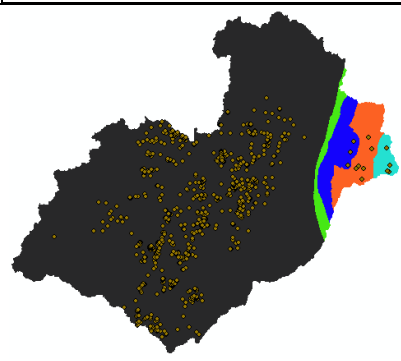
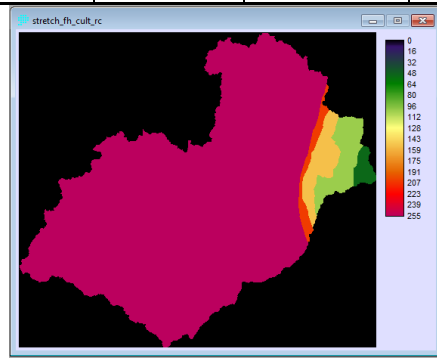
Toda la información se trabajó en WGS84_UTM_17s.

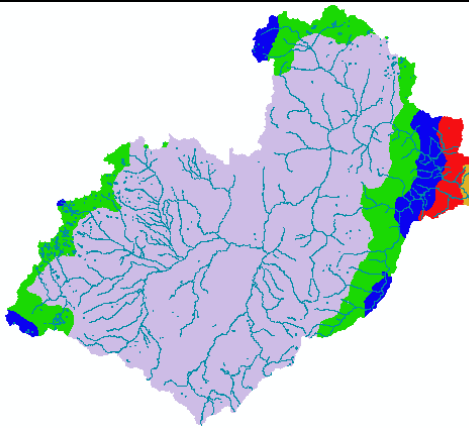
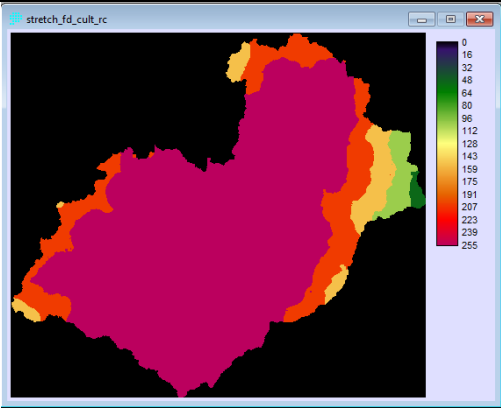
Factor: Uso del recurso hídrico (Demanda del agua)																																								
Categorías de clasificación:	Rangos usos consuntivos - 11 categorías Rangos usos no consuntivos – 6 categorías																																							
Criterio de valoración:	Usos consuntivos: Se protegerán y conservarán las zonas con el mayor valor del producto [caudales concesionados x prioridad del uso del recurso]. Usos no consuntivos: Se protegerán y conservarán las zonas aguas arriba del punto de concesión de hidroelectricidad, con una priorización de mayor a menor caudal concesionado.																																							
Descripción:																																								
Usos consuntivos: Para la generación del mapa se escogieron dos factores; el primer factor es el caudal concesionado para los diferentes usos del recurso hídrico y el segundo factor fue la prioridad en uso del recurso. Estos factores se multiplicaron y se realizó una interpolación mediante el método del inverso del cuadrado de la distancia, obteniéndose un mapa que representa los caudales concesionados y priorizados según el uso destinado. Usos no consuntivos: El criterio para crear el mapa de los usos no consuntivos es identificar las zonas de drenaje por microcuencas aguas arriba del punto de concesión y considerarlas factibles para realizar acciones de conservación, protección y mitigación (en caso de existir condiciones no deseadas), con la finalidad de preservar el flujo de agua para generar energía hidroeléctrica. La priorización de estas zonas se realizó según el valor de caudal concesionado. Hay que hacer notar que el caudal concesionado para hidroelectricidad en la salida de la subcuenca Paute (entradas de los embalses de Mazar y Amaluza), es extremadamente mayor que las otras concesiones (100 m3/seg.), dado que este caudal es el resultado del drenaje total de la cuenca alta y media y baja del río Paute, por lo tanto no se ha considerado estos valores extremos en la construcción del mapa, sin embargo, las acciones prioritarias que podrían tener las otras microcuencas o subcuencas beneficiaría indirectamente a los caudales de entrada de agua a los embalses mencionados.																																								
Categorías y Valoración:																																								
Usos consuntivos		Usos no consuntivos																																						
<table><tr><th>VALOR</th><th>RECLASIFICACIÓN</th></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>483</td><td>25</td></tr><tr><td>985</td><td>50</td></tr><tr><td>1487</td><td>75</td></tr><tr><td>1989</td><td>100</td></tr><tr><td>2491</td><td>125</td></tr><tr><td>2993</td><td>150</td></tr><tr><td>3495</td><td>175</td></tr><tr><td>3997</td><td>200</td></tr><tr><td>4499</td><td>225</td></tr><tr><td>4896,8</td><td>250</td></tr></table>	VALOR	RECLASIFICACIÓN	1	1	483	25	985	50	1487	75	1989	100	2491	125	2993	150	3495	175	3997	200	4499	225	4896,8	250	<table><tr><th>VALOR</th><th>RECLASIFICACIÓN</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>2</td></tr><tr><td>30</td><td>3</td></tr><tr><td>510</td><td>31</td></tr><tr><td>810</td><td>50</td></tr><tr><td>4210</td><td>255</td></tr></table>		VALOR	RECLASIFICACIÓN	0	1	10	2	30	3	510	31	810	50	4210	255
VALOR	RECLASIFICACIÓN																																							
1	1																																							
483	25																																							
985	50																																							
1487	75																																							
1989	100																																							
2491	125																																							
2993	150																																							
3495	175																																							
3997	200																																							
4499	225																																							
4896,8	250																																							
VALOR	RECLASIFICACIÓN																																							
0	1																																							
10	2																																							
30	3																																							
510	31																																							
810	50																																							
4210	255																																							
Archivos:																																								
<table><tr><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th></tr><tr><td>idw_cons</td><td>idw_cons_rc</td><td>reclass_uso_cons</td></tr><tr><td>uso_nc_rc_v3</td><td>uso_nc_v3</td><td>reclass_uso_no_cons</td></tr></table>	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	idw_cons	idw_cons_rc	reclass_uso_cons	uso_nc_rc_v3	uso_nc_v3	reclass_uso_no_cons																															
Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)																																						
idw_cons	idw_cons_rc	reclass_uso_cons																																						
uso_nc_rc_v3	uso_nc_v3	reclass_uso_no_cons																																						

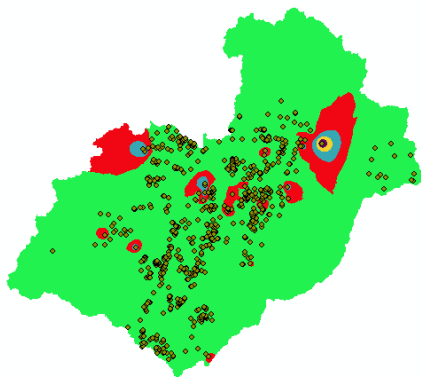
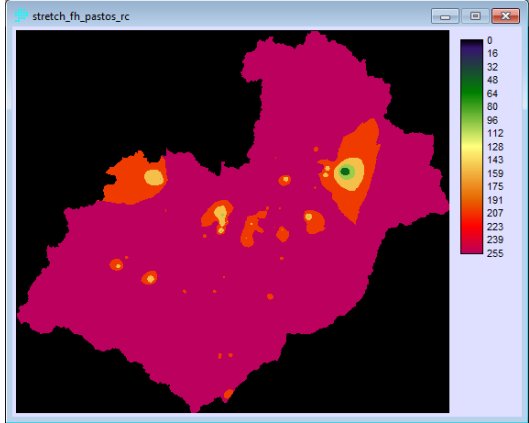
	
Archivo: idw_cons	Archivo: reclass_uso_cons
	
Archivo: uso_nc_rc_v3	Archivo: reclass_uso_no_cons
Fuentes de información: Usos consuntivos y no consuntivos: Se utilizó la información de concesiones de agua proporcionada por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA)	
Procedimiento: Usos consuntivos - Se georreferenció los puntos de todas las concesiones de agua en la cuenca del Paute. - Se identificó el campo de caudal y se dividió por rangos (los caudales menores o iguales a 1 lt. /seg., los caudales menores o iguales a 20 lt. /seg., y al resto de caudales se asignó el mismo valor concesionado). - Se identificó el campo uso del recurso y se determinó el factor de priorización, de tal manera que el valor de 5 se asignó al recurso destinado para consumo humano, el valor de 4 al recurso reservado para riego y para abrevaderos de ganado, el valor de 3 al recurso destinado para industrias, el valor de 2 para el recurso propuesto para piscícolas y el valor de 1 para otros usos. - Luego se realizó la multiplicación entre el caudal concesionado por la prioridad de uso y el valor resultante de cada concesión se empleó para realizar una interpolación en toda la cuenca, mediante el método del inverso del cuadrado de la distancia, obteniéndose un mapa que representa los caudales concesionados y priorizados según el uso destinado. - Se realizó la valoración mediante una reclasificación de 1 a 250, donde las zonas con valor 250 representan aquellas con mayor prioridad para la conservación y protección. - Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre idw_cons_rc. - Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_uso_cons. Usos no consuntivos - Se estimó con un valor constante bajo (igual a 10) a todas las subcuencas aguas arriba de los embalses de Amaluza y Mazar (o sea toda la cuenca del Paute, excepto la subcuenca Paute Bajo y río Negro. A las fuentes hídricas se les asignó un valor de 255 (mayormente importante) - A los valores de las áreas del punto uno, se han sumado un valor de 800 en las microcuencas del río Yanuncay (aguas arriba de la concesión para hidroelectricidad en la subcuenca del río Yanuncay). - A los valores resultantes de las áreas del punto anterior, se ha sumado 500 en la microcuenca del río Llaviucu (aguas arriba de la concesión para hidroelectricidad en la subcuenca del río Tomebamba). - A los valores resultantes de las áreas del punto anterior, se ha sumado 4200 en las microcuencas del río Chulco y río	

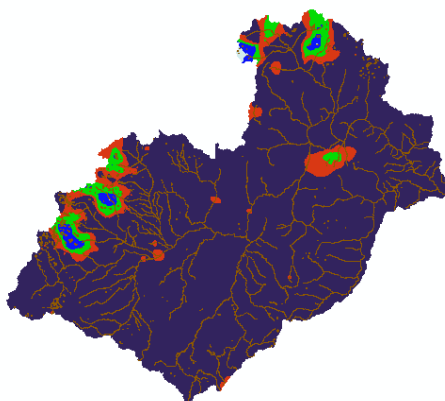
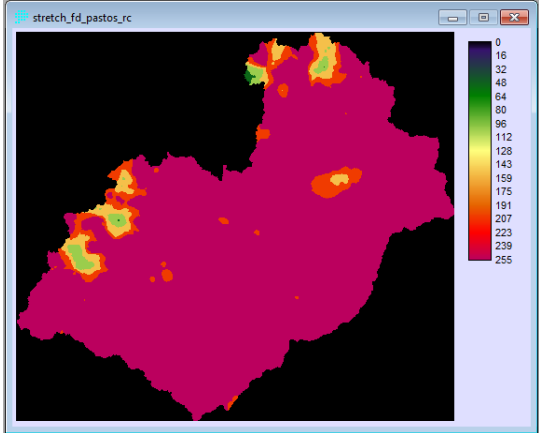
	Machángara Alto (aguas arriba de las concesiones para hidroelectricidad en la subcuenca del río Machángara).
5.	A la valoración de las áreas del punto anterior, se sumó 20 en las microcuencas del río Galuay y río Tambo (aguas arriba de las concesiones para hidroelectricidad en la subcuenca del río Burgay).
6.	Por lo tanto, el mapa final tiene un área con un valor máximo de 4210 y un valor mínimo de valor de 1 (dado que la subcuenca Paute Bajo y río Negro, no tuvieron valoración). Al final se realizó una reclasificación en una escala de 1 a 255.
7.	Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre uso_nc_v3.
8.	Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_uso_no_cons
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.	

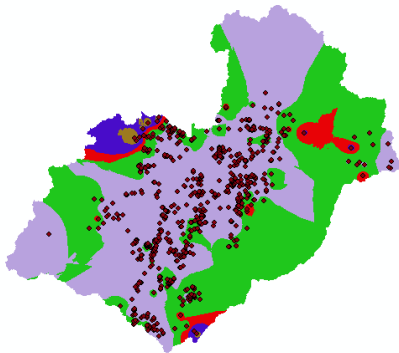
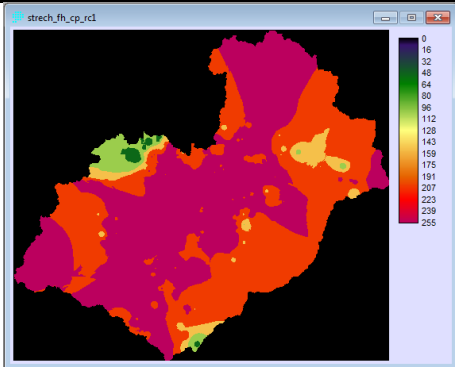
Factor: Calidad de agua																									
Categorías de clasificación:	Rangos de protección del recurso - 11 categorías.																								
Criterio de valoración:	Identificación de las zonas con los mayores valores de coliformes fecales con la finalidad de una actuación en la remediación de estas zonas con cierto grado de contaminación.																								
Descripción: Con respecto al mapa de calidad de agua que ingresará al sistema de identificación y priorización de zonas desde el punto de vista de protección y mitigación de zonas que registran cierto grado de contaminación, se ha tomado como referencia los coliformes fecales, dado que son organismos patógenos causantes de enfermedades en la población. El valor de este parámetro sirvió de base para realizar una interpolación en toda la cuenca del río Paute, mediante el método inversa cuadrado de la distancia y se identificaron las zonas con los mayores valores de coliformes fecales con la finalidad de una actuación en la remediación de esta situación.																									
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 250, siendo 250 los lugares prioritarios para la remediación.																									
<table><tr><th>VALOR</th><th>RECLASIFICACIÓN</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1600</td><td>25</td></tr><tr><td>3200</td><td>50</td></tr><tr><td>4800</td><td>75</td></tr><tr><td>6400</td><td>100</td></tr><tr><td>8000</td><td>125</td></tr><tr><td>9600</td><td>150</td></tr><tr><td>11200</td><td>175</td></tr><tr><td>12800</td><td>200</td></tr><tr><td>14400</td><td>225</td></tr><tr><td>19406</td><td>250</td></tr></table>		VALOR	RECLASIFICACIÓN	0	1	1600	25	3200	50	4800	75	6400	100	8000	125	9600	150	11200	175	12800	200	14400	225	19406	250
VALOR	RECLASIFICACIÓN																								
0	1																								
1600	25																								
3200	50																								
4800	75																								
6400	100																								
8000	125																								
9600	150																								
11200	175																								
12800	200																								
14400	225																								
19406	250																								
Archivos:																									
<table><tr><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th></tr><tr><td>idw_colif_rc</td><td>coliformes.rst</td><td>reclass_coliformes.rst</td></tr></table>		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	idw_colif_rc	coliformes.rst	reclass_coliformes.rst																		
Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)																							
idw_colif_rc	coliformes.rst	reclass_coliformes.rst																							
																									
Archivo: idw_colif_rc	Archivo: reclass_coliformes																								
Fuentes de información: Información disponible referente a coliformes fecales en los inventarios hídricos que realizó CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar.																									
Procedimiento: - Se ubicó las fuentes hídricas que han sido monitoreadas y tienen valores de coliformes fecales. - Se realizó una interpolación en toda la cuenca del río Paute, mediante el método inversa cuadrado de la distancia y se identificaron las zonas con los mayores valores de coliformes fecales. - Los valores finales se reclasificaron de 1 a 250, siendo 250 los lugares prioritarios para la remediación. - Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre coliformes - Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_coliformes.																									
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.																									

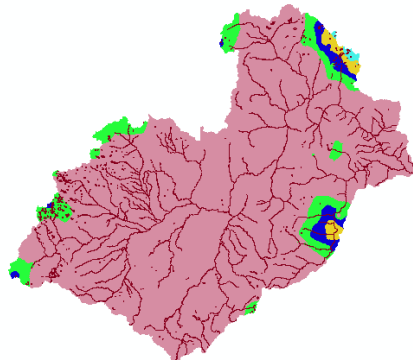
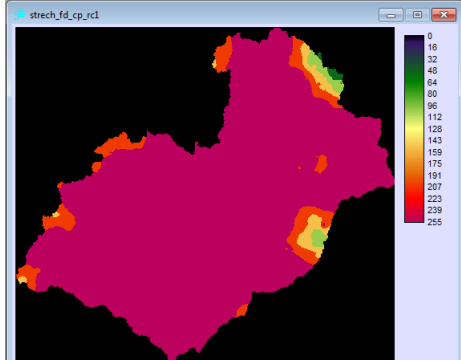
Factor: Distancia de Fuentes Hídricas a cultivos				
Categorías de clasificación:		Distancias de Fuentes Hídricas a cultivos		
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre las fuentes hídricas y los cultivos, de tal manera de considerarlas prioritarias para una protección y prevención de una contaminación del agua		
Descripción: Se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanos a zonas donde existen cultivos. Los cultivos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal del componente ambiental. Dado el uso extensivo de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas y el constante lavado de estos compuestos cuando existe escorrentía superficial, hace pensar en una contaminación de las fuentes de agua cercanas a estas zonas productivas, perjudicando la calidad del agua.				
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.				
		VALOR	RECLASIFICACIÓN	
		1	1	
		5	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_cultivos	fh_cult_rc	fh_cult_rc.rst	reclass_fh_cult_rc.rst	stretch_fh_cult_rc.rst
				
Archivo: fh_cult_rc		Archivo: stretch_fh_cult_rc.rst		
Fuentes de información: La información se obtuvo de los Inventarios de recursos hídricos de la cuenca del río Paute (CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar). Además se utilizó información de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.				
Procedimiento: - Se ubicó las fuentes hídricas y los cultivos. - Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre cultivos y fuentes hídricas. - Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los cultivos y las fuentes hídricas. - Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fh_cult_rc - Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fh_cult_rc. - Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fh_cult_rc				
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.				

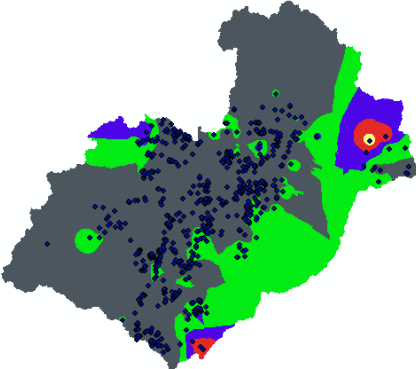
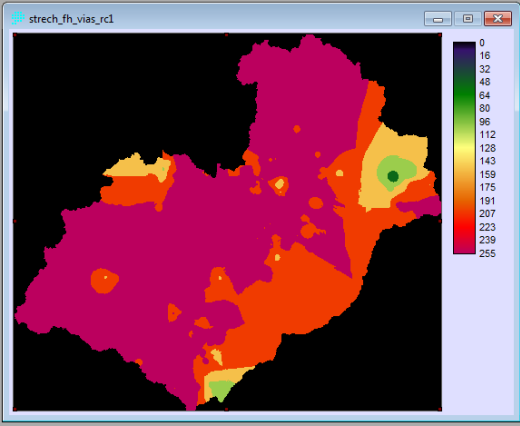
Factor: Distancia de Cuerpos de Agua a cultivos				
Categorías de clasificación:		Distancias de Cuerpos de agua a cultivos		
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) y los cultivos, de tal manera de considerarlos prioritarios para una protección y prevención de una contaminación del agua		
Descripción:				
Igualmente que las fuentes hídricas, se ha considerado que los cuerpos de agua son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanos a zonas donde existen cultivos. Los cultivos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal del componente ambiental.				
Dado el uso extensivo de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas y el constante lavado de estos compuestos cuando existe escorrentía superficial, hace pensar en una contaminación de los cuerpos de agua cercanos a estas zonas productivas, perjudicando la calidad del agua.				
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.				
		VALOR	RECLASIFICACIÓN	
		1	1	
		5	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_Drenaje_50K_UTM_WGS84_cultivos	fd_cult_rc	fd_cult_rc.rst	reclass_fd_cult_rc.rst	stretch_fd_cult_rc.rst
				
Archivo: fd_cult_rc		Archivo: stretch_fd_cult_rc.rst		
Fuentes de información: La información se obtuvo de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.				
Procedimiento:				
1. Se ubicó los cuerpos de agua y los cultivos. 2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre cultivos y cuerpos de agua. 3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los cultivos y los cuerpos de agua. 4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fd_cult_rc 5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fd_cult_rc. 6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fd_cult_rc				
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.				

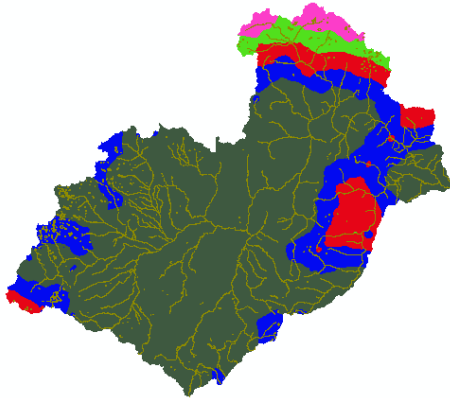
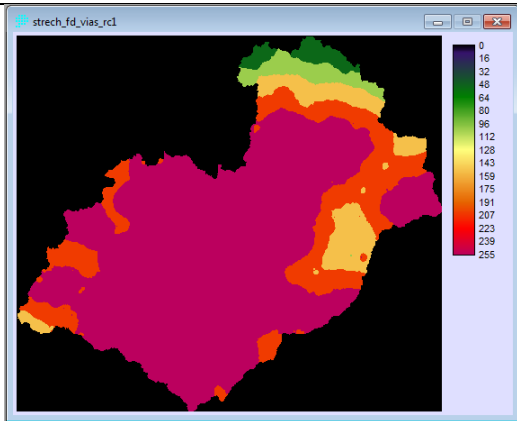
Factor: Distancia de Fuentes Hídricas a pastos				
Categorías de clasificación:		Distancias de Fuentes Hídricas a pastos		
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre las fuentes hídricas y los pastos, de tal manera de considerarlos prioritarios para una protección y prevención de una contaminación del agua		
Descripción:				
Se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanos a zonas donde existen pastos. Los pastos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal del componente ambiental.				
Dada la existencia de desechos orgánicos de los semovientes en las actividades agropecuarias y el constante lavado de estos desechos cuando existe escorrentía superficial, contaminando las fuentes hídricas. Por lo tanto las fuentes hídricas más cercanas a las zonas de pastos, serán las más vulnerables a una contaminación del agua				
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.				
		VALOR	RECLASIFICACIÓN	
		1	1	
		5	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_pastos	fh_pastos_rc	fh_pastos_rc.rst	reclass_fh_pastos_rc.rst	stretch_fh_pastos_rc.rst
				
Archivo: fh_pastos_rc		Archivo: stretch_fh_pastos_rc.rst		
Fuentes de información: La información se obtuvo de los Inventarios de recursos hídricos de la cuenca del río Paute (CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar). Además se utilizó información de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.				
Procedimiento:				
1. Se ubicó las fuentes hídricas y los pastos. 2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre pastos y fuentes hídricas. 3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los pastos y las fuentes hídricas. 4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fh_pastos_rc 5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fh_pastos_rc. 6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fh_pastos_rc				
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.				

Factor: Distancia de Cuerpos de Agua a pastos				
Categorías de clasificación:		Distancias de Cuerpos de agua a pastos		
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) y los pastos, de tal manera de considerarlos prioritarios para una protección y prevención de una contaminación del agua		
Descripción: Igualmente que las fuentes hídricas, se ha considerado que los cuerpos de agua son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanos a zonas donde existen pastos. Los pastos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal del componente ambiental. Al igual que las fuentes hídricas, los cuerpos de agua más cercanos a los pastos, son más vulnerables a una contaminación del agua, debido al lavado de desechos orgánicos de los semovientes cuando existe escorrentía superficial.				
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.				
		VALOR	RECLASIFICACIÓN	
		1	1	
		5	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_Drenaje_50K_UTM_WGS84_pastos	fd_pastos_rc	fd_pastos_rc.rst	reclass_fd_pastos_rc.rst	stretch_fd_pastos_rc.rst
				
Archivo: fd_pastos_rc		Archivo: stretch_fd_pastos_rc.rst		
Fuentes de información: La información se obtuvo de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.				
Procedimiento: - Se ubicó los cuerpos de agua y los pastos. - Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre pastos y cuerpos de agua. - Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los pastos y los cuerpos de agua. - Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fd_pastos_rc - Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fd_pastos_rc. - Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fd_pastos_rc				
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.				

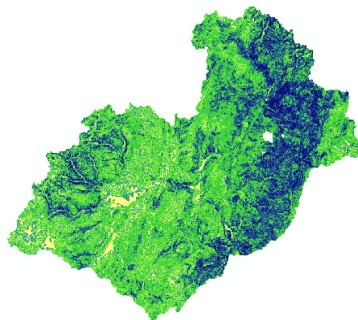
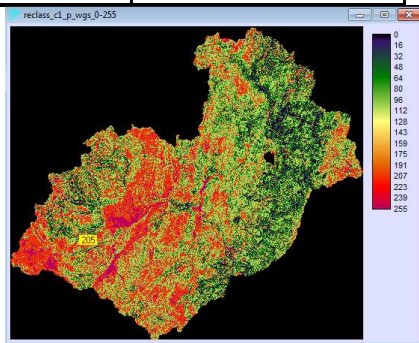
Factor: Distancia de Fuentes Hídricas a centros poblados					
Categorías de clasificación:		Distancias de Fuentes Hídricas a centros poblados			
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre las fuentes hídricas y los centros poblados, de tal manera de considerarlas prioritarias para evitar una afectación a las fuentes hídricas que perjudiquen la cantidad y calidad de agua.			
Descripción:					
Se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una afectación, cuando estén más cercanas a los centros poblados.					
Dado las actividades productivas-económicas que ocurren en las zonas cercanas a los centros poblados, podrían abarcar zonas donde existan fuentes hídricas, que perjudiquen la cantidad y calidad del agua.					
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.					
		VALOR	RECLASIFICACIÓN		
		1	1		
		5	255		
Archivos:					
Shape (ArcGIS)		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_CP		fh_cp_rc	fh_cp_rc.rst	reclass_fh_cp_rc.rst	stretch_fh_cp_rc1.rst
					
Archivo: fh_cp_rc		Archivo: stretch_fh_cp_rc1.rst			
Fuentes de información: La información se obtuvo de los Inventarios de recursos hídricos de la cuenca del río Paute (CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar). Además se utilizó información de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.					
Procedimiento:					
1. Se ubicó las fuentes hídricas y los centros poblados. 2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre centros poblados y fuentes hídricas. 3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los centros poblados y las fuentes hídricas. 4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fh_cp_rc 5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fh_cp_rc. 6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fh_cp_rc					
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.					

Factor: Distancia de cuerpos de agua a centros poblados					
Categorías de clasificación:		Distancias de cuerpos de agua a centros poblados			
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) y los centros poblados, de tal manera de considerarlas prioritarias para evitar una afectación a los cuerpos de agua que perjudiquen la cantidad y calidad de agua.			
Descripción:					
Se ha considerado que los cuerpos de agua son vulnerables a una afectación, cuando estén más cercanos a los centros poblados					
Dado las actividades productivas-económicas que ocurren en las zonas cercanas a los centros poblados, podrían abarcar zonas donde existan cuerpos de agua, que perjudiquen la cantidad y calidad del agua.					
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.					
		VALOR	RECLASIFICACIÓN		
		1	1		
		5	255		
Archivos:					
Shape (ArcGIS)		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_Drenaje_50K_UTM_WGS84_CP		fd_cp_rc	fd_cp_rc.rst	reclass_ fd_cp_rc.rst	stretch_ fd_cp_rc1.rst
					
Archivo: fd_cp_rc		Archivo: stretch_ fd_cp_rc1.rst			
La información se obtuvo de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.					
Procedimiento:					
1. Se ubicó los cuerpos de agua y los centros poblados.					
2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre centros poblados y cuerpos de agua.					
3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre los cuerpos de agua y los centros poblados.					
4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fd_cp_rc					
5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_ fd_cp_rc.					
6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_ fd_cp_rc1					
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.					

Factor: Distancia de Fuentes Hídricas a vías														
Categorías de clasificación:	Distancias de Fuentes Hídricas a vías													
Criterio de valoración:	Identificación de las zonas más cercanas entre las fuentes hídricas y las vías, de tal manera de considerarlas prioritarias para evitar una afectación a las fuentes hídricas que perjudiquen la cantidad y calidad de agua.													
Descripción:														
Se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una afectación, cuando estén más cercanas a las vías.														
Dado las diferentes actividades económico-productivas de la población que requieren vías para su movilización, en donde las zonas cercanas a las vías son destinadas preferentemente para realizar dichas actividades, por lo tanto podrían afectar a las fuentes hídricas contenidas en estas áreas, es por esto la consideración de este factor para identificar zonas vulnerables a una afectación de la cantidad y calidad de agua de las fuentes hídricas.														
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.														
<table><tr><th>VALOR</th><th>RECLASIFICACIÓN</th></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>5</td><td>255</td></tr></table>					VALOR	RECLASIFICACIÓN	1	1	5	255				
VALOR	RECLASIFICACIÓN													
1	1													
5	255													
Archivos:														
<table><tr><th>Shape (ArcGIS)</th><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th><th>Stretch (Idrisi)</th></tr><tr><td>Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_VIAS</td><td>fh_vias_rc</td><td>fh_vias_rc.rst</td><td>reclass_fh_vias_rc.rst</td><td>stretch_fh_vias_rc1.rst</td></tr></table>					Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)	Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_VIAS	fh_vias_rc	fh_vias_rc.rst	reclass_fh_vias_rc.rst	stretch_fh_vias_rc1.rst
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)										
Fuentes_hidricas_Inventarios_10k_WGS84_VIAS	fh_vias_rc	fh_vias_rc.rst	reclass_fh_vias_rc.rst	stretch_fh_vias_rc1.rst										
 														
Archivo: fh_vias_rc		Archivo: stretch_fh_vias_rc1.rst												
Fuentes de información: La información se obtuvo de los Inventarios de recursos hídricos de la cuenca del río Paute (CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar). Además se utilizó información de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.														
Procedimiento:														
1. Se ubicó las fuentes hídricas y las vías. 2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre vías y fuentes hídricas. 3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre las vías y las fuentes hídricas. 4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fh_vias_rc 5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fh_vias_rc. 6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fh_vias_rc														
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.														

Factor: Distancia de cuerpos de agua a vías				
Categorías de clasificación:		Distancias de cuerpos de agua a vías		
Criterio de valoración:		Identificación de las zonas más cercanas entre los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) y las vías, de tal manera de considerarlas prioritarias para evitar una afectación a los cuerpos de agua que perjudiquen la cantidad y calidad de agua.		
Descripción:				
Se ha considerado que los cuerpos de agua son vulnerables a una afectación, cuando estén más cercanas a las vías.				
Dado las diferentes actividades económico-productivas de la población que requieren vías para su movilización, en donde las zonas cercanas a las vías son destinadas preferentemente para realizar dichas actividades, por lo tanto podrían afectar a los cuerpos de agua contenidos en estas áreas, es por esto la consideración de este factor al igual que las fuentes hídricas, para identificar zonas vulnerables a una afectación de la cantidad y calidad de agua de los cuerpos de agua.				
Categorías y Valoración: Los valores finales se reclasificaron de 1 a 255, siendo 255 los lugares prioritarios para la prevención y protección.				
		VALOR	RECLASIFICACIÓN	
		1	1	
		5	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	Stretch (Idrisi)
Fuentes_Drenaje_50K_UTM_WGS84_VIAS	fd_vias_rc	fd_vias_rc.rst	reclass_fd_vias_rc.rst	stretch_fd_vias_rc1.rst
				
Archivo: fd_vias_rc		Archivo: stretch_fd_vias_rc1.rst		
La información se obtuvo de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del río Paute CGPaute.				
Procedimiento:				
1. Se ubicó los cuerpos de agua y las vías.				
2. Se realizó un cálculo espacial de las distancias entre cuerpos de agua y vías.				
3. Se priorizó las distancias menores, valorando estas distancias en una escala 1 a 255, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias entre las vías y los cuerpos de agua.				
4. Conversión a formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre fd_vias_rc				
5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre reclass_fd_vias_rc.				
6. Ajustar datos de 0 a 255 dentro de Idrisi con el nombre stretch_fd_vias_rc				
Observaciones: Toda información se trabajó en WGS84_UTM_17s.				

2.5 Importancia agropecuaria

Factor: Pendiente en porcentaje (%)																							
Categorías de clasificación:	Rangos de Pendientes - 6 categorías.																						
Criterio de valoración:	Pendiente en %, las mejores áreas para introducir o mejorar sistemas agropecuarios productivos dentro de la cuenca son pendientes con porcentajes menores.																						
Descripción:																							
Terrenos con pendientes menores favorecerían la introducción de actividades productivas, mientras que en las pendientes fuertes en cierta manera las actividades productivas estarían limitadas. De ahí que los rangos con porcentajes más altos de pendientes reciben menores valoraciones en comparación con los rangos de menor porcentaje.																							
Categorías y Valoración:																							
<table><tr><th>clas1_pend</th><th>Agrupación de Categoría</th><th>Valoración</th></tr><tr><td>0 - 5%</td><td>Plano</td><td>255</td></tr><tr><td>5 - 12%</td><td>Casi plano</td><td>205</td></tr><tr><td>12 - 25%</td><td>Ligeramente inclinado</td><td>205</td></tr><tr><td>25 - 50%</td><td>Inclinado</td><td>105</td></tr><tr><td>50 - 70%</td><td>Muy inclinado</td><td>55</td></tr><tr><td>> 70%</td><td>Escarpado</td><td>5</td></tr></table>			clas1_pend	Agrupación de Categoría	Valoración	0 - 5%	Plano	255	5 - 12%	Casi plano	205	12 - 25%	Ligeramente inclinado	205	25 - 50%	Inclinado	105	50 - 70%	Muy inclinado	55	> 70%	Escarpado	5
clas1_pend	Agrupación de Categoría	Valoración																					
0 - 5%	Plano	255																					
5 - 12%	Casi plano	205																					
12 - 25%	Ligeramente inclinado	205																					
25 - 50%	Inclinado	105																					
50 - 70%	Muy inclinado	55																					
> 70%	Escarpado	5																					
Archivos:																							
<table><tr><th>Raster base (ArcGIS)</th><th>Raster (ArcGIS)</th><th>Raster (Idrisi)</th><th>Reclass (Idrisi)</th></tr><tr><td>mdt_50k_sam56</td><td>c1_p_wgs</td><td>c1_p_wgs_idrisi</td><td>reclass_c1_p_wgs_0-255</td></tr></table>			Raster base (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)	mdt_50k_sam56	c1_p_wgs	c1_p_wgs_idrisi	reclass_c1_p_wgs_0-255													
Raster base (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)																				
mdt_50k_sam56	c1_p_wgs	c1_p_wgs_idrisi	reclass_c1_p_wgs_0-255																				
																							
Archivo: c1_p_wgs		Archivo: reclass_c1_p_wgs_0-255																					
Fuentes de información:																							
La información se obtuvo desde CRP_SAM56_V3, La valoración está dada por la clasificación por rangos de pendientes en porcentaje de la FAO en su libro Manual de Conservación de Suelos (2001).																							
Procedimiento:																							
1. A partir del MDT se generó el mapa de pendientes. 2. Reclasificación de este raster en 6 rangos. 3. Se pasó a la proyección PSAD56 a WGS84 con el set de transformación 6 (set 6), con el nombre "c1_p_wgs".																							

4. La conversión de formato raster de Idrisi (.rst), con el nombre "c1_p_wgs_idrisi".
5. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre "reclass_c1_p_wgs_0-255".

Factor: Suelos (Taxonomía)	
Categorías de clasificación:	Tipos de suelo - 13 categorías.
Criterio de valoración:	A mejores características del suelo de tipo físicas, químicas, orgánicas, mejor productividad.
Descripción: La valoración que se da a las agrupaciones dentro de esta clasificación de suelos, va en función de que la calidad de los suelos varía según sus características físicas y químicas, por ello dentro de la clasificación de suelos unos son más importantes que otros al momento de realizar actividades agro productivas, que es la principal característica que se busca en este análisis, por ello algunos tipos de suelo tienen mayor valor que otros. Por lo que describimos las características de cada uno de los suelos presentes en la Cuenca del Río Paute: • Eriales o afloramiento rocoso, son suelos muy degradados o zonas en donde la roca es visible, la retención del agua en estas zonas es muy baja o nula. De ahí se justifica el valor asignado. • Área urbana, en estas zonas la retención del agua se da en mínima proporción pero de una u otra forma si se dan retenciones, por lo que su valor es indicio de que en las áreas urbanas la retención de agua si está presente en mínimas proporciones. • Entisoles, tienen menos del 30% de fragmentos rocosos, formados típicamente tras aluviones de los cuales dependen mineralmente, suelos jóvenes y sin horizontes genéticos naturales o incipientes, permanecen jóvenes debido a que son enterrados por los aluviones antes de que lleguen a su madures, el cambio de color entre horizonte A y C es casi imperceptible, son pobres en materia orgánica, y en general responden a abonos nitrogenados, la mayoría de los suelos que se generan desde sedimentos no consolidados cuando jóvenes fueron entisoles, son abundantes en muchas áreas en posiciones de diques, dunas o superficies sometidas a acumulaciones arenosas de origen eólico, se presentan en zonas aledañas e influenciadas por los ríos, en áreas de la región Andina. • Vertisoles están definidos por la dinámica vinculada con su granulometría arcillosa, suelos minerales que se quiebran en estación seca, formando grietas de 1 cm de ancho, suelos muy ricos en arcilla, los suelos vertisoles ocupan las partes bajas del relieve en los altos llanos occidentales, suelos con fuerte expansión al humedecerse y contracción al secarse, son característicos de las cubetas de decantación y pantanos en los llanos y en valles aluviales, para el caso de los trópicos estos se forman a partir de la transformación directa de alófana en arcilla montmorillonita de tipo 2:1 expandible, hidratados y expandidos en húmedo y bastantes agrietados en seco. • Alfisoles, suelos de regiones húmedas, por lo que se encuentran húmedas la mayor parte del año, con un % de saturación de bases superior al 35%, sus horizontes subsuperficiales muestran evidencias claras de translocación de películas de arcillas que provienen posiblemente de molisoles, en los trópicos se presentan con pendientes mayores de 8 a 10% y vegetación de bosque refleja su alta fertilidad, son suelos jóvenes, comúnmente bajo bosques de hoja caediza. • Mollisoles, suelos de zonas de pastizales, ubicados en climas templados, húmedos y semiáridos, no presentan lixiviación excesiva, suelos oscuros, con buena descomposición de materia orgánica gracias a los procesos de adición y estabilización, saturación de bases superior al 50%, suelos productivos debido a su alta fertilidad, suelos bien estructurado, suelos formados a partir de sedimentos minerales en climas templados húmedos a semiáridos, cobertura vegetal integrada principalmente por gramíneas, dominancia de arcillas. • Histosoles, suelos orgánicos, se desarrollan en ambientes de condiciones húmedas o frías, el suelo se encuentra	

saturado en agua al menos una vez al año, su grado de evolución está asociado con el proceso de descomposición de sus materiales orgánicos, el material original de estos suelos consta de material vegetal poco descompuesto mezclado con cantidades variables de material terroso, es un suelo muy liviano, se forman en zonas con depresiones los páramos, pH en general ácido, fertilidad y productividad variable de acuerdo con la adecuación de la zona y el grado de evolución del material orgánico.

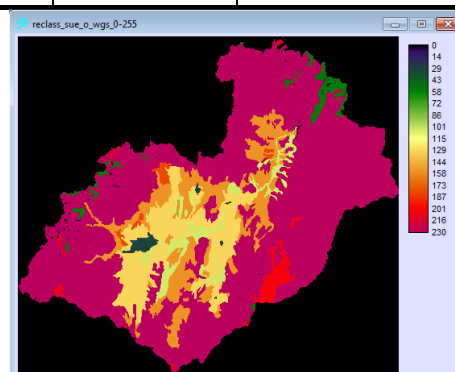
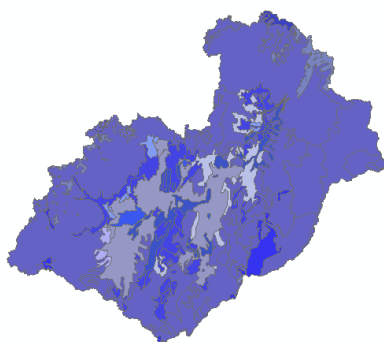
Inceptisoles, suelos con características poco definidas, no presentan intemperización extrema, suelos de bajas temperaturas, pero de igual manera se desarrollan en climas húmedos (fríos y cálidos), presentan alto contenido de materia orgánica, tienen una baja tasa de descomposición de la materia orgánica debido a las bajas temperaturas, pero en climas cálidos la tasa de descomposición de materia orgánica es mayor, pH ácido, poseen mal drenaje, acumulan arcillas amorfas, son una etapa juvenil de futuros ultisoles y oxisoles, para los trópicos ocupan las laderas más escarpadas desarrollándose en rocas recientemente expuestas, predominan en la cordillera de los andes junto a los entisoles y en la parte más alta los ultisoles, pH y fertilidad variables, dependientes de la zona: alta en zonas aluviales y baja en sedimentos antiguos y lavados sobre los cuales evolucionan el suelo.

Categorías y Valoración:

Suelos_Odeplan	Agrupación de Categoría	Valoración
Cuerpo de Agua	Cuerpo de Agua	0
Nieve y Hielo	Nieve y Hielo	0
Área Urbana	Área Urbana	30
Eriales o afloramiento rocoso	Eriales o afloramiento rocoso	55
Entisol	Entisol	105
Vertisol	Vertisol	130
Alfisol	Alfisol	155
Alfisol (Inceptisol)	Alfisol	155
Mollisol	Mollisol	180
Histosol	Histosol	205
Inceptisol	Inceptisol	230
Inceptisol + Entisol	Inceptisol	230
Inceptisol + Alfisol	Inceptisol	230

Archivos:

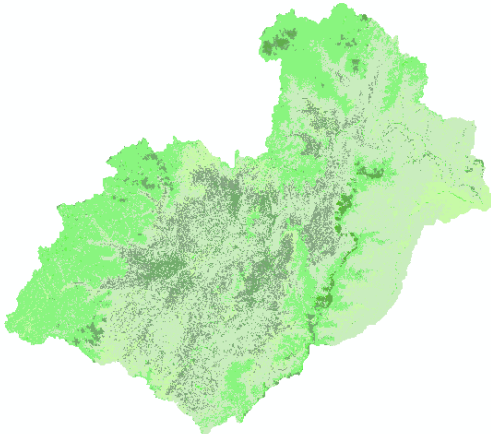
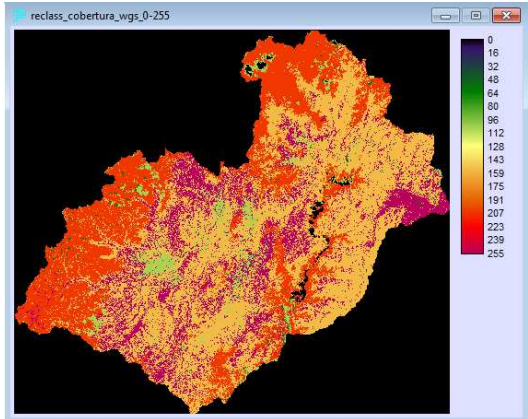
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Suelos_CRP_Odeplan_200k_UTM_WGS84_Z17_SET6	sue_o_wgs	sue_o_wgs_idrisi	reclass_sue_o_wgs_0-255



Archivo: Suelos_CRP_Odeplan_200k_UTM_WGS84_Z17_SET6	Archivo: reclass_sue_o_wgs_0-255
Fuentes de información: La información se obtuvo desde ODEPLAN a escala 1:200 000, la importancia y las características de cada uno de los tipos de suelos presentes en la Cuenca del Río Paute están tomadas del libro Base referencial del recurso suelo – FAO (2010).	
Procedimiento: 1. Corte del área de estudio, del mapa nacional de suelos de Odeplan 2002. 2. Clasificación a partir de la información contenida en la tabla de atributos según la descripción o nombre del tipo de suelo. 3. Se pasó de la proyección PSAD55 a WGS8 con el set de transformación 6 (set 6), con el nombre “Suelos_CRP_Odeplan_200k_UTM_WGS84_Z17_SET6”. 4. Conversión a formato raster de ArcGIS, con el nombre “sue_o_wgs”. 5. Conversión a formato raster de Idrisi, con el nombre “sue_o_wgs_idrisi”. 6. Reclasificación dentro de Idrisi con el nombre “reclass_sue_o_wgs_0-255”.	

Factor: Cobertura del suelo																												
Categorías de clasificación:	Cobertura de suelo, 8 categorías.																											
Criterio de valoración:	Las mejores coberturas de suelo para introducir en ciertas áreas actividades agro productivas son las mismas en las que se encuentran establecidos cultivos y pastos, las demás coberturas de una u otra forma dificultan el establecimiento de estos sistemas.																											
Descripción: Dentro de las categorías dentro de la cobertura de suelo que encontramos en la Cuenca del Río Paute, tenemos: Sombras, no se las valora porque no son una cobertura. Nubes, no se las valora porque nos son una cobertura. Agua, si bien no son zonas aptas para la implementación de sistemas productivos estas zonas son fuentes de agua que servirían para el abastecimiento de agua para riego dentro de los sistemas agrícolas que se establezcan o que ya estén establecidos. Suelo descubierto y/o Centros Poblados, estas zonas por el tipo de cobertura no se pueden establecer sistemas productivos, pero son zonas en las la agricultura tradicional aún se mantiene en pequeñas áreas, por lo que la implementación de otros tipos de producción agrícola y pecuaria es posible tomando ciertas medidas de control. Vegetación leñosa, si bien en estas áreas la producción agrícola se puede dificultar por el tipo de cobertura, en estas áreas se pueden implementar sistemas productivos de tipo agro silvopastoriles, en donde la conjunción de varios tipos de producción se pueden realizar sin causar altas deforestaciones pero de igual forma tomando medidas adecuadas de control para que estos sistemas funcionen adecuadamente y siendo amigables con el medio ambiente que los rodee. Páramo, en estas zonas se tienen áreas muy importantes para implementar sistemas agrícolas como producción de tubérculos, porque debido a las características tanto de suelo como climáticas favorecerían a estos cultivos, de igual forma la introducción de sistemas forestales de producción maderera, que contribuirían con mejorar la cobertura vegetal leñosa, pero estos sistemas de igual forma deben funcionar en áreas que no estén protegidas o dentro de parques nacionales y también se deben tomar las medidas de precaución necesarias para estos sistemas funcionen amigablemente con el medio ambiente que los rodee. Cultivos y pastos, estas son las mejores áreas para mantener o implementar sistemas agro productivos, porque las áreas ya no se verían afectadas por posibles deforestaciones para establecer estos sistemas, por otra parte estos lugares ya están adaptados de cierta manera para tener actividades agrícolas tales como vías de acceso, sistemas de riego, suelos con preparación tradicional o mecanizada, suelos con aportes de materia orgánica y fertilización, etc. Por esto este tipo de cobertura recibe las mayores valoraciones porque son muy importantes dentro de la Cuenca del Río Paute para tener un desarrollo productivo adecuado																												
Categorías y Valoración: <table><tr><th>Cobertura_suelo</th><th>Agrupación de categoría</th><th>Valoración</th></tr><tr><td>Sombras</td><td>Sombras</td><td>0</td></tr><tr><td>Nubes</td><td>Nubes</td><td>0</td></tr><tr><td>Agua</td><td>Agua</td><td>55</td></tr><tr><td>Suelo descubierto y/o Centros poblados</td><td>Suelo descubierto y/o Centros poblados</td><td>105</td></tr><tr><td>Vegetación Leñosa</td><td>Vegetación Leñosa</td><td>155</td></tr><tr><td>Páramo</td><td>Páramo</td><td>205</td></tr><tr><td>Cultivos</td><td>Cultivos</td><td>255</td></tr><tr><td>Pastos</td><td>Pastos</td><td>255</td></tr></table>		Cobertura_suelo	Agrupación de categoría	Valoración	Sombras	Sombras	0	Nubes	Nubes	0	Agua	Agua	55	Suelo descubierto y/o Centros poblados	Suelo descubierto y/o Centros poblados	105	Vegetación Leñosa	Vegetación Leñosa	155	Páramo	Páramo	205	Cultivos	Cultivos	255	Pastos	Pastos	255
Cobertura_suelo	Agrupación de categoría	Valoración																										
Sombras	Sombras	0																										
Nubes	Nubes	0																										
Agua	Agua	55																										
Suelo descubierto y/o Centros poblados	Suelo descubierto y/o Centros poblados	105																										
Vegetación Leñosa	Vegetación Leñosa	155																										
Páramo	Páramo	205																										
Cultivos	Cultivos	255																										
Pastos	Pastos	255																										
Archivos:																												

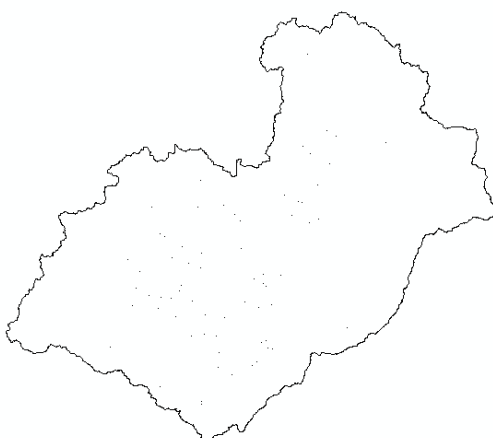
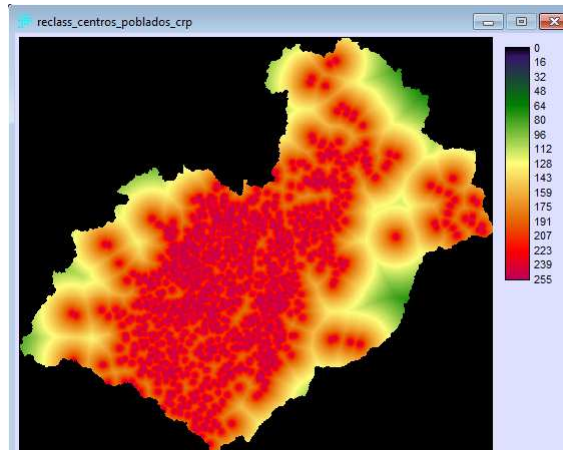
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Cobertura_Suelo_CRP_UTM_WGS84_17s_set6	cobertura_wgs	cobertura_wgs_idrisi	reclass_cobertura_wgs_0-255

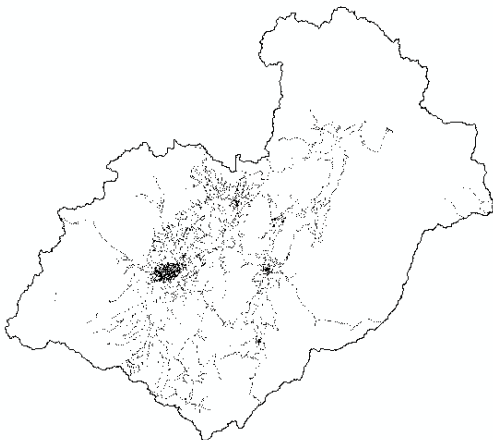
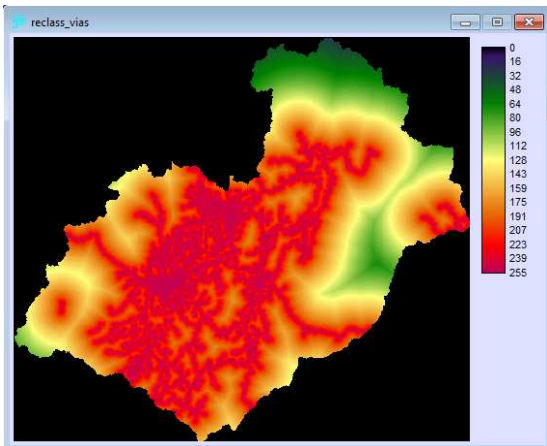
	
Archivo: cobertura_wgs	Archivo: reclass_cobertura_wgs_0-255

Fuentes de información:
La cobertura de suelo se tomó de la cobertura vegetal en la cuenca del Paute en base a la información del 2001 y luego mejorada en base a clasificaciones supervisadas de imágenes ASTER del año 2007.

Procedimiento:

1. Se tomó la cobertura vegetal del shape “Cobertura_Suelo_CRP_UTM_WGS84_17s_set6_s”, se la agrupó en categoría más compactas, en relación al mismo tipo de cobertura.
2. Conversión a formato raster (ArcGIS), en base a la información contenido en la columna “COB_SUELO” de la tabla de atributos con el nombre “cobertura_wgs”.
3. Conversión a raster Idrisi con el nombre “cobertura_wgs_idrisi”.
4. Reclasificación con el nombre “reclass_cobertura_wgs_0-255”.

Factor: Distancias a Centros Poblados			
Categorías de clasificación:		Centros poblados.	
Criterio de valoración:		Mientras más cercano esté un centro poblado de un sector con sistemas productivos es mejor.	
Descripción:			
Los centros poblados son zonas en donde la comercialización de las cosechas y de los productos derivados de estas se da de mejor manera, en ferias, en los mercados o puntos de abastecimiento de alimentos frescos, por ello si un sector agro productivo tiene un centro poblado cercano hay más probabilidades de que los productos cosechados se comercialicen de forma más pronta evitando pérdidas innecesarias por no vender a tiempo las cosechas.			
Categorías y Valoración:			
Centros_poblados		Agrupación por categoría	Valoración
Centros Poblados		Centros Poblados	255
Archivos:			
Shape (ArcGIS)	Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Centros_poblados_CRP_UTM_WGS84_17s_set6	cen_pob_wgs	cen_pob_wgs_idrisi	reclass_centros_poblados_crp
			
Archivo: cen_pob_wgs		Archivo: reclass_centros_poblados_crp	
Datos por Subcuenca:			
Fuentes de información: Los centros poblados fueron tomados e incorporados al análisis multicriterio de la Cuenca del Río Paute a partir de la cartografía de CRP_SAM56_V3 de la Universidad del Azuay en escala 1:50 000.			
Procedimiento:			
1. Conversión a formato raster (ArcGIS), con el nombre "cen_pob_wgs".			
2. Conversión a formato raster de Idrisi, con el nombre “reclass_cen_pob_wgs_0-255”.			
3. Se calculó la distancia y se le asignó el nombre “distancia_cen_pob_wgs_0-255”.			
4. Se realizó un stretch para ajustar los valores a 255 y se le asignó el nombre “stretch_distancia_cen_pob_wgs_0-255”.			
5. Con la herramienta RANK, se calculó para que los valores de la distancia estén a la inversa y se la asigno el nombre “CP_RECLASS”.			
6. Se cortó con el contorno de la cuenca y quedo el nombre “reclass_centros_poblados_crp”.			

Factor: Distancias a Vías de primer y segundo orden				
Categorías de clasificación:		Vías de primer y segundo orden.		
Criterio de valoración:		Mientras más cerca esté una vía de zonas agro-productivas, mayor efectividad al momento de trasportar los productos de cosecha.		
Descripción:				
Las vías son una de las principales herramientas para lograr la comercialización de los productos cosechados o sus derivados, para ello la presencia de vías es de vital importancia para llevar estos productos a los centros poblados, ferias, o puntos de abastecimiento de productos frescos, para con ello mantener y garantizar la pronta llegada de productos frescos y por ende su calidad derivada de un transporte adecuado.				
Categorías y Valoración:				
Vías_primer_segundo_orden		Agrupación por categoría	Valoración	
Vías de primer y segundo orden		Vías	255	
Archivos:				
Shape (ArcGIS)		Raster (ArcGIS)	Raster (Idrisi)	Reclass (Idrisi)
Vias_primer_segundo_CRP_UTM_WGS84_17s_set6		vias_wgs	vias_wgs_idrisi	Vias_reclass
				
Archivo: vias_wgs		Archivo: vias_reclass		
Fuentes de información: Las vías de primer y segundo orden fueron tomadas e incorporadas al análisis multicriterio de la Cuenca del Río Paute a partir de la cartografía de CRP_SAM56_V3 de la Universidad del Azuay en escala 1:50 000.				
Procedimiento:				
1. Conversión a formato raster (ArcGIS), con el nombre “vias_pob_wgs”.				
2. Conversión a formato raster de Idrisi, con el nombre “reclass_vias_wgs_0-255”.				
3. Se calculó la distancia y se le asignó el nombre “distancia_vias_wgs_0-255”.				
4. Se realizó un stretch para ajustar los valores a 255 y se le asignó el nombre “stretch_distancia_vias_wgs_0-255”.				
5. Con la herramienta RANK, se calculó para que los valores de la distancia estén a la inversa y se la asigno el nombre “VIAS_RECLASS”.				
6. Se cortó con el contorno de la cuenca y quedo con el nombre “vias_reclass”.				

2.6 Conclusiones

Luego de que se analizaron 36 indicadores, finalmente 26 fueron seleccionados para el desarrollo de este proyecto. Esto se basó en el resultado de pruebas y análisis de parte del grupo de investigación del proyecto, quienes con su experiencia en cada rama específica pudieron seleccionar la información válida, actualizada y que más se podía adaptar a los objetivos del mismo. En este capítulo se pudieron representar los detalles y metadatos de los archivos que van a ser utilizados en la evaluación multicriterio.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN LOS SIG

3.1 Introducción

La evaluación multicriterio es una herramienta para la toma de decisiones en las que se requiere de un análisis de varios factores o limitantes que intervengan directamente en un tema. Es utilizada comúnmente en sistemas de producción, a nivel administrativo y gerencial.

Actualmente varias herramientas que permiten la inclusión de ésta metodología en sistemas de información geográfica están en desarrollo; con el afán de permitir un análisis avanzado de temas ambientales, sociales, hidrológicos, considerando permanentemente la ubicación geográfica y el impacto que podrían generar las decisiones que se tomen en una zona determinada, además de que permiten considerar varios criterios en forma simultanea.

Este capítulo pretende definir las características de la evaluación multicriterio dentro de los entornos de Sistemas de Información Geográfica, su fundamento matemático y estructura de funcionamiento.

3.2 Antecedentes

El origen de la evaluación multicriterio tiene muy diferentes matices. En el siglo XVII hubo un sector político en Francia, liderado por Condorcet, que tuvo interés en analizar la toma de decisiones en función de varios criterios, debido a ciertas acciones de jueces; mientras que a finales del siglo XIX y a principios del siglo XX, el interés fue económico, generado primordialmente por un deseo de mejorar la utilidad en la producción de acuerdo al consumo.

Luego de atravesar estas peculiaridades en sus orígenes, la evaluación multicriterio toma su forma propia en 1960, luego de la segunda guerra mundial, cuando se la definió con la problemática y terminología apropiada, y es el concepto que se mantiene hasta el día de hoy.

Desde la década de los 70, existió interés formal por la toma de decisiones multicriterio. Existieron varias reuniones científicas que buscaban analizar el tema a fondo, siendo considerada como la primera reunión una realizada por un grupo de científicos en Carolina del Sur en 1972.

Fue quizás en la década de los 80 cuando se pudo observar la gran potencialidad de estos métodos, especialmente gracias a la introducción de la informática. Esto supuso grandes mejoras en la capacidad de cálculo, permitiendo explorar alternativas más complejas; sin embargo, también generó nuevas interrogantes debido a la aparición de teorías de aplicación de inteligencia artificial y redes neuronales.

Básicamente se puede afirmar que los orígenes de la evaluación multicriterio en las decisiones territoriales no se dieron desde un inicio; sin embargo, varios científicos e investigadores han desarrollado trabajos que integran éstos métodos con herramientas de sistemas de información geográfica.

3.3 Definición

La Evaluación multicriterio o EMC puede definirse como “un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones” (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005, pág. 43). El fin básico de las técnicas de EMC es “investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto”

(Voogd, 1983). Esto permite “generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción” (Janssen & Rietveld, 1990). La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un “mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad” (Coloson & De Bruyn, 1989).

Otros términos con los que se conoce a la Evaluación Multicriterio EMC son:

- Análisis de Decisiones Multicriterio ADMC.
- Toma de Decisiones Multicriterio TDMC.
- Toma de Decisiones Multiatributo TDMA.

“La decisión multidimensional y los modelos de evaluación, de los cuales la EMC forma parte, proveen un conjunto de herramientas para el análisis de las complejas propiedades entre las alternativas de selección. La estructura matemática utilizada para describir la toma de decisiones multidimensional está basada en la teoría de la optimización multiobjetivo, en la cual los objetivos complementarios y conflictivos son descritos como un problema de decisión con múltiples objetivos” (Carver, 1991).

El propósito de las herramientas multicriterio es el de permitir el análisis comparativo entre varios parámetros, permitiendo definir pesos a cada uno de estos parámetros y de esta forma poder anticipar los posibles resultados modelo de los mismos. Su utilización dentro de los sistemas de información geográfica se ha visto incrementada notablemente, gracias a que permiten identificar resultados probables en forma gráfica, por lo que su apreciación es fácil.

El enfoque en la teoría de la decisión que se utiliza para la evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica es el normativo (prescriptivo), el cual “comienza por definir la racionalidad de los agentes económicos en base a una serie de supuestos justificables intuitivamente, seguidamente se realizan una serie de operaciones lógicas para deducir el comportamiento óptimo de los agentes decisores

como aquel que es compatible con la racionalidad previamente establecida” (Romero, 1993).

Según este enfoque, el procedimiento que se realiza para elegir una alternativa óptima es el siguiente:

1. Establecer un conjunto de posibles soluciones para un problema planteado.
2. Se determina un criterio, y basados en el mismo, se asocia a cada solución un valor para cuantificar el grado de deseabilidad de cada alternativa para las personas que toman las decisiones.
3. Mediante modelos matemáticos, se determinan las soluciones posibles.
4. Se obtiene una solución óptima para el problema analizado.

Sin embargo, la realidad en la toma de decisiones es que se requieren analizar varios criterios y objetivos, lo que puede generar problemas de decisión por objetivos conflictivos, razón por la cual se origina el paradigma de la decisión multicriterio. Para trabajar en este tipo de modelos espaciales, existen modelos de decisión multiobjetivo y análisis multicriterio, los cuales permiten identificar factores intangibles muy importantes como los sociales y ambientales.

3.4 Componentes de la EMC en un SIG

3.4.1 Objetivos y alternativas

Un objetivo es fundamental para desarrollar proyectos con EMC; un objetivo es una función a desarrollar, que indica la estructuración de la regla de decisión (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1993) o el tipo de decisión a utilizar. Por ejemplo, para el caso de este proyecto de investigación, el objetivo es determinar las zonas que requieren de intervención en la cuenca del río Paute, para poder garantizar la calidad y cantidad del recurso hídrico en el futuro.

Los objetivos y decisiones deben ser planteados sobre una serie de alternativas, las cuales en sistemas de información geográfica vendrían a ser las partes del territorio a ser analizadas y están sujetas a una selección final según el criterio de los agentes decisores. Las alternativas son objetos o unidades espaciales, modelos raster, polígonos o puntos, representando sitios individuales que convierten a la capa temática en el conjunto de alternativas seleccionables.

El uso de archivos de este tipo, genera varias alternativas ya que siempre van a incrementarse linealmente en función por ejemplo del número de celdas y columnas que tenga un modelo raster analizado. Esto podría generar matrices con cantidades muy grandes de celdas, lo que puede ser difícil de analizar correctamente, debido principalmente a que los métodos creados para la EMC contemplan un número limitado de criterios como por ejemplo ocho alternativas e igual número de criterios.

En el siguiente gráfico se puede observar el procedimiento de una EMC con un objetivo simple:

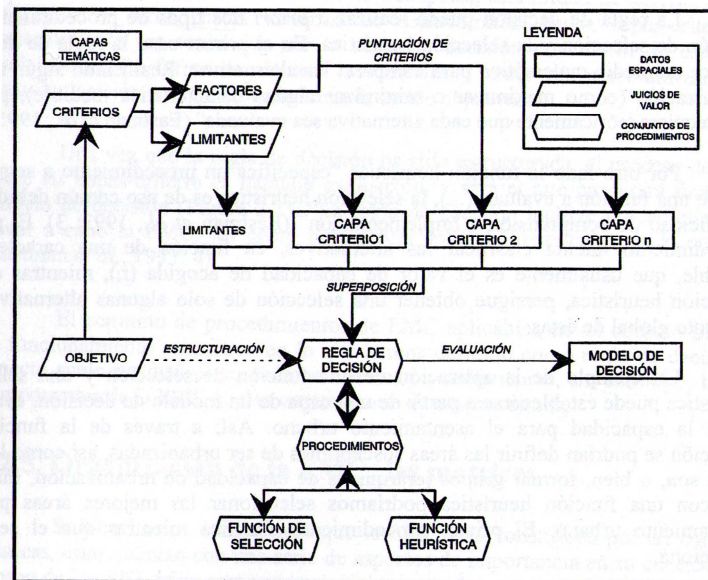


Fig. 3.1 Sistema de integración entre SIG y EMC. Fuente: (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

3.4.2 Criterios: factores y limitantes

“Un criterio es cierta base para la toma de una decisión, esta puede ser medida y evaluada. Es la evidencia sobre la cual se basa una decisión” (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1993). “Un aspecto medible de un juicio, por el cual una dimensión de las alternativas bajo consideración puede ser caracterizada” (Voogd, 1983).

Existen dos tipos de criterios: factores y limitantes.

3.4.2.1 Factores

“Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua” (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1993). Como un ejemplo de factor se puede considerar un criterio en el que las mejores zonas para cultivar sean las que se encuentren cerca de vías para permitir su fácil comercialización. Según este criterio, las zonas que se encuentren más cerca de las vías son mejores para las actividades de cultivo.

3.4.2.2 Limitantes

Este tipo de criterios requieren capas binarias (únicamente dos valores para los datos espaciales) y restringen las alternativas según la actividad que se analice. Sus valores permiten identificar alternativas que pueden ser elegidas para una actividad y alternativas que no están disponibles para la misma. Con esto lo que se pretende es descartar zonas que no sean aptas para realizar una actividad fijada en los objetivos definidos. Un ejemplo de un criterio limitante puede ser una ordenanza que impida la construcción de una gasolinera en zonas determinadas de una ciudad.

Una vez que se han definido los criterios, se pueden combinar a través de una regla de decisión para conseguir una evaluación multicriterio y por lo tanto un modelo de decisión.

3.4.3 La regla de decisión

La regla de decisión es un procedimiento que permite una evaluación particular, al comparar distintas evaluaciones con la finalidad de variar o depurar según sea necesario. Se pueden realizar dos tipos de procedimientos: función de selección y selección heurística. La primera “ofrece un medio matemático para comparar las alternativas. Realizando algún tipo de optimización (como maximizar o minimizar alguna característica medible) para lo cual requiere teóricamente que cada alternativa sea evaluada” (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1993); mientras que la selección heurística se aplica más para definir el procedimiento a seguir en lugar de la función a evaluar, esta función es simple y fácil de implementar.

3.4.4 El proceso de evaluación

Se puede subdividir al objetivo principal de la evaluación en varios objetivos específicos, los cuales determinan como funciona la regla de decisión. Estos objetivos se pueden representar por criterios, los cuales definen como alcanzar los objetivos en función de su optimización.

Cuando se han definido los objetivos específicos, los criterios deberán ser estructurados como capas-criterio, con la finalidad de obtener un modelo final, luego de ser evaluados por la regla de decisión. A este procedimiento se lo conoce como evaluación, y consiste en aplicar la regla de decisión estructurada sobre las capas-criterio.

3.4.5 Matrices

Para el proceso de organización de las variables en una EMC, se utilizan las matrices de evaluación. Estas sirven para representar la relación entre los criterios y las alternativas y permiten colocar puntuaciones o pesos para cada una de ellas. Deben constar con una columna principal, con los criterios, y las alternativas en la fila principal. Esta matriz puede tener varios nombres como: matriz de puntuaciones, matriz de efectividad, matriz de proyecto-efecto, o matriz de evaluación. (Voogd, 1983).

		ALTERNATIVAS (i)					
		1	2	3	4		I
CRITERIOS (j)	1	PUNTUACIONES DE CRITERIOS (x_{ij})					
	2						
	3						
	·						
	J						

Fig. 3.2 Matriz de evaluación. Fuente: (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

Esta etapa es muy importante dentro del proceso de un EMC, ya que se debe asignar valores o puntuaciones de criterios para cada alternativa, según su nivel de adecuación. Para obtener estos valores, es recomendable contar con referencias previas, así como experiencia de parte del centro decisor, ya que serán ellos los

responsables de asignar estos valores cuantitativos. El resultado del proceso de evaluación viene dado por esta etapa.

Para poder conocer si los valores ingresados son los adecuados para la evaluación, se calcula un índice de consistencia, el cual es una medida de cuán lógicamente consistentes son las valoraciones de los participantes en la evaluación. El nivel de tolerancia para éste índice debe ser menor al 10% (0.1) para considerarse correcto.

3.5 Modelos matemáticos para EMC en un SIG

El primer paso en el proceso fue transformar la información temática existente al sistema UTM WGS84 17S, para convertirla a formato RASTER SIG con un tamaño de pixel de 50x50m. A todos los mapas se les dio valores normalizados, lo que resulta después de generar cualquier variable de entrada y normalizarla a una escala, en este caso, 0 a 255; esto tomando en cuenta que cero representa la peor aptitud para el objetivo trazado y 255 representa la mejor aptitud.

3.5.1 Sumatoria lineal ponderada

Para la EMC mediante la sumatoria lineal ponderada, perteneciente a las técnicas compensatorias aditivas, se realizó una selección de aquellos factores que pudiesen determinar mejor la aptitud del territorio. Todos ellos fueron modelados en los términos más apropiados para el objetivo de estudio. Posteriormente, se otorgó un peso a cada uno de los factores a partir de la matriz de comparación por pares de Saaty y su propuesta jerárquica; tratando de adoptar un modelo de decisión a los datos anteriores, que permita seleccionar la alternativa de mejor comportamiento en relación con los criterios de evaluación adoptados (Gómez Orea, 2007).

Así, en primer lugar, se ponderó cada grupo de factores en función del tipo de uso a localizar; descendiendo desde los más generales a los más concretos, conectados nivel a nivel por cuatro posibles jerarquías: meta, objetivos, atributos y alternativas, aunque esta combinación puede variar (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

Se generaron los mapas de aptitud a partir de la técnica de EMC, con la Sumatoria Lineal Ponderada. En este paso, cabe indicar que no se establecieron restricciones.

La ecuación utilizada para este paso fue la siguiente:

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik}$$

Donde:

R_i es el nivel de adecuación de la alternativa i

w_j es el peso del criterio j

V_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j .

3.5.2 Lógica difusa

Se compararon las diferencias entre los modelos generados mediante sumatoria lineal ponderada y los de EMC contruidos mediante técnicas borrosas; con los factores de entrada tratados con la teoría de los conjuntos borrosos, con función lineal de pertenencia monótona incrementada *Fuzzy Set Theory*. Esta Teoría brinda una base matemática para entender problemas de decisión y para construir reglas de decisión en la evaluación y combinación de criterios (Zadeh, 1965).

Fuzzy Logic o Lógica Difusa es una generalización del álgebra booleana, que proporciona un atributo probabilístico, en el que el grado de pertenencia a un conjunto está ligado a una función de probabilidad, describiendo la posibilidad que un individuo sea miembro de un conjunto determinado; posibilidad que de otro modo está basada en el conocimiento subjetivo de un experto (Zadeh, 1965) (Burrough, *Fuzzy mathematical methods for soll survey and land evaluation*, 1989) (Burrough & McDonnel, *Principles of geographical information systems*, 1998).

3.5.3 Post procesamiento de los mapas

Se aplicó un filtro como función de procesamiento de imágenes; creando una nueva imagen al calcular valores nuevos, valiéndose de una operación matemática sobre el valor original de la celda y sus vecinas. La naturaleza de esta operación está determinada por los valores almacenados en un molde o *kernel* de 3x3, 5x5 y 7x7, o de tamaño variable, que es centrado sobre cada píxel mientras se procesa (Eastman J. R., *IDRISI Andes Tutorial*, 2006).

Para este estudio, se aplicó el filtro Moda de 5x5, ya que asigna el valor más común al píxel central, también es normalmente usado para eliminar áreas muy pequeñas de una imagen cualitativa, o aquellas piezas pequeñas que quedan luego de rasterizar polígonos vectoriales. Finalmente, se obtuvieron las zonas de mayor importancia ambiental, vulnerabilidad de ecosistemas, importancia agropecuaria y disponibilidad de recursos hídricos de las 18 subcuencas de la CRP. La opción del filtro definido por el usuario permite especificar cualquier tamaño de kernel y también la operación matemática, y es útil para modelos de simulación (Eastman J. R., IDRISI Andes Tutorial, 2006).

3.5.4 Análisis de sensibilidad

Para verificar los resultados obtenidos, se realizó un análisis de sensibilidad, el cual se centra en la variación de los factores practicados para los factores de entrada y las alteraciones que ocasiona en las diferentes fases o resultados del modelo. Para esto, se modificó dos factores de entrada para cada uno de los modelos.

Para escoger los factores de entrada que debían ser modificados, se los colocó en la matriz de pares, igualando a todos con valor de uno, para posteriormente ir eliminando un factor a la vez, y así comparar la variabilidad de los modelos con respecto al modelo original con todos los factores igualados a uno. Esto permite igualar la valoración y establecer cuáles son los factores que tienen mayor incidencia en el modelo, sin la acción subjetiva de la jerarquización en la matriz de Saaty.

Para esto se generó la matriz de correlación de Pearson entre el modelo original igualado a uno y las variantes eliminando un factor a la vez; además, se realizó la prueba no paramétrica de comparación de muestras apareadas de Friedman, para establecer si existe diferencias significativas entre las muestras.

Una vez obtenidos los nuevos factores, se ejecutó nuevamente el modelo para analizar la sensibilidad del mismo ante estas variaciones. Este proceso se realizó mediante el método uno cada vez *One at a time* (Orán Cáceres, Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010). Es decir, en cada ejecución del modelo se introdujo sólo uno de los factores modificados en lugar del original.

Posteriormente, se valoraron las diferencias entre el mapa de los valores normalizados de cada factor original y el modificado. Así, es posible realizar una valoración de la incidencia que la modificación de uno de los factores del modelo podía tener en los resultados.

Para los dos primeros procedimientos se realizó una simple resta de mapas y se calculó un índice (S) de diferencia media por pixel (en valores absolutos), basado en lo propuesto por Lodwick et al. 1990 para medir sensibilidad en atributos.

$$S = [\text{suma } (|X_i \text{ de capa original} - X_i \text{ de capa modificada}|)] / \text{número total de píxeles}$$

Dónde:

S es la Diferencia Media entre los Valores de Aptitud (DMVA) que existe entre el mapa original y el mapa modificado X_i es el valor de aptitud en el píxel i.

3.6 Conclusiones

En este capítulo se investigaron los fundamentos de la Evaluación Multicriterio aplicada a los Sistemas de Información Geográfica, definiendo los conceptos y características principales; pudiendo destacar la necesidad de establecer los criterios, alternativas y las técnicas correctas para hacerlo. También se analizó el modelo matemático utilizado en este proyecto en particular, para determinar los pesos de los criterios en la EMC y realizar comparativas que permitan verificar el procesamiento de la información.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

4.1 Introducción

Como parte fundamental de este ejercicio académico, es necesario investigar diferentes opciones disponibles en cuanto a programas para la evaluación multicriterio aplicada a Sistemas de Información Geográfica. Para ello, se realizó un análisis de requisitos y se eligieron 4 opciones de programas COTS *Commercial of the Shelf*: ILWIS, un software libre gratuito; INVEST, una extensión para ARCGIS; IDRISI Taiga y DEFINITE, siendo estos dos últimos programas independientes con una licencia pagada.

Las herramientas fueron elegidas mediante un proceso comparativo, todas tienen diferentes acercamientos metodológicos, funcionales y comerciales. El objetivo de éste capítulo es analizar y comparar las diferentes herramientas, de manera que se pueda identificar la que más se adecue al proyecto en desarrollo.

Para determinar el mejor programa para el desarrollo del proyecto, se van a analizar variables como: aspecto económico, cobertura funcional, estado tecnológico de la herramienta, empresa proveedora, recursos necesarios para su implementación, entre otros. Como un anexo, se presenta la aplicación de un Modelo ISO-9126 extendido para evaluar los diferentes criterios dispuestos en la selección del programa.

4.2 Requisitos previos para la selección de programas COTS *Commercial of the shelf* candidatos en la investigación

En vista de que en esta investigación no se pretende desarrollar un programa con capacidades SIG y EMC, sino evaluar programas que se adapten a los fines del proyecto; se han omitido metodologías comunes de la Ingeniería de Sistemas en el levantamiento de requisitos, como los casos de uso, diagramas de clases, entre otros. De todas formas, fue necesario determinar los requisitos técnicos para la ejecución del proyecto, los cuales fueron propuestos por el Equipo Técnico y sistematizados de manera que puedan aplicarse desde un punto de vista de la Ingeniería de Sistemas; y, por lo tanto, evaluarlos de acuerdo a los métodos correspondientes.

1 Funcionalidad		
F U N C I O N A L I D A D	1 Adecuación	
	1 Tareas	
	1 Acciones Elementales	
		1 Manipular archivos temáticos
	2 Análisis Multicriterio	
	1 Tipo de EMC	
		1 Por Pesos
		2 Fuzzy
		3 Por Rangos
		4 Mola
		5 MCE
	2 Acciones Básicas	
		1 Ingresar Pesos Ponderados
	3 Acciones Avanzadas	
		1 Análisis de Sensibilidad
	3 Pantalla	
	1 Pantalla Principal	
		1 Vista 2D
		2 Vista 3D
		3 Zoom
		4 Opciones globales
		5 Mapas
		6 Accesos directos
E X A C T I T U D	2 Exactitud	
	1 Verificabilidad	
	1 Herramientas	
		1 Verificación de integridad del archivo
	2 Resultados	
		1 Consultar resultados de un cálculo
	3 Interoperabilidad	
	1 Directa	
		2 Compatibilidad con Windows XP, Vista y 7
	4 Seguridad	
S E G U R I D A D	1 Seguridad de Datos	
	1 Datos Almacenados	
		1 Archivos en el disco duro
	5 Cumplimiento funcional	
	1 Cumplimiento de estándares	
C O M P L I M I E N T O D E E S T Á N D A R E S		1 Compatibilidad Intel y AMD
		2 Compatibilidad Ráster y Vértor
		3 Compatibilidad con actualizaciones

Tabla 4.1 Requisitos funcionales para la selección de los programas

2	Fiabilidad	
	1	Madurez
	1	Historial del producto
		1 Tiempo del producto en el mercado (TPM) > 3 años
	2	Tolerancia a fallos
	1	Transparencia
		1 Recuperación del archivo cargado
		2 Recuperación de últimas actividades
	3	Recuperabilidad
	1	Recuperación de paquetes
		1 Pérdida de datos por interrupción
	3 Usabilidad	
	1	Comprensibilidad
	1	De la interfaz
		1 Predictibilidad
		2 Manipulación de Objetos
		3 Soporte de idioma español o inglés
	2	Aprendizaje
	1	Entrenamiento
		1 Entrenamiento proporcionado por el proveedor
		2 Entrenamiento proporcionado por terceros
		3 Tutoriales
	2	Documentación
	1	Documentación proporcionada
		1 Manuales
		2 Preguntas frecuentes
		3 Archivos de ayuda
	2	Documentación externa
		1 Ayuda en línea
		2 Documentación publicada
		3 Soporte de vendedores a clientes
3	3	Operatividad
	1	Operatividad en el programa
		1 Operatividad del programa
	4	Atractividad
	1	Navegabilidad
		1 Desplazamiento automático
		2 Desplazamiento suave
		3 Teclas del cursor
		4 Teclas de acceso rápido
		5 Tooltiptext en menus
	2	Parametrización del programa
		1 Idiomas
	3	Características de la Interfaz
		1 Area de Trabajo Intuitivo
		2 Ayuda de la Caja de Herramientas y Barras de desplazamiento
		3 Barras de Desplazamiento
		4 Etiquetas de ayuda para la cajas de herramientas
		5 Funciones de Ayuda por teclado
		6 Atajos de Teclado
		8 Interfaz Amigable

Tabla 4.2 Requisitos de Fiabilidad y Usabilidad para la selección de los programas

MANTENIBILIDAD	4	Eficiencia	
	1	Uso de recursos	
			1 Recursos y Requisitos del Hardware
			2 Recursos y Requisitos del programa
	5	Mantenibilidad	
	1	Cambiabilidad	
	1	Documentación de Desarrollo	
			1 Manuales
			2 Preguntas más Frecuentes
			3 Tutoriales y Guías
			4 Ayuda en Línea
PORTABILIDAD	2	Estabilidad	
	1	Estabilidad Operacional	
			1 Tiempo entre versiones
			2 Tasa de frecuencia de actualizaciones
	2	Versiones	
			1 Compatibilidad entre versiones
	6	Portabilidad	
	1	Adaptabilidad	
			1 Sistemas operativos soportados
			2 Soporte de los archivos grabados
	2	Instalación	
	1	Facilidades de instalación incorporadas	
			1 Asistentes de instalación y configuración
	2	Soporte a la instalación	
	1	Documentación proporcionada	
			1 Manual de usuario
			2 Preguntas frecuentes
	3	Capacidad de actualización	
			1 Con nuevas versiones
			1 Automáticamente con parches

Tabla 4.3 Requisitos de Eficiencia, Mantenibilidad y Portabilidad para la selección de los programas

4.2.1 Resultados de la selección de programas candidatos

Luego de haber consultado con el Equipo Técnico los aspectos técnicos y funcionales necesarios para el correcto desarrollo del proyecto, se procedió a identificar posibles programas candidatos para ser utilizados en el mismo. Entre los diferentes programas, el aspecto que mayor peso tuvo para su selección fue la capacidad de soportar evaluación multicriterio. Entre los diferentes programas considerados se encuentran:

- ArcGIS.
- Quantum GIS.
- GRASS GIS.
- ILWIS.
- INVEST.
- gvSIG.
- SAGA GIS.
- IDRISI.
- DEFINITE.

Finalmente, luego de revisar cada programa candidato y su apego a los requisitos planteados, se eligieron 4 programas para ser evaluados formalmente:

- ILWIS.
- IDRISI.
- DEFINITE.
- INVEST.

A lo largo de este capítulo se realiza un análisis a profundidad de cada uno de estos programas candidatos, para determinar el que mejor se acople a los propósitos de la investigación y por lo tanto utilizarlo para el desarrollo de la misma.

4.3 ILWIS

4.3.1 Antecedentes

ILWIS (*Integrated Land and Water Information System* – Sistema de Información Integrado de Tierra y Agua) es un programa actualmente *open source*, que combina a un Sistema de Información Geográfica y Sensores Remotos. Su desarrollo tuvo origen en 1984 por una iniciativa de la Facultad de Ciencias de la Geo-Información y Observación de la Tierra de la Universidad de Twente en Holanda (ITC), recibiendo una subvención del Ministerio de Asuntos Exteriores, con el propósito de desarrollar un SIG como una herramienta para los estudios de gestión de tierras y recursos hídricos. Fue el primer programa con integración completa entre vectores y raster con sensores remotos en el mundo.

Su primera versión comercial 1.0, fue desarrollada para funcionar bajo entornos DOS *Disk Operating System*, aunque su uso primario fue dentro de la misma Universidad y estuvo disponible en 1988. Posteriormente, en 1996 una versión 2.0 diseñada para Windows fue distribuida a través de una red de comercialización global de ITC; recibiendo una actualización a versión 3.0 a mediados del 2001. Sin embargo, a partir de julio del 2007, la licencia de uso del programa pasó a ser GNU GPL (Licencia General al Público) para su versión 3.7 bajo open source, manteniendo su característica principal de integración raster + vector SIG y sensores remotos, estando libre su distribución y uso gratuito para cualquier persona que así lo desee.

El núcleo de desarrollo de ILWIS es GCC (*GNU Compiler Collection* – Colección de compiladores GNU), aunque actualmente se encuentran en proceso de migrar la compilación a Microsoft Visual Studio 2008, esto con el propósito de separar el programa en componentes individuales y para poder distribuir los *frameworks* a los programadores mediante clientes Java y servicios OGC (*Open Geospatial Consortium*).



Fig. 4.1 Pantalla de presentación de ILWIS 3.7.

4.3.2 Características principales de ILWIS

Un aspecto clave bajo el cual se desarrolló este programa, es contar con la habilidad de trabajar con datos raster y vector y sensores remotos; con especial atención a la facilidad de uso, debido a que su aplicación ha sido mayormente académica, lo cual es un requisito imprescindible para esta área.

La propuesta de software libre u open source, también significa la capacidad de ser mantenido por una comunidad científica, la cual podrá mejorar dinámicamente la funcionalidad del programa, así como también corregir errores; todo esto optimizando recursos financieros y acoplándose a una filosofía de permitir el acceso a herramientas SIG a todas las personas que lo requieran.

Actualmente el proyecto ILWIS se encuentra soportado por la iniciativa de software libre *52° North*, la cual es una red internacional de investigadores con sede en Münster, Alemania. Esta organización opera sin fines de lucro y desarrolla en

conjunto con la comunidad las versiones del programa, con la condición de lanzar siempre cualquier versión bajo una licencia libre.

4.3.2.1 Características técnicas

- Diseño integrado raster y vector.
- Digitalizado en pantalla y con tableta.
- Herramientas para el procesamiento de imágenes.
- Ortofotos, georeferencia de imágenes, transformaciones y mosaicos.
- Modelado y análisis espacial avanzado de datos.
- Virtualización 3D con edición interactiva.
- Completa librería de Sistemas de coordenadas y proyecciones.
- Análisis de Geoestadística con método de Kriging.
- Importación y exportación utilizando librería GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library* – Librería de Abstracción de Datos Geoespaciales).
- Editor WYSIWYG (*What You See Is What You Get* – Lo que vez es lo que tienes) para manejo de capas y vistas múltiples de mapas en escala.
- Almacenaje avanzado de datos.
- Herramientas para estereoscopia, capacidad para crear un par estéreo con dos fotografías aéreas.
- Transparencia para mostrar mapas raster y polígonos.
- Capas piramidales para mostrar rápidamente mapas raster grandes.
- Capacidad ADO/ODBC para acceder a bases de datos.
- Operaciones de flujo hidrológico.
- Capacidad de importar archivos de texto GARtrip con datos GPS.
- Evaluación Espacial Multicriterio (SMCE).
- Operaciones DEM (*Digital Elevation Models* – Modelos de Elevación Digital).
- Cálculo de umbral variable.
- Estadísticas Horton, para cálculos hidrológicos como fuentes, flujos, coberturas y Strahler.
- Editores de georeferencia.

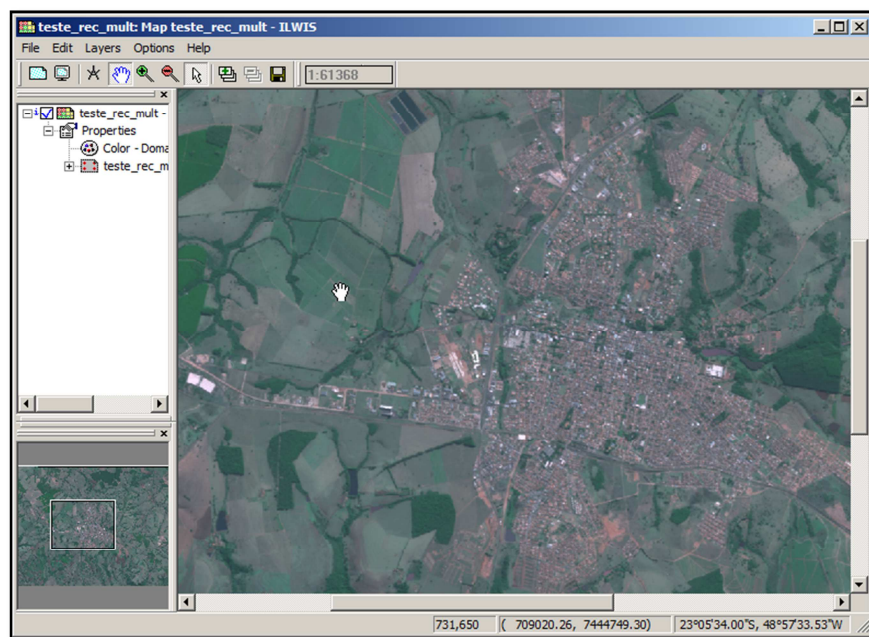


Fig. 4.2 Entorno de trabajo de ILWIS.

4.3.3 Aplicaciones científicas

Durante el período en el que este programa ha estado disponible, se han encontrado varias aplicaciones dentro de las siguientes áreas: ciencias de la tierra, manejo ambiental, manejo de tierra y levantamientos urbanos, manejo de riesgos naturales, entre otros. Algunas aplicaciones específicas son las siguientes:

- Análisis de peligros, vulnerabilidades y riesgos para: inundaciones, ciclones, erosiones, sismos, incendios y riesgos de accidentes en carreteras.
- Bases de datos de ingeniería geológica.
- Hidrología superficial: estudios de área de cuencas, necesidades de riego, características de la zona de riego, modelado de erosión.
- Hidrogeología: estudios de recarga artificial, evaluación de la vulnerabilidad a contaminación.
- Geología: técnicas de teledetección y SIG aplicado a estudios geológicos, integración de datos geológicos.
- Gestión ambiental: modelado de unidades ambientales, extracción de variables topográficas y de terreno para variables de modelos de distribución, herramientas para el análisis aplicado a la selección de un sitio para la

disposición de residuos, manejo de contaminación de suelos, química ambiental de los suelos contaminados.

- Análisis de asentamientos urbanos: actualización de un mapa de uso de tierra con fotografías aéreas oblicuas, análisis de cambios urbanos y patrones espaciales, análisis de sostenibilidad para expansión urbana, ordenamiento territorial, planificación económica regional, cobertura vegetal, micromorfología de suelos, cartografía, estudios de biodiversidad.

4.3.4 Ventajas de ILWIS

ILWIS es un software que cuenta con varias herramientas dentro de un SIG que integra además teledetección. La disposición de sus menús, botones y opciones es muy intuitiva aunque mantiene una apariencia y un sistema de navegación de archivos que claramente son herencia de sus versiones para Windows 3.1 y Windows 95. Entre las principales ventajas podemos encontrar:

- Cero costos de adquisición debido a su licencia gratuita y libre.
- Interfaz de fácil uso.
- Orientado al uso académico.
- Actualizaciones permanentes por la comunidad.
- Compatibilidad con sistemas operativos Windows (cualquier versión) y Linux/Mac mediante programas adicionales o virtualización.
- Utiliza estándares internacionales.
- Consta con gran parte de las herramientas necesarias en un SIG.
- Existen foros que cuentan con material adecuado y manuales para asistir a los nuevos usuarios.

4.3.5 Desventajas de ILWIS

Aunque el simple hecho de ser gratuito lo convierte en una opción interesante para cualquier proyecto, es necesario analizar la capacidad del programa para adaptarse a la realidad del proyecto. Desde esta perspectiva se puede determinar lo siguiente:

- El módulo de Evaluación Espacial Multicriterio no está desarrollado lo suficiente aún. El problema más crítico es que no permite un análisis ponderado de pesos, sino solamente una comparativa espacial entre capas

para analizar los cambios. Esto lo descalifica para su uso en este proyecto, debido a que el mismo requiere la comparativa dinámica y la asignación de pesos entre variables.

- Al realizar tareas básicas como interpolación, se observan diferencias en los resultados en comparación con los que se obtienen utilizando programas como ArcGIS 9.3. Al parecer la aplicación de los métodos no es la misma en los dos programas, pero debido al reconocimiento en el medio, de este último programa, causa dudas el funcionamiento correcto, desde el punto de vista matemático, de ILWIS.
- Solo es compatible nativamente con Windows, de manera que su rendimiento se verá perjudicado al momento de ejecutarlo mediante otras alternativas dentro de otros entornos o sistemas operativos mediante virtualización.
- Al ser un software libre no cuenta con garantías de correcto funcionamiento o soporte técnico profesional.

4.4 IDRISI Taiga

4.4.1 Antecedentes

IDRISI es un programa que integra un Sistema de Información Geográfica y Teledetección, desarrollado por los Laboratorios Clark de la Universidad Clark en Nueva Inglaterra. Sus orígenes datan del legado de Abū Abd Allāh Muhammad al-Idrīsī (1100-1166), un cartógrafo y geógrafo de mucha importancia durante la época medieval. El programa cuenta con herramientas que permiten el análisis las dinámicas de la tierra, para ayudar en la toma de decisiones en el manejo ambiental, explotación sostenible de recursos y distribución equitativa de recursos.

La primera persona a cargo de desarrollar este programa fue el Prof. J. Ronald Eastman de la Universidad de Clark, en 1987.



Fig. 4.3 Pantalla de presentación de IDRISI Taiga.

4.4.2 Características Principales de IDRISI

IDRISI es un programa diseñado para el análisis espacial básico y avanzado, cuenta con herramientas para análisis estadístico y de superficies, soporte en la toma de decisiones, análisis y predicción de cambios en la tierra y análisis de series de imágenes en el tiempo.

Un aspecto muy importante de este programa, es su soporte nativo para EMC; la interfaz de usuario permite el fácil ingreso de las puntuaciones de cada criterio según las alternativas para obtener los pesos, los mismos que se deben ingresar en el módulo de EMC del programa. Se debe tener en cuenta que la cantidad mínima de archivos/factores que deben ser ingresados es tres. En caso de que se requiera realizar un análisis de sensibilidad este valor deberá ser de cuatro, debido a que para ciertas pruebas es necesario eliminar factores dentro de este tipo de análisis.

4.4.3 Aplicaciones científicas

IDRISI ha demostrado ser un programa con capacidad de adaptarse a varias áreas. Como ha sido desarrollado por una Universidad, su utilización en el campo académico es muy amplia, además de contar con muchos años de experiencia dentro de esa área. Los proyectos de investigación también abarcan una parte importante dentro de su segmento de usuarios, varias organizaciones a lo largo del mundo utilizan el programa, siendo destacable la presencia del mismo en proyectos que involucran evaluación multicriterio en sus fines.

IDRISI ha sido diseñado para realizar estudios de:

- Inventario de recursos naturales y unidades ambientales.
- Cambios de la tierra en períodos de tiempo determinados.
- Monitoreo de agricultura.
- Monitoreo de recursos naturales.
- Procesamiento de imágenes satelitales.
- Gestión de incertidumbre y evaluación de errores.
- Evaluaciones multicriterio para ordenamiento territorial y gestión ambiental.
- Cambios en el uso de suelo en series de tiempo.
- Mapeo de biodiversidad.
- Potencial de erosión del suelo.
- Manejo de cuencas hidrográficas.
- Riesgo de infecciones por pestes.
- Riesgos de incendios.
- Riesgos de inundaciones.
- Análisis de impactos.
- Planeamiento inteligente de cultivos.
- Planeamiento de recursos naturales.
- Soporte de decisiones en el uso de la tierra.
- Mapas de sostenibilidad.
- Integración de mercados.
- Mapeo forestal.
- Análisis de hábitat.
- Modelado de corredores naturales.

- Modelado de la distribución de especies.
- Modelado de biodiversidad.
- Gestión de hábitat.
- Modelador de imágenes.
- Calculador de imágenes.
- Análisis de tendencias en la superficie.

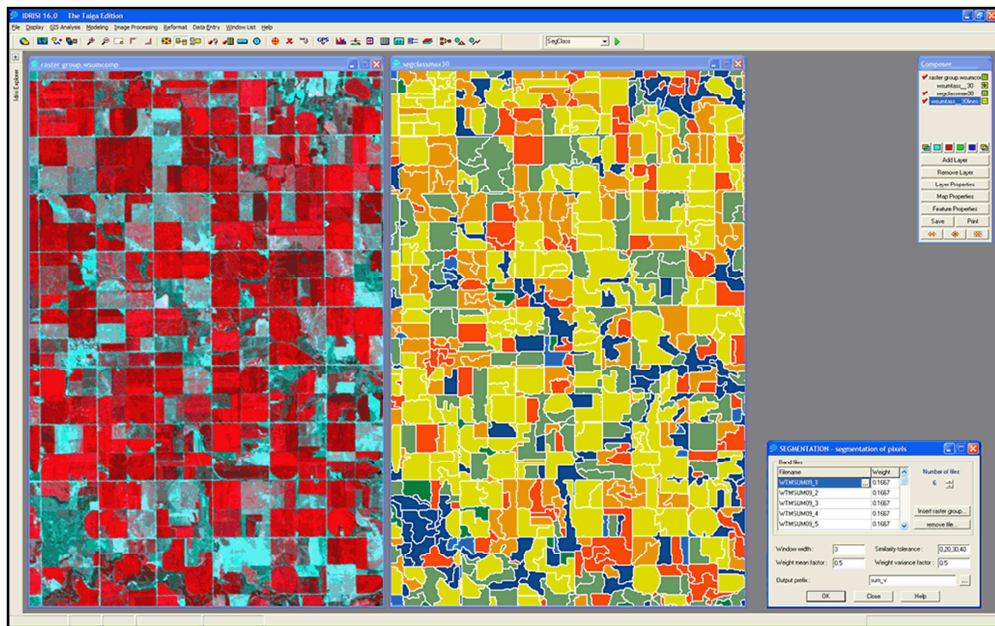


Fig. 4.4 Entorno de trabajo de IDRISI Taiga.

4.4.4 Ventajas de IDRISI

Al igual que ILWIS, IDRISI dispone de varias herramientas dentro de un SIG que integra además teledetección. La disposición de sus menús, botones y opciones no es muy amigable con el usuario final y requiere de conocimientos técnicos para su uso, así como también comprensión de la terminología comúnmente utilizada para cada herramienta. Entre las principales ventajas podemos encontrar:

- Orientado tanto para el uso académico como profesional.
- Más de 20 años de experiencia en el desarrollo de la aplicación, así como también actualizaciones frecuentes y versiones nuevas cada cierto tiempo.
- Compatibilidad con sistemas operativos Windows (cualquier versión).
- Utiliza estándares internacionales.
- Consta con gran parte de las herramientas necesarias en un SIG.

- Existen foros que cuentan con material adecuado y manuales para asistir a los nuevos usuarios.
- Es uno de los programas más utilizados para realizar EMC en temas ambientales.
- Potentes herramientas para EMC y AS (Análisis de Sensibilidad).
- Relativa facilidad de uso cuando se conoce la técnica que involucra el proceso que se realiza.

4.4.5 Desventajas de IDRISI

Técnicamente muy avanzado, IDRISI no es necesariamente un programa que se distinga por su facilidad de uso o interfaz amigable con el usuario. El programa supone que el usuario tiene un conocimiento técnico amplio y no presenta información al momento de utilizar sus herramientas. Entre las desventajas tenemos:

- Costo medio de entrada no siempre disponible para las organizaciones que requieran de su uso.
- Su uso requiere conocimientos técnicos sólidos de cada área en la que se requiera realizar estudios.
- Ciertos problemas de compatibilidad bajo diferentes ambientes de trabajo, especialmente bajo sistemas de 64 bits.
- Pobre gestión de archivos en uso y generados, no dispone de un explorador que funcione correctamente y la navegación al momento de agregar archivos es poco intuitiva y mal diseñada.

4.5 DEFINITE

4.5.1 Antecedentes

DEFINITE (*Decisions on a finite set of alternatives* o Decisiones en un conjunto finito de alternativas) es un programa que abarca un conjunto de herramientas como soporte en la toma de decisiones en una amplia variedad de problemas, desarrollado por el departamento de Ingeniería de la Universidad de Ámsterdam en Holanda. Existen versiones para usuarios profesionales y para estudiantes, disponibles como licencias simples o de red, todas ellas con costo.

4.5.2 Características principales

DEFINITE es un programa para la ayuda en la toma de decisiones en análisis espaciales. Su concepto básico es proponer la resolución de un problema mediante las alternativas propuestas por el usuario. Cuenta con entorno gráfico simple e incluye cinco diferentes métodos multicriterio, incluyendo análisis costo-beneficio y costo-efectividad, además de procedimientos para evaluación de peso, estandarización, y métodos para análisis de sensibilidad.

El origen del concepto de este programa, proviene de versiones desarrolladas para el sistema operativo Microsoft DOS, aunque el desarrollo de la versión para Windows fue desarrollada nuevamente desde el principio, para garantizar compatibilidad y facilidad de uso mediante el entorno gráfico. Su diseño se asemeja al de las generaciones antiguas (1997 – 2003) de Microsoft Office, cuenta con menús y botones para la ejecución de los diferentes comandos y la selección de las opciones que se requieran. Su implementación permite la importación y exportación nativa de documentos en formatos como Excel, Word o Power Point.

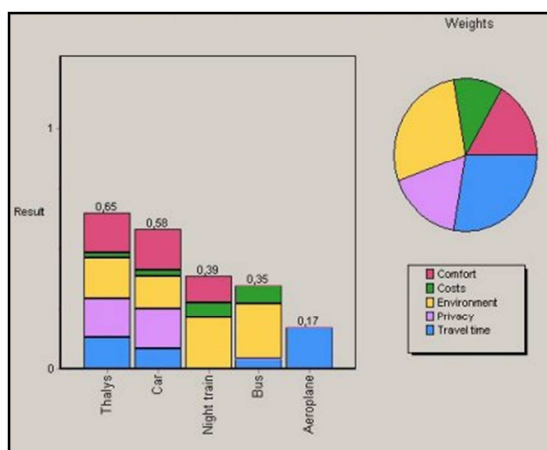


Fig. 4.5 Resultado gráfico de un análisis en DEFINITE.

4.5.3 Aplicaciones científicas

DEFINITE es un programa con un amplio espectro de aplicación. Dado a que al igual que IDRISI, ha sido desarrollado por una Universidad, su utilización en el campo académico es amplia, pero en comparativa no cuenta con la misma experiencia o trayectoria.

DEFINITE ha sido diseñado para realizar estudios de:

- Análisis de costo/beneficio.
- Análisis de costo/efectividad.
- Análisis de sensibilidad.
- Inventario de recursos naturales y unidades ambientales.
- Monitoreo de la agricultura.
- Monitoreo de recursos naturales.
- Gestión de incertidumbre y evaluación de errores.
- Evaluaciones multicriterio para ordenamiento territorial y gestión ambiental.
- Mapeo de biodiversidad.
- Análisis de riesgos.
- Análisis de impacto.
- Análisis de hábitat.
- Modelado de biodiversidad.
- Análisis de tendencias en la superficie.

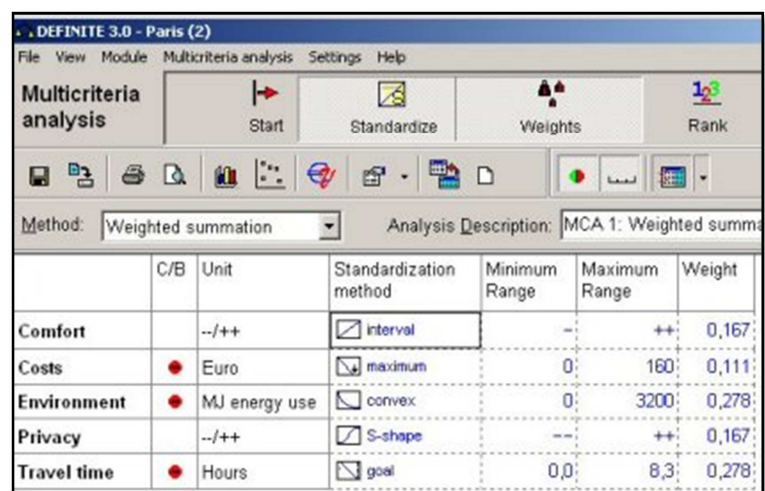


Fig. 4.6 Entorno de trabajo de DEFINITE.

4.5.4 Ventajas de DEFINITE

DEFINITE se destaca por su facilidad de uso, gracias a un cuidado minimalismo en el diseño de la interfaz. La curva de aprendizaje es muy rápida y se puede afirmar que está creado para aplicaciones académicas de aprendizaje principalmente. Entre las principales ventajas podemos encontrar:

- Orientado al uso académico, con muy fácil aplicación para éste propósito.
- Compatibilidad con sistemas operativos Windows (cualquier versión).
- Diseño similar a Microsoft Office 2003, lo que lo hace fácil de utilizar para usuarios con experiencia en este programa.
- Capacidad de importación y exportación de archivos de Office como Excel y Power Point.
- Existen manuales para asistir a los nuevos usuarios.
- Múltiples herramientas para EMC.
- Excelente facilidad de uso.

4.5.5 Desventajas de DEFINITE

Técnicamente poco avanzado, DEFINITE no es un programa que pueda ejecutar análisis complejos. Tampoco se destaca por sus avances técnicos frente a la competencia. Entre las desventajas tenemos:

- Costo medio de entrada no siempre accesible para las organizaciones que requieran de su uso.
- Aunque tanto su uso como sus resultados son muy fáciles de comprender, su alcance científico es muy limitado.
- Pobre gestión de archivos en uso y generados, no dispone de un explorador que funcione correctamente y la navegación al momento de agregar archivos es poco intuitiva y mal diseñada.
- Aunque goza de cierta aceptación académica, tiene baja aceptación en el medio profesional.

4.6 InVEST

4.6.1 Antecedentes

InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* – Valoración Integrada de Servicios y Compromisos en Ecosistemas), es un set de herramientas enfocado a obtener el valor verdadero de bienes y servicios naturales, esenciales para sostener en plenitud a la vida humana.

Este programa nace como una iniciativa de *Natural Capital Project*, una organización Norte americana fruto de la alianza estratégica entre las Universidades

de Stanford y Minnesota, The Nature Conservancy y el WWF; con el propósito de incorporar el llamado capital natural en la toma de decisiones.

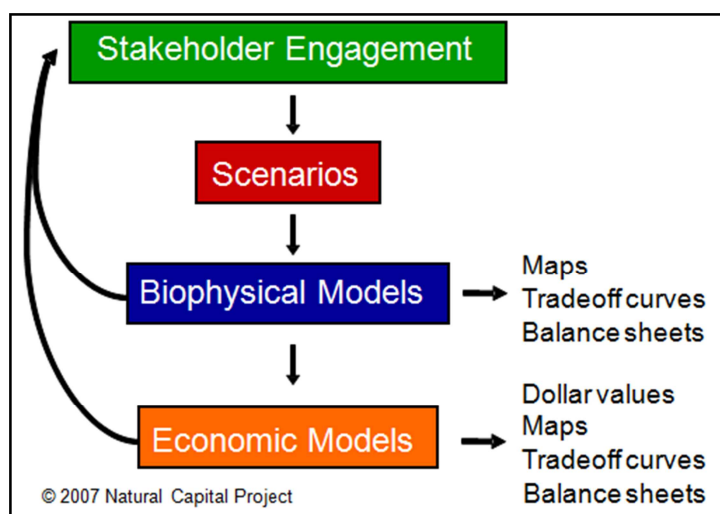


Fig. 4.7 Base lógica del funcionamiento de InVEST. Fuente: *(Natural Capital Project, 2011)*.

4.6.2 Características principales

Uno de los principales aspectos para el cual InVEST fue diseñado, es identificar las mejores estrategias para el uso de recursos financieros y naturales en función de los resultados esperados; es decir, provee de una herramienta que permite mejorar la toma de decisiones al momento de realizar inversiones de dinero, de manera que los recursos estén siempre optimizados.

Una ventaja clave del equipo de desarrollo de este programa, es que cuenta con un personal muy amplio de expertos en varias disciplinas del hombre, especialmente ambientales. Esto le permite contar con fundamentos muy sólidos en los algoritmos utilizados para los cálculos, así como también permite un desarrollo importante, en el cual los expertos están involucrados de igual forma en el proyecto que los programadores.

Actualmente, InVEST es distribuido como un set de herramientas o *toolbox* para ArcGIS 9.3, de manera que su uso requiere directamente de éste último.

4.6.3 Aplicaciones científicas

InVEST es un programa enfocado al manejo de recursos naturales, como ayuda en la toma de decisiones para gobiernos, organizaciones sin fines de lucro y corporaciones. Dado que es desarrollado por un grupo de científicos de primer nivel a nivel mundial, se puede decir que consta de fundamentos matemáticos y técnicos probados. Con el paso del tiempo, cada vez más organizaciones utilizan a este programa como herramienta principal en la toma de decisiones; además de que con la presencia de Natural Capital Project en varios países del mundo, se ha permitido difundir el uso del mismo.

InVEST ha sido diseñado para realizar estudios de:

- Energía hidroeléctrica.
- Acuicultura.
- Riesgos en hábitat marinos.
- Inventario de recursos naturales y unidades ambientales.
- Monitoreo de la agricultura.
- Monitoreo de recursos naturales.
- Evaluaciones multicriterio para gestión ambiental.
- Mapeo de biodiversidad.
- Potencial de erosión del suelo.
- Manejo de cuencas hidrográficas.
- Planeamiento inteligente de cultivos.
- Planeamiento de recursos naturales.
- Soporte de decisiones en el uso de la tierra.
- Mapas de sostenibilidad.
- Integración de mercados.
- Mapeo forestal.
- Análisis de hábitat.
- Modelado de corredores naturales.
- Modelado de la distribución de especies.
- Modelado de biodiversidad.
- Gestión de hábitat.
- Análisis de tendencias en la superficie.

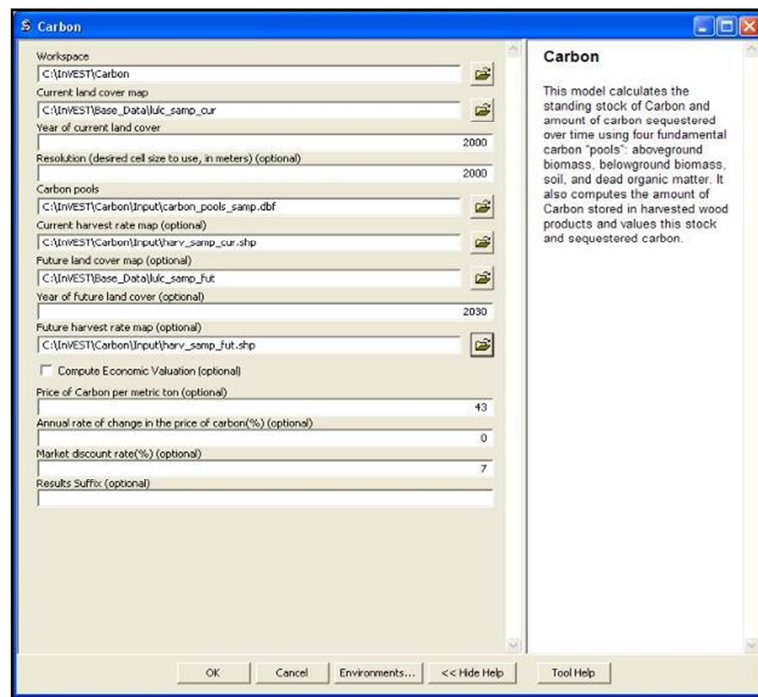


Fig. 4.8 Entorno de trabajo de InVEST 2.2.1.

4.6.4 Ventajas de InVEST

InVEST es una herramienta gratuita para ArcGIS. Su principal fuerte es el elevado nivel de su equipo de científicos y programadores, expertos en cada área que cubre el programa. Entre las principales ventajas podemos encontrar:

- Orientado para el uso profesional.
- Calidad muy alta de los modelos gracias al elevado nivel científico de su desarrollo.
- Compatibilidad con ArcGIS 9.3 y superiores.
- Utiliza estándares internacionales.
- Existen foros que cuentan con material adecuado y manuales para asistir a los nuevos usuarios.
- Potentes herramientas para EMC.
- Relativa facilidad de uso cuando se conoce la técnica que involucra el proceso que se realiza.
- Soporta cálculos económicos para estimar resultados basados en inversiones propuestas.

4.6.5 Desventajas de InVEST

Aunque los modelos de InVEST son de una elevada calidad, requieren que se cuente con todos los insumos necesarios en cada uno de ellos, sin excepción. Esto implica que se obtengan toda la información necesaria para poder ejecutar un determinado modelo, aunque el componente no sea necesario para el tipo de análisis deseado o este no pueda ser obtenido en el proyecto en ejecución. Entre las desventajas tenemos:

- Aunque no existe costo, obtener la información necesaria para ejecutar cada modelo puede ser muy costoso o técnicamente imposible según el tipo de proyecto y los recursos con los que se cuente.
- Su uso requiere conocimientos técnicos sólidos de cada área en la que se requiera realizar estudios.
- Los modelos contemplan la realidad de los países en los que se encuentran localizados los científicos que desarrollan el programa – principalmente Estados Unidos –; es decir, no están necesariamente optimizados para funcionar en el territorio ecuatoriano.
- Dado a que es una herramienta *toolbox* para ArcGIS, se requiere previamente contar con este programa para poder instalar InVEST, lo cual incrementa el costo inicial del proyecto.
- La interfaz de usuario es prácticamente inexistente, ya que el programa utiliza los cuadros de diálogo disponibles en las herramientas de ArcGIS, los cuales no siempre son buenos en relación a la facilidad de uso.

4.7 Comparativa de precios entre las alternativas analizadas

4.7.1 Precios de ILWIS 3.7

ILWIS es un software libre de código abierto, por lo que no tiene costo alguno para cualquier tipo de usuario.

4.7.2 Precios de IDRISI Taiga

IDRISI maneja diferentes precios según el tipo de usuario y el tipo de licencia, el siguiente cuadro refleja con detalle esta situación:

Categoría	Licencia Individual	Licencia flotante	Land Change Modeler LI	Land Change Modeler LF	Starter Estudiantes
General	\$ 1,250.00	\$ 500.00	\$ 795.00	\$ 500.00	n/d
Académico y Educación Superior	\$ 675.00	n/d	\$ 495.00	n/d	n/d
Escuelas	\$ 150.00	n/d	n/d	n/d	n/d
Estudiantes	\$ 295.00	n/d	\$ 195.00	n/d	\$ 95.00

Categoría	Kit Estudiante	Land Change Modeler KS	Land Change Modeler SE	Licencia de Campus	Land Change Modeler Campus
General	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Académico y Educación Superior	\$ 2,750.00	\$ 1,995.00	n/d	\$ 6,500.00	\$ 4,495.00
Escuelas	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Estudiantes	n/d	n/d	\$ 95.00	n/d	n/d

Tabla 4.4 Precios de IDRISI Taiga según su versión.

La diferencia entre las licencias individuales y las licencias flotantes, es que las segundas pueden ser removidas de un computador y colocadas en otro en cualquier momento, siempre y cuando ambos procesos sean validados con el servidor de Clark Labs a través de internet.

4.7.3 Precios de DEFINITE

DEFINITE maneja diferentes precios según el tipo de usuario y el tipo de licencia, el siguiente cuadro refleja esta situación:

Categoría	Precio
1 Usuario	1,360.00 €
1 Usuario Académico	750.00 €
Red (5 usuarios máx.)	2,260.00 €
Red Usuarios Académicos	1,360.00 €

Tabla 4.5 Precios de DEFINITE según su versión.

4.7.4 Precios de InVEST

InVEST es un proyecto sin fines de lucro y su uso no tiene costo para ningún tipo de organización. Sin embargo, el código no es libre y tampoco el soporte es gratuito: existen oficinas que proveen asistencia a la medida de los requisitos de la organización y las tarifas varían de acuerdo a las necesidades de la misma.

4.8 Modelo de calidad ISO/IEC 9126-1:2001

ISO 9126 es un estándar internacional para la evaluación de la calidad del software. Este modelo, permite realizar una evaluación de las características de un programa, de acuerdo a una especificación de calidad de software definida en la norma ISO 9126-1. Para ello, se realizó un análisis de cada programa seleccionado en el estudio, a través del desarrollo de una matriz basada en el modelo ISO extendido 9126-1 (ver Anexo 1).

El propósito de este modelo, es proveer una evaluación directa de los procesos de calidad del programa, de manera que se pueda identificar la capacidad de funcionamiento, el estado de desarrollo, su aptitud para realizar un trabajo, el nivel de cumplimiento de los requisitos, la conformidad de los productos y su adherencia con los estándares; entre otras métricas relevantes para ayudar en la selección del programa que mejor se ajuste a los objetivos y requerimientos técnicos del proyecto de investigación (Wikipedia, 2011).

Esta evaluación se desarrollo en forma empírica, a través de pruebas de uso y análisis de interfaces; además se verificó los resultados parciales obtenidos en cada programa, de manera que se pudo establecer una comparativa individual del tipo de procesamiento realizado por cada uno de ellos.

4.8.1 Estructura de las características de ISO/IEC 9126-1

4.8.1.1 Funcionalidad

Es un conjunto de atributos que se relacionan con la existencia de un conjunto de funciones y sus propiedades específicas. Las funciones son aquellas que satisfacen las necesidades implícitas o explícitas.

- Idoneidad.
- Exactitud.
- Interoperabilidad.
- Seguridad.
- Cumplimiento de normas.

4.8.1.2 Fiabilidad

Es un conjunto de atributos relacionados con la capacidad del software de mantener su nivel de prestación bajo condiciones establecidas durante un período establecido.

- Madurez.
- Recuperabilidad.
- Tolerancia a fallos.

4.8.1.3 Usabilidad

Es un conjunto de atributos relacionados con el esfuerzo necesario para su uso, y en la valoración individual de tal uso, por un establecido o implicado de usuarios.

- Aprendizaje.
- Comprensión.
- Operatividad.
- Atractividad.

4.8.1.4 Eficiencia

Es un conjunto de atributos relacionados con la relación entre el nivel de desempeño del software y la cantidad de recursos necesitados bajo condiciones establecidas.

- Comportamiento en el tiempo.
- Comportamiento de recursos.

4.8.1.5 Mantenibilidad

Es un conjunto de atributos relacionados con la facilidad de extender, modificar o corregir errores en un sistema software.

- Estabilidad.
- Facilidad de análisis.
- Facilidad de cambio.
- Facilidad de pruebas.

4.8.1.6 Portabilidad

- Capacidad de instalación.
- Capacidad de remplazamiento.
- Adaptabilidad.
- Co-Existencia.

Estos atributos son analizados en función de métricas de software, las cuales son un conjunto de medidas que permiten estimar características de un programa o sistema de información; de manera que sea posible realizar comparativas entre diferentes programas evaluados (Wikipedia, 2011).

4.9 Conclusiones

Se pudo verificar que aunque existe una oferta de programas con capacidad de realizar evaluación multicriterio, no muchas opciones cubren con todos los posibles requisitos de cada proyecto. Para el caso particular, se identificó a IDRISI Taiga como la mejor opción para el desarrollo de este proyecto. Esto se debe a que el costo de aplicación es aceptable, las características técnicas cumplen con las expectativas planteadas, cubre las necesidades solicitadas para la obtención de resultados en el proyecto y su uso requiere de un proceso de aprendizaje relativamente corto gracias al gran contenido de ayuda en línea, manuales y foros que simplifican el acceso a este programa; además, el equipo de investigadores del proyecto, realizó pruebas de uso con varios programas, identificando también a IDRISI como el que mejor se ajustaba a los objetivos del mismo.

Como parte fundamental en este capítulo, se evaluó un modelo ISO/IEC 9126 con métricas específicas diseñadas para programas de evaluación multicriterio. Cabe destacar que actualmente existe el proyecto SQuaRE ISO 25000 como remplazo del estándar ISO 9126-1 para la calidad de software; sin embargo, este nuevo modelo tiene pocos años en vigencia, y existe mucho más información en comparativa de ISO 9126, por lo que no fue considerado en esta investigación; pero sobretodo, se pudo modelar de mejor forma los atributos y métricas propios de Sistemas de Información Geográfica dentro del modelo ISO/IEC 9126.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LOS MODELOS ESPACIALES

5.1 Introducción

En este capítulo, se detallan los procedimientos realizados por el equipo investigador compuesto por el Biólogo Vinicio Santillán, el Ing. Agrónomo Andrés León y el Ing. Civil con especialización en Hidrología Alex Avilés, para obtener los diferentes modelos espaciales bajo la evaluación multicriterio de acuerdo a las estimaciones del equipo. Se presentan los pasos realizados, los datos procesados, los resultados obtenidos y los mapas representativos de cada uno de estos modelos; a continuación, se indica el proceso de homogenización de los modelos, mediante la aplicación de filtros y posteriormente, se muestran los procedimientos que se realizaron para efectos del análisis de sensibilidad en cada uno de los modelos obtenidos mediante EMC. Los contenidos de éste capítulo provienen del informe realizado por los investigadores.

5.2 Preparación de la información

El objetivo del proyecto es identificar zonas de protección, conservación del recurso hídrico en cantidad y calidad a través del manejo de recursos naturales existentes en la cuenca del río Paute. En el espacio territorial de la cuenca coexisten tres componentes: Ambiental, Disponibilidad de Agua y Económico – Productivo. El recurso natural agua, es transversal a los otros dos componentes. Los componentes estudiados son:

- Disponibilidad de Agua, porque se requiere dotar de agua a la población.
- Económico – Productivo, por cuanto se requiere del insumo de agua para actividades productivas.
- Ambiental, porque se requiere proteger las zonas de recarga hídrica (a través de dos análisis: importancia ambiental y vulnerabilidad de ecosistemas) y analizar la disponibilidad del recurso hídrico.

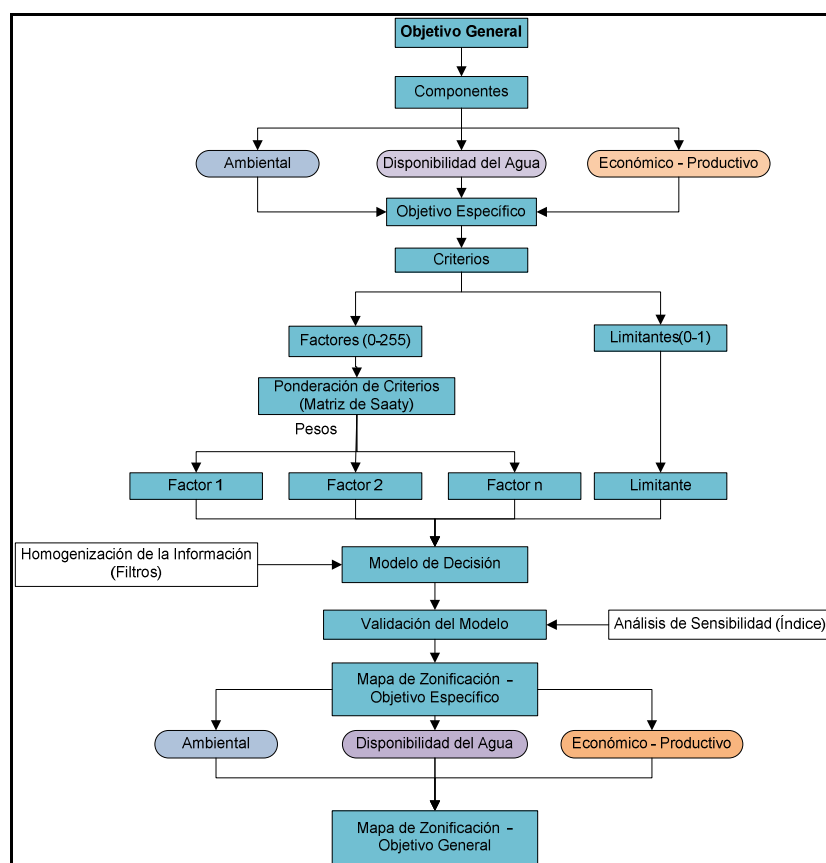


Fig. 5.1 Árbol de decisión para la generación de modelos espaciales. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.2.1 Componente Ambiental

Para el análisis del componente ambiental se han considerado dos temas:

1. Importancia Ambiental.
2. Vulnerabilidad de Ecosistemas.

El componente de Importancia Ambiental, sirve para identificar zonas de importancia ambiental que contribuyan a la conservación de cobertura vegetal natural, que constituyen ecosistemas relacionados con la retención y regulación del agua (elementos de recarga hídrica).

El componente de Vulnerabilidad de Ecosistemas, sirve para identificar zonas de ecosistemas vulnerables:

- a) Amenazados por erosión, inestabilidad y saturación, determinados estos dos últimos por el grado de la pendiente.
- b) Por la accesibilidad mediante vías.

Se obtuvieron 14 factores para establecer zonas de importancia ambiental y 9 de vulnerabilidad de ecosistemas. La información proviene de 7 instituciones. Finalmente, luego de muchas pruebas de posibles combinaciones, se escogieron siete factores para la importancia ambiental y cinco para la vulnerabilidad de ecosistemas; los cuales fueron listados desde los más generales a los más concretos, para ser valorados y conectados nivel a nivel por tres jerarquías: meta, objetivos y atributos (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

IMPORTANCIA AMBIENTAL		VULNERABILIDAD DE ECOSISTEMAS	
META	Cobertura vegetal de la cuenca del río Paute publicación 2007	META	Proteger la vegetación en pendiente fuerte
OBJETIVO	Conservación del recurso hídrico	OBJETIVOS	Vulnerabilidad a la Erosión
ATRIBUTOS	Sistema Nacional de Áreas Protegidas	OBJETIVOS	Vulnerabilidad a los Movimientos de Masas
	Propuesta Preliminar para un Sistema de Vegetación Sierra 1999		
	Tipos de bosque	ATRIBUTOS	Distancia a ejes viales
	Endemismo en la cuenca del río Paute		Distancia de centros poblados
	Diversidad de la cuenca del río Paute		

Tabla 5.1 Factores seleccionados para EMC. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Para el caso de la importancia ambiental, se valoró cada uno de los factores otorgando valores más altos a las zonas que se consideran de mayor importancia para la conservación y producción de agua; por ejemplo en la cobertura vegetal se le dio valores más altos al páramo y a los bosques, la distancia a los cuerpos de agua tiene mayor valor mientras más cerca se encuentre a ríos, quebradas, lagunas, ciénagas. La importancia ambiental, está construida para establecer zonas con gran importancia biológica, tomando en cuenta áreas que representen las mejores condiciones para el desarrollo de los procesos ecológicos naturales, tratando de identificar superficies donde las condiciones naturales primigenias aún se mantienen, o que son muy importantes para mantener el desarrollo de la biota nativa.

Por otro lado, para la vulnerabilidad de ecosistemas se valoró los factores tomando en cuenta los lugares más sensibles; así por ejemplo, tienen mayor valor las pendientes mayores, las zonas con más fragilidad a la erosión o la cercanía a las vías, que cortan taludes. La vulnerabilidad está construida para establecer zonas que sean proclives a algún riesgo para los factores biofísicos, sobre todo por condiciones de presión antropogénica que generan procesos erosivos y que han modificado las condiciones naturales, más aún en pendientes que aceleran estos procesos degenerativos de los ambientes originales (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.2.2 Componente disponibilidad del agua

Para el componente de disponibilidad de agua, en cantidad y calidad, se construyeron subtemas con diferentes criterios y variables; estos a su vez se convirtieron en los factores de entrada de los modelos espaciales de este componente.

5.2.2.1 Regulación del agua

El factor de regulación de agua tiene dos variables: la estacionalidad de la precipitación y la cobertura vegetal; el criterio que se maneja es identificar las zonas con una mayor estacionalidad de la precipitación (lluvia en pocos meses) y mayor cobertura vegetal, de tal manera que sean los sectores prioritarios para una conservación. Se describe a continuación el procedimiento que se siguió para este factor.

1) El mapa cobertura vegetal fue tomado del componente ambiental, el mismo que está dividido en diferentes categorías, en donde las zonas de suelo con mayor cobertura vegetal (páramos, vegetación leñosa y bosques) son las que tienen mayor prioridad y las zonas con deficiente cobertura vegetal (suelo desnudo) tienen menor prioridad.

2) El segundo mapa es el de estacionalidad de la precipitación, que no es más que la división de zonas con diferente régimen de precipitación, para lo cual se tomó como ayuda el cálculo de un índice que mida la variabilidad de la distribución mensual de precipitación (Celleri, 2007), denominado índice *Walsh and Lawler* (SI), el mismo que proporciona una medida de la propagación de la precipitación mensual con respecto a una distribución ideal uniforme mensual en los 12 meses. SI está dado por:

$$SI_i = \frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^{12} \left| M_{ij} - \frac{R_i}{12} \right|$$

Donde R_i es la precipitación anual para el año i bajo estudio y M_{ij} es la precipitación mensual para el mes j ; de tal forma que si la lluvia anual está perfectamente distribuida en los 12 meses, el SI sería cero. A menores condiciones de uniformidad mayor será el índice SI. La clasificación de los regímenes estacionales mediante el índice SI se muestra en la siguiente tabla.

INDICE	CLASIFICACION
< 0.19	Precipitación repartida en todo el año
0.20 - 0.39	Precipitación repartida en todo el año, pero con una temporada de lluvias
0.40 - 0.59	Suficientemente estacional con una corta temporada seca
0.60 - 0.79	Estacional
0.80 - 0.99	Marcadamente estacional con una larga temporada seca
1.00 - 1.19	Más precipitación en menos de 3 meses
> 1.20	Extrema estacionalidad, con casi toda la precipitación en 1 a 2 meses

Tabla 5.2 Clasificación de los regímenes estacionales mediante el índice SI. Fuente: (Celleri, 2007).

De esta manera con los resultados del estudio realizado por el Consejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute CG Paute “Asistencia técnica en hidrología para el desarrollo de herramientas de caracterización y monitoreo hidrológico y evaluación

de alternativas de gestión de los recursos hídricos”, en donde constan mapas de precipitación promedio mensual de la cuenca, se construyó un mapa de estacionalidad de la precipitación, mediante una álgebra de mapas según la fórmula del índice de *Walsh and Lawler* (SI). El resultado final fue un mapa de la cuenca del Paute dividido en zonas de diferente estacionalidad, en donde las zonas de mayor prioridad son las de menor estacionalidad de precipitación y las zonas de menor prioridad son las de mayor estacionalidad de precipitación.

3) Por último considerando la igualdad de importancia en las dos variables, se realizó la multiplicación entre el mapa del punto (1) y el mapa generado del punto (2), resultando el mapa final de priorización de sectores para la conservación de los recursos naturales. Los valores resultantes se reclasificaron en categorías que van desde 0 (menor importancia) a 255 (mayor importancia).

Así el criterio que se maneja en todo el procedimiento es conservar las zonas donde se tenga una marcada estacionalidad y la cobertura de suelo esté bien conservada. Por ejemplo en zonas donde la precipitación es marcada en uno o dos meses y el resto de meses no tiene o tiene muy poca precipitación, se debería conservar las áreas donde exista una cobertura vegetal bien conservada, de tal manera que estas zonas de amortiguamiento se recarguen cuando exista la precipitación y vayan regulando el recurso hídrico en los meses donde no exista precipitación.

5.2.2.2 Producción de agua

El mapa del déficit y superávit anual del recurso hídrico en la cuenca del Paute, se ha calculado con los resultados del estudio realizado por CG Paute “Asistencia técnica en hidrología para el desarrollo de herramientas de caracterización y monitoreo hidrológico y evaluación de alternativas de gestión de los recursos hídricos”, en donde se informa del agua disponible en la cuenca del Paute en forma natural, es decir, la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, sin tomar en cuenta la utilización del recurso hídrico por el hombre. El balance es positivo (superávit) cuando la precipitación es superior a la evapotranspiración y un valor negativo (déficit) es cuando sucede lo contrario con una precipitación menor que la evapotranspiración.

El análisis realizado para el cálculo de la evapotranspiración en el estudio de CG Paute consideró principalmente la información de precipitación y temperatura del Instituto Nacional de Hidrometeorología e Hidrología (INAMHI), en donde se tiene información desde 1935 a 1995 en algunas estaciones. Hay que hacer notar que este análisis se realizó agregando en un nivel anual los mapas mensuales de déficit y superávit, por otro lado las unidades que se manejan son mm de agua (litros/m^2).

El criterio para este tema es preservar las zonas donde exista superávit, dado que son recursos que se pueden preservar para los diferentes procesos naturales y para los diferentes usos del hombre. Los resultados muestran que existen una variación desde 586.69 mm de déficit hasta 2684.45 mm de superávit, los mismos que se dividieron en 7 categorías de valoración de 0 a 255, siendo 0 los sectores que no interesaría para conservar y 255 los sectores principales para realizar una conservación.

5.2.2.3 Protección del recurso hídrico

Para la generación del mapa de protección del recurso hídrico en la cuenca del Paute se ha tomado en primer lugar la información de fuentes hídricas en la cuenca (Inventarios de Recursos Hídricos de la cuenca del río Paute, realizados desde el año 2006 hasta el año 2010), en donde se considera que estos sectores sean prioritarios para una protección, dado que se debe asegurar el abastecimiento de agua actual y futuro del agua para consumo humano. En el mapa se consideró una zona de 100 metros alrededor del punto de ubicación de las fuentes hídricas para su protección, el cual es un criterio tomado de las fichas de los inventarios hídricos realizados en la cuenca del río Paute.

En segundo lugar tenemos los ríos perennes, dado que son hábitats de flora y fauna; además son importantes fuentes de abastecimiento de agua para los diferentes usos de la población. Por estas razones se ha considerado proteger los ríos perennes y sus alrededores, en 50 metros a cada lado del río el cual es un criterio de franjas de protección para un río.

En tercer lugar tenemos las lagunas naturales, de igual forma que los ríos son importantes fuentes de abastecimiento de agua, también son zonas de amortiguamiento para la regulación del recurso y por supuesto la importancia

ambiental que tienen estas zonas naturales. Por estas razones se han considerado las lagunas y sus alrededores para acciones de protección, tomando en cuenta adicionalmente un contorno de 100 metros alrededor del área de la laguna; es decir, se aplicó el mismo criterio de las fuentes hídricas.

Por último tenemos los humedales y pantanos (ciénegas), dada la importancia de los procesos naturales que se producen en estas zonas se ha considerado como áreas importantes para la protección. Además del área de la ciénaga, se ha sumado un área adicional como área de influencia de 100 metros alrededor de la misma para las acciones de protección.

En resumen lo que se obtuvo, es un mapa raster donde el criterio primordial es la protección de todas las zonas de drenaje importantes para los procesos naturales y de utilidad para la población. Este mapa se ha generado sobreponiendo información de fuentes hídricas, ríos, lagunas y ciénegas, en donde se ha considerado un peso doblemente importante para las fuentes hídricas, dado que son proveedoras directas de agua para la población. El conjunto de estas áreas se ha valorado de la siguiente manera, 255 para las fuentes hídricas más importantes y 125 para los ríos, lagunas y ciénegas medianamente importantes.

5.2.2.4 Uso del recurso hídrico (demanda del agua)

Para construir este factor se ha clasificado la información en dos grupos: los usos consuntivos (consumo humano, riego, industria, etc.) y los usos no consuntivos (se ha asumido solo los usos para hidroelectricidad). A continuación se detalla el procedimiento seguido para la elaboración de los mapas para cada uso.

5.2.2.4.1 Usos consuntivos

Para la elaboración del mapa se escogieron dos variables. La primera variable fue el caudal concesionado para los diferentes usos consuntivos, para lo cual se utilizó la información de concesiones de agua proporcionada por la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA. La segunda variable fue la prioridad en uso del recurso, para lo cual se ha tomado como guía la codificación de la Ley de Aguas vigente (Art. 36).

5.2.2.4.2 Usos no consuntivos

Se ha considerado como factor principal y único el valor de caudal concesionado para hidroelectricidad. Según la base de datos de SENAGUA, se tienen 8 concesiones de este tipo, donde 3 de ellas son permisos concedidos para la Compañía de generación hidroeléctrica Paute (HIDROPAUTE S.A.), otras 2 son permisos para la Compañía ELECAUSTRO, y las demás son permisos para personas naturales.

El criterio para crear el mapa de los usos no consuntivos es identificar las zonas de drenaje por microcuencas, aguas arriba del punto de concesión, y considerarlas factibles para realizar acciones de conservación, protección y mitigación en caso de existir condiciones no deseadas; con la finalidad de preservar el flujo de agua para generar energía hidroeléctrica. La priorización de estas zonas se ha realizado según el valor de caudal concesionado. Es notable que el caudal concesionado para hidroelectricidad en la salida de la subcuenca Paute en las entradas de los embalses de Mazar y Amaluza, es extremadamente mayor que las otras concesiones (100 m³/seg.), dado que este caudal es el resultado del drenaje total de la cuenca alta, media y baja del río Paute, por lo tanto no se han considerado estos valores extremos en la construcción del mapa; sin embargo, las acciones prioritarias que podrían tener las otras microcuencas o subcuencas beneficiarían indirectamente a los caudales de entrada de agua a los embalses mencionados.

5.2.2.5 Calidad del agua

Con respecto al mapa de calidad de agua que ingresa al sistema de identificación y priorización de zonas, desde el punto de vista de protección y mitigación de áreas que están con un cierto grado de contaminación; se ha tomado como referencia los coliformes fecales, dado que son organismos patógenos causantes de enfermedades en la población. Para ello, se extrajo la información disponible referente a este parámetro en los inventarios hídricos que realizó CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar en los años 2006 hasta el año 2010.

El valor de los coliformes fecales fue la base para realizar una interpolación en toda la cuenca del río Paute, mediante el método inverso cuadrado de la distancia y se identificaron las zonas con una mayor contaminación con la finalidad de una actuación en el remedio de esta situación.

El criterio de desarrollo territorial, es identificar las zonas donde exista contaminación y zonas en las que se encuentre afectado el medio ambiente; con la finalidad de ir construyendo alternativas para que no exista contaminación alguna.

Por lo tanto, este factor apoya en el aspecto ambiental, dado que es indeseable en los procesos naturales, y por otro lado apoya en el aspecto productivo, dado que si ataca a la causas para la existencias de contaminación, se tendrá mayor cantidad de agua para las actividades productivas.

Hay que indicar, que estaba planificado realizar un análisis mediante el índice WQI *Water Quality Index*, el mismo es muy utilizado por la Empresa de Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento ETAPA para determinar la evolución de la calidad del agua en los ríos de la ciudad de Cuenca en las subcuencas del Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui; sin embargo, debido a la falta de información en la cuenca media y baja, se ha optado por no utilizar el índice, quedando la recomendación de emplearlo para caracterizar la calidad de agua para futuros trabajos cuando ya se disponga de esa información.

Por otro lado, se debe indicar que existen vacíos de información de este parámetro en algunas subcuencas, es por esto que este criterio servirá como una idea inicial para el presente estudio, el mismo que deberá ser revisado en el futuro completando la información donde haga falta.

Por último, indicar que lo ideal para hacer un análisis de calidad de aguas es monitorear algunos parámetros además de los coliformes fecales, como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, pH, y otros más, de tal manera que se pueda ir construyendo series de tiempo para cada una de las estaciones de monitoreo, al menos en un año hidrológico, con el objetivo final de tener información actual y constante para la toma de decisiones en la gestión y manejo de la cuenca del río Paute en materia de calidad de aguas.

5.2.2.6 Distancia de fuentes hídricas a cultivos

Se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanas a zonas donde existen cultivos, dado el uso extensivo de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas y el constante lavado de estos compuestos cuando existe escorrentía superficial; lo que hace pensar en una contaminación de las fuentes de agua cercanas a estas zonas productivas, perjudicando la calidad del agua.

La ubicación y la caracterización de las fuentes hídricas fueron obtenidas de los inventarios de los recursos hídricos desarrollados por el CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar. Los cultivos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal año 2007, escala 1:50000, del componente ambiental.

Para la construcción del mapa se georreferenció las fuentes hídricas y las zonas de cultivos, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.7 Distancia de cuerpos de agua a cultivos

Se ha calificado que los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) son vulnerables a una contaminación del agua cuando estén más cercanos a zonas donde existen cultivos, debido al lavado de fertilizantes y pesticidas utilizados en las actividades agrícolas cuando existe escorrentía superficial. Entonces podría ocurrir una contaminación de los cuerpos de agua, para lo cual estas zonas se han considerado prioritarias para una prevención y protección.

La ubicación y caracterización de los cuerpos de agua se extrajo de la cartografía temática a escala 1:50 000, de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute (CG Paute). Los cultivos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal año 2007, escala 1:50000, del componente ambiental.

Para la construcción del mapa se ubicó los cuerpos de agua y las zonas de cultivos, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.8 Distancia de fuentes hídricas a pastos

De igual forma se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una contaminación del agua cuando están más cerca a zonas donde existen pastos, dada la existencia de desechos orgánicos de los semovientes en las actividades agropecuarias y el constante lavado de estos desechos cuando existe escorrentía superficial. Por lo tanto las fuentes hídricas más cercanas a las zonas de pastos, serán las más vulnerables la contaminación del agua.

La ubicación y la caracterización de las fuentes hídricas fueron obtenidas de los inventarios de recursos hídricos desarrollados por el CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar. Los pastos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal año 2007, escala 1:50000, del componente ambiental.

De igual forma que los subtemas anteriores, para la construcción del mapa se georreferenció las fuentes hídricas y las zonas de pastos, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.9 Distancia de cuerpos de agua a pastos

De igual forma que los subtemas anteriores se ha calificado que los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) son vulnerables a una contaminación del agua cuando están más cercanos a zonas donde existen pastos, debido al lavado de desechos orgánicos de los semovientes cuando existe escorrentía superficial.

La ubicación y caracterización de los cuerpos de agua se extrajo de la cartografía temática a escala 1:50 000, de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca

del Paute (CG Paute). Los pastos se extrajeron del mapa temático de cobertura vegetal del componente ambiental.

Para la construcción del mapa se ubicó los cuerpos de agua y las zonas de pastos, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.10 Distancia de fuentes hídricas a centros poblados

Se ha considerado que las fuentes hídricas podrían ser vulnerables a una afectación de la cantidad y calidad del agua cuando están más cercanas a centros poblados. Dado las actividades productivas-económicas que ocurren en las zonas cercanas a los centros poblados, podrían abarcar zonas donde existan fuentes hídricas, que perjudiquen la cantidad y calidad del agua.

La ubicación y la caracterización de las fuentes hídricas fueron obtenidas de los inventarios de los recursos hídricos desarrollados por el CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar. Los centros poblados se obtuvieron de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute (CG Paute).

Para la construcción del mapa se ubicó los centros poblados y se ligó a las fuentes hídricas georreferenciadas, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.11 Distancia de cuerpos de agua a centros poblados

Se ha considerado que los cuerpos de agua son vulnerables a una afectación cuando están más cercanos a los centros poblados, dado el hecho de que las actividades productivas y económicas que ocurren en las zonas cercanas a los centros poblados podrían abarcar zonas donde existan cuerpos de agua, perjudicando la cantidad y calidad del agua.

La ubicación y caracterización de los cuerpos de agua y los centros poblados se extrajo de la cartografía temática escala 1:50000 de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute (CG Paute).

Para la construcción del mapa se ubicó los cuerpos de agua y los centros poblados, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.12 Distancia de fuentes hídricas a vías

De igual forma se ha considerado que las fuentes hídricas son vulnerables a una afectación, cuando están más cercanas a las vías; dado el hecho de que las diferentes actividades económico-productivas de la población requieren vías para su movilización, en donde las zonas cercanas a las vías son destinadas preferentemente para realizar dichas actividades, por lo tanto podrían afectar a las fuentes hídricas contenidas en estas áreas, es por esto la consideración de este factor para identificar zonas vulnerables a una afectación de la cantidad y calidad de agua de las fuentes hídricas.

La ubicación y caracterización de las fuentes hídricas fueron obtenidas de los inventarios de recursos hídricos desarrollados por el CG Paute, Gobierno Provincial del Azuay y Gobierno Provincial del Cañar. Las vías se obtuvieron de la información de la cartografía temática de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute (CG Paute).

De igual forma que los subtemas anteriores, para la construcción del mapa se ligó la información de las fuentes hídricas y los centros poblados, realizando un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias.

5.2.2.13 Distancia de Cuerpos de agua a vías

De igual forma que los subtemas anteriores se ha considerado que los cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas) son vulnerables a una afectación de las mismas, cuando estén más cercanas a las vías. Dado que las diferentes actividades económico-productivas de la población requieren vías para su movilización, existirán zonas cercanas a las vías que serán destinadas preferentemente para realizar dichas actividades, por lo tanto podrían afectar a los cuerpos de agua contenidos en estas áreas, es por esto la consideración de este factor al igual que las fuentes hídricas, esto es para identificar zonas vulnerables a una afectación de la cantidad y calidad de agua de los cuerpos de agua.

La ubicación y la caracterización de los cuerpos de agua y las vías se extrajeron de la cartografía temática a escala 1:50 000, de la cuenca del río Paute [CRP_SAM56_V3], realizada por la Universidad del Azuay (IERSE) y el Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute (CG Paute).

Para la construcción del mapa se ubicó los cuerpos de agua y las vías, luego se realizó un cálculo espacial de las distancias entre estos dos atributos, finalmente se priorizó las distancias menores en una escala que va desde 255 a 1, siendo 255 las zonas donde existen menores distancias (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.2.3 Componente Económico – Productivo

El objetivo es determinar áreas aptas para la promoción, recuperación y regulación de sistemas de producción agropecuaria dentro de la Cuenca del Río Paute.

Se obtuvieron seis factores para establecer zonas de importancia agropecuaria, de siete instituciones. Finalmente, luego de muchas pruebas de posibles combinaciones, se escogieron los seis factores para generar el modelo económico-productivo que es la determinación de zonas de importancia agropecuaria; los cuales fueron listados desde los más generales a los más concretos, para ser valorados.

COMPONENTE ECONOMICO-PRODUCTIVO	
META	Cobertura vegetal de cuenca del Río Paute publicación 2007
OBJETIVOS	Pastos y Cultivos
	Pendientes
	Tipos de suelo
ATRIBUTOS	Distancia a concesiones de agua
	Distancia a centros poblados
	Distancia a vías

Tabla 5.3 Factores seleccionados para la evaluación multicriterio. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Para el caso de la importancia agropecuaria, se valoró a cada uno de los factores dándoles los valores más altos a las zonas que se consideran de mayor importancia para la producción; por ejemplo en las pendientes se le dio valores más altos a las pendientes bajas. La importancia agropecuaria, está construida para establecer zonas con gran importancia para la producción agropecuaria, tomando en cuenta áreas que representen las mejores condiciones para el desarrollo de los procesos productivos (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3 Modelos espaciales mediante EMC

5.3.1 Componente Ambiental

5.3.1.1 Importancia Ambiental

Para establecer las zonas de mayor importancia ambiental mediante EMC, se ubicaron dentro de la matriz de Saaty los siete factores en el orden que muestra la Tabla 5.1. Dentro de esta matriz se les asignó valores de manera descendente, siendo los más importantes los primeros factores listados; tomando en cuenta una cronología lógica para obtener un radio de consistencia de 0,02. Aquí hay que tomar en cuenta que al endemismo y la diversidad de flora se les asignó valores iguales debido a que estas dos variables son complementarias.

cr. 0.02	cobertura_suelo	distancia_fuente_s_agua	areas_protegidas	mapa_ecológico	tipos_bosques	endemismo_flora	diversidad_flora
cobertura_suelo	1						
distancia_fuente_s_agua	0.5	1					
areas_protegidas	0.333	0.5	1				
mapa_ecológico	0.25	0.333	0.5	1			
tipos_bosques	0.2	0.25	0.333	0.5	1		
endemismo_flora	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	
diversidad_flora	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	1

Tabla 5.4 Matriz de Saaty valorada para la importancia ambiental con su radio de consistencia (c.r). Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con el uso de esta matriz se pudo asignar los pesos de cada uno de los factores, para generar la EMC, siendo la cobertura del suelo y la distancia a los cuerpos de agua más del 50% del total, para obtener el mapa intermedio de importancia ambiental.

FACTORES IA	Peso
cobertura_suelo	0.3542
distancia_fuentes_agua	0.2392
areas_protegidas	0.1573
mapa_ecológico	0.1017
tipos_bosques	0.0649
endemismo_flora	0.0413
diversidad_flora	0.0413

Tabla 5.5 Pesos asignados a los factores de importancia ambiental por la matriz de Saaty. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con estos pesos se ejecutó la técnica de EMC dentro del programa IDRISI Taiga, para obtener el modelo de importancia ambiental, al cual posteriormente se le realizó un *autoscaling*. La escala automática *autoscaling* se ocupa de la relación entre los valores de las celdas raster y los índices de la paleta. Por defecto, se asume una relación directa entre éstos; es decir, una celda con un valor numérico de 12 debería visualizarse con el color definido por el índice de paleta 12 (Eastman J. R., IDRISI Andes Tutorial, 2006). Todo esto con la escala automática denominada *Quantiles*, que coloca el mismo número de píxeles o características en cada clase, primero ordenándolos por rango y luego asignándolos a las clases ya ordenadas por rango. Esta es una buena opción siempre que los datos estén fuertemente distorsionados o

desproporcionalmente cargados en un número pequeño de clases de intervalos iguales (Eastman J. R., IDRISI Andes Tutorial, 2006).

Con este análisis, se pudo obtener las zonas de mayor importancia ambiental, que representan en la paleta los valores entre 197 y 255, en color magenta, con un total de 136639.5 ha (21.2%) dentro del total de 644193 ha que constituye toda la CRP. Este 21.2% es el rango con más hectáreas y representan las áreas con mayor importancia ambiental, repartidas por toda la CRP; encontrándose en las zonas altas de la cuenca, y que aparentemente tienen mayor calidad, son las mejores productoras de agua y las más conservadas; siendo estas áreas donde se encuentran la mayoría de páramos y bosques nativos mejor conservados y donde existe menor presión antrópica.

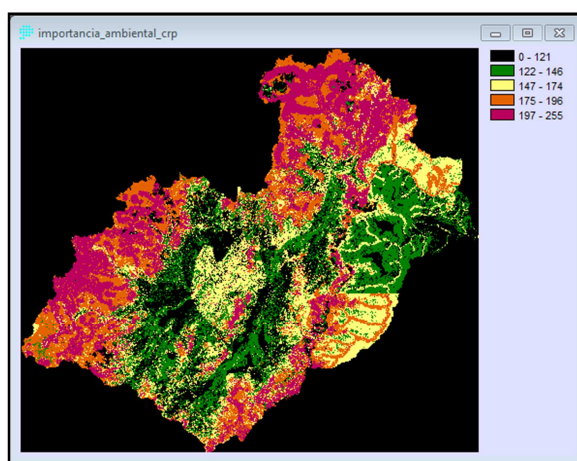


Fig. 5.2 Modelo de importancia ambiental clasificación por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

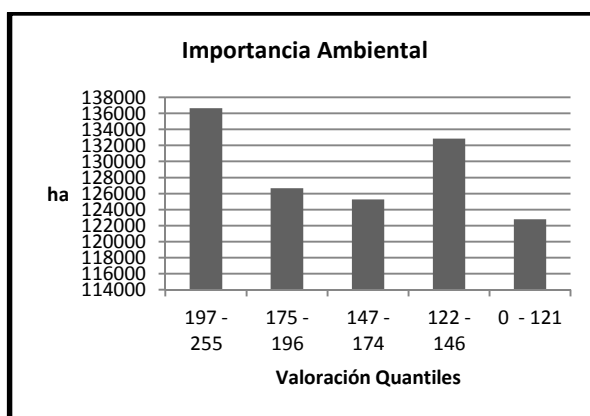


Gráfico 5.1 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.1.2 Vulnerabilidad de Ecosistemas

Para establecer las zonas de mayor vulnerabilidad de ecosistemas, se ubicaron dentro de la matriz de Saaty los cinco factores en el orden que muestra la Tabla 5.1. Dentro de esta matriz se les asignó valores de manera descendente, siendo los más importantes los primeros factores listados; tomando en cuenta una cronología lógica para obtener un radio de consistencia de 0,02.

c.r. 0.02	pendiente s	pacc_erosió n	pacc_movimientos_ma sa	distancia_vía s	distancia_centros_poblada os
pendientes	1				
pacc_erosión	0.5	1			
pacc_movimientos_masa	0.333	0.5	1		
distancia_vías	0.2	0.25	0.333	1	
distancia_centros_poblados	0.167	0.2	0.25	0.5	1

Tabla 5.6 Matriz de Saaty valorada para la vulnerabilidad de ecosistemas con su radio de consistencia (c.r). Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con esta matriz se pudo asignar los pesos de cada uno de los factores para generar la EMC, siendo la pendiente y la erosión más del 50% del total, para obtener el mapa intermedio de vulnerabilidad de ecosistemas.

FACTORES VE	Peso
pendientes	0.4186
pacc_erosión	0.2625
pacc_movimientos_masa	0.1599
distancia_vías	0.0972
distancia_centros_poblados	0.0618

Tabla 5.7 Pesos asignados a los factores de vulnerabilidad de ecosistemas por la matriz de Saaty. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Para obtener el modelo de vulnerabilidad de ecosistemas, se realizó el *autoscaling*. Con este análisis se pudo obtener que las zonas más importantes, que representan en la paleta los valores entre 193 y 255, en color magenta, con un total de 136506 ha (21.2%) dentro del total de 644193 ha que constituye toda la CRP. Este 21.2% es el rango con más hectáreas y representan las áreas con mayor vulnerabilidad de ecosistemas, encontrándose en las zonas donde existe menor estabilidad del terreno,

siendo los lugares con más altas pendientes y más susceptibles a procesos erosivos, de movimiento de masas y donde existe mayor presión antrópica.

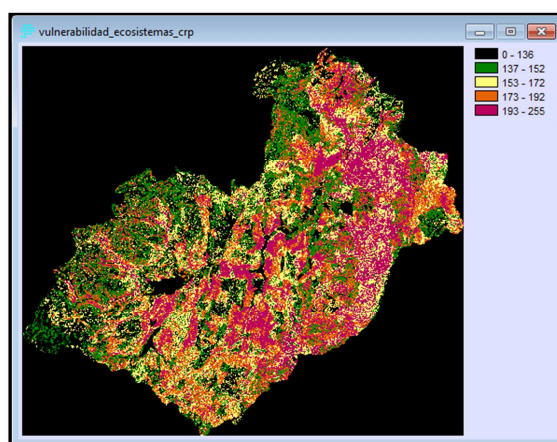


Fig. 5.3 Modelo de vulnerabilidad de ecosistemas clasificación por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

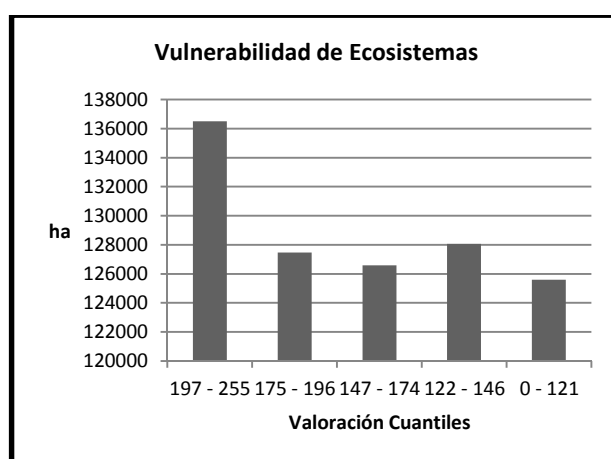


Gráfico 5.2 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2 Componente Disponibilidad del Agua

Una vez identificados y contruidos los factores se procedió a elaborar los modelos espaciales para delimitar las zonas de intervención para la toma de decisiones del componente disponibilidad de agua en cantidad y calidad, en donde se ha realizado una combinación de los factores para introducir múltiples criterios en los modelos. Hay que hacer notar que cada factor individualmente puede constituirse en un modelo espacial de toma de decisiones, sin embargo se ha intentado combinarlos de

tal manera que la decisión tome en cuenta múltiples criterios. Los modelos resultantes se construyeron según dos objetivos principales:

- Conservación, protección y preservación del agua (5 modelos espaciales multicriterio).
- Protección, prevención y mitigación de zonas vulnerables a una afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.), para conservar la cantidad y calidad del recurso hídrico (2 modelos espaciales multicriterio).

5.3.2.1 Modelo Espacial 1: Protección de las zonas de drenaje (cantidad y calidad) y sus alrededores

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para una conservación y protección del agua. Los factores considerados para este modelo son:

- Regulación de agua
- Producción de agua
- Protección del recurso hídrico
- Uso del recurso hídrico
- Calidad de agua

Con estos factores se procedió a ponderar su importancia mediante la matriz de Saaty. La matriz construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,07 se muestran a continuación.

FACTOR	Regulación del Agua	Producción de Agua	Protección del Recurso Hídrico	Usos Consuntivos	Usos no Consuntivos	Calidad del Agua
Regulación del Agua	1					
Producción de Agua	1/3	1				
Protección del Recurso Hídrico	9	9	1			
Usos Consuntivos	5	5	1/5	1		
Usos no Consuntivos	3	3	1/7	1/3	1	
Calidad del Agua	7	7	1/3	3	5	1

Tabla 5.8 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 1. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Factor	Pesos
Regulación del Agua	0,0412
Producción de Agua	0,0281
Protección del Recurso Hídrico	0,4704
Usos Consuntivos	0,1351
Usos no Consuntivos	0,0686
Calidad del Agua	0,2566

Tabla 5.9 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 1. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con los pesos resultantes de cada factor se procedió a delimitar las áreas según cada criterio, resultando el mapa de la siguiente figura. En el mapa se puede observar que las áreas con una mayor valoración son las prioritarias para la actuación.

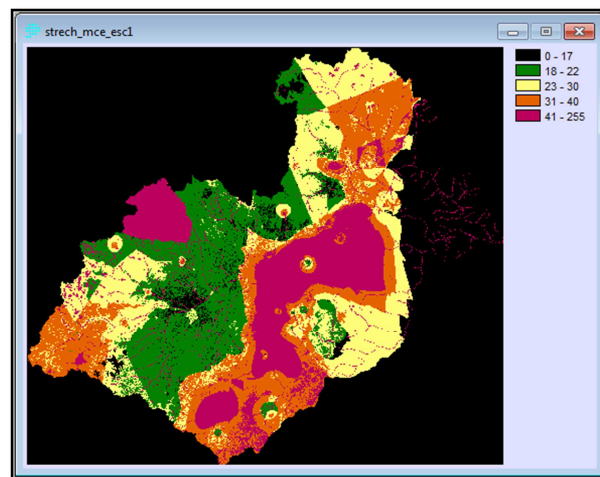


Fig. 5.4 Modelo Espacial Multicriterio 1. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

A pesar de que este modelo es una mezcla de múltiples criterios, no fue tomado en cuenta para los siguientes análisis, dado que se presta una confusión entre los factores que se derivan de la naturaleza y factores que se derivan de la actuación del hombre. Es por esto que este modelo se ha tomado como un ejemplo del proceso de modelación espacial para la toma de decisiones.

5.3.2.2 Modelo Espacial 2: Conservación del recurso hídrico

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para protección de las zonas de drenaje (cantidad y calidad) y sus alrededores. Los factores considerados para este modelo son:

- Cobertura vegetal
- Protección del recurso hídrico
- Calidad de agua

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,03 se muestran a continuación.

FACTOR	Cobertura Vegetal	Protección del Recurso Hídrico	Calidad del Agua
Cobertura Vegetal	1		
Protección del Recurso Hídrico	5	1	
Calidad del Agua	3	1/3	1

Tabla 5.10 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 2. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Factor	Pesos
Cobertura Vegetal	0,1047
Protección del Recurso Hídrico	0,637
Calidad del Agua	0,2583

Tabla 5.11 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 2. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

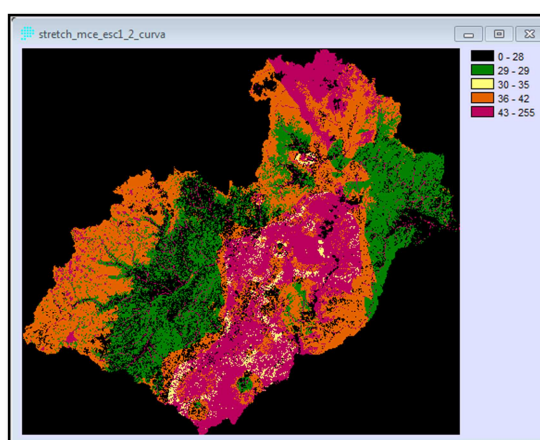


Fig. 5.5 Modelo Espacial Multicriterio 2. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

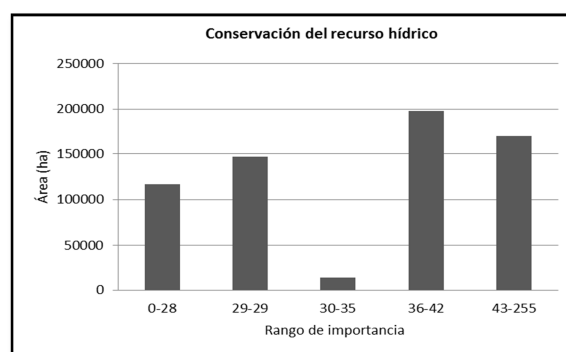


Grafico 5.3 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2.3 Modelo Espacial 3: Zonas con mejor regulación de agua

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para una conservación del recurso hídrico y todos los recursos naturales alrededor del mismo. Los factores considerados para este modelo son:

- Cobertura Vegetal
- Producción de Agua
- Usos Consuntivos

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,03 se muestran a continuación.

FACTOR	Cobertura Vegetal	Producción de Agua	Usos Consuntivos
Cobertura Vegetal	1		
Producción de Agua	3	1	
Usos Consuntivos	5	3	1

Tabla 5.12 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 3. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Factor	Pesos
Cobertura Vegetal	0,1047
Producción de Agua	0,2583
Usos Consuntivos	0,637

Tabla 5.13 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 3. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

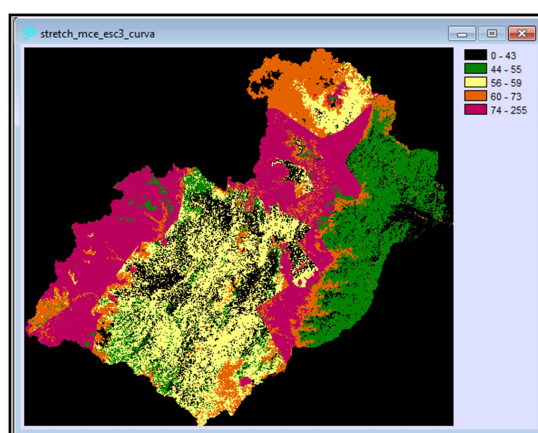


Fig. 5.6 Modelo Espacial Multicriterio 3. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

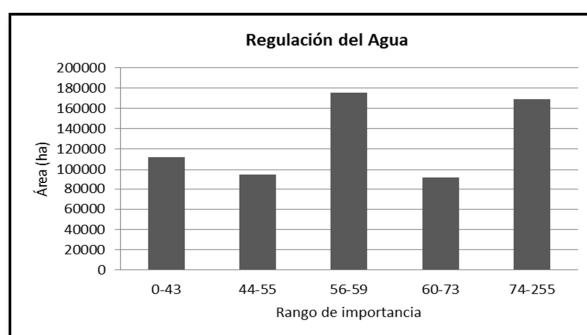


Gráfico 5.4 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2.4 Modelo Espacial 4: Conservación y protección del agua

El objetivo de este modelo es identificar las zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua y donde se tiene más utilización del recurso hídrico, con la finalidad de conservarlas. Los factores considerados para este modelo son:

- Regulación de agua
- Producción de agua
- Uso del Recurso Hídrico

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,02 se muestran a continuación.

FACTOR	Regulación del Agua	Producción de Agua	Usos Consuntivos	Usos no Consuntivos
Regulación del Agua	1			
Producción de Agua	1/3	1		
Usos Consuntivos	5	5	1	
Usos no Consuntivos	3	3	1/3	1

Tabla 5.14 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 4. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

FACTOR	Pesos
Regulación del Agua	0,1293
Producción de Agua	0,0736
Usos Consuntivos	0,5495
Usos no Consuntivos	0,2476

Tabla 5.15 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 4. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

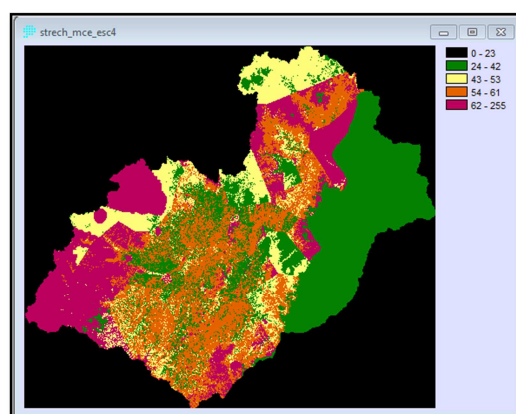


Fig. 5.7 Modelo Espacial Multicriterio 4. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

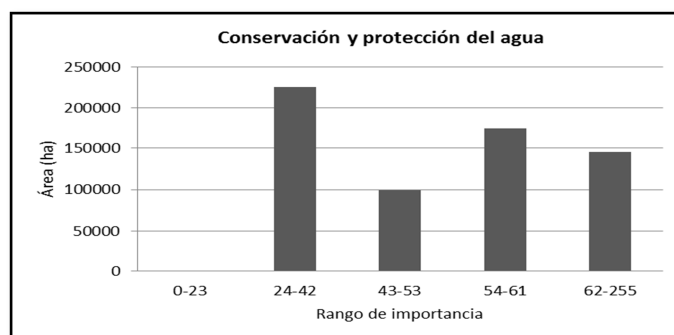


Gráfico 5.5 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2.5 Modelo Espacial 5: Vulnerabilidad a la contaminación del agua

Este modelo proviene del modelo espacial 1 tomando en cuenta solo los factores que se derivan de la naturaleza. Tiene el mismo objetivo de identificar las zonas para la conservación y protección del agua. Los factores considerados para este modelo son:

- Regulación de agua
- Producción de agua
- Protección del recurso hídrico

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,05 se muestran a continuación.

FACTOR	Regulación del Agua	Producción de Agua	Protección del Recurso Hídrico
Regulación del Agua	1,00		
Producción de Agua	0,33	1,00	
Protección del Recurso Hídrico	2,00	3,00	1,00

Tabla 5.16 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Factor	Pesos
Regulación del Agua	0,3325
Producción de Agua	0,1396
Protección del Recurso Hídrico	0,5278

Tabla 5.17 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

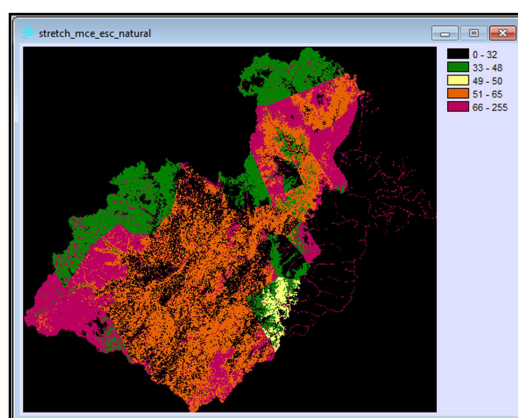


Fig. 5.8 Modelo Espacial Multicriterio 5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

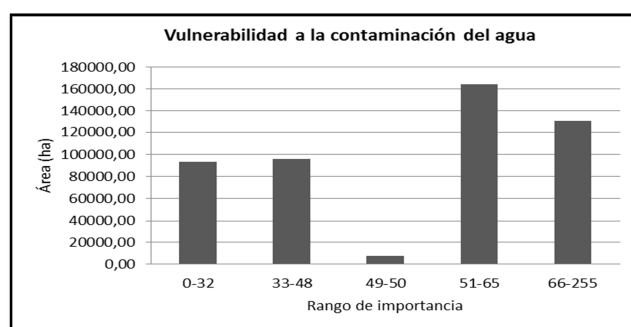


Gráfico 5.6 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2.6 Modelo Espacial 6: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua

Este modelo y el siguiente se enmarcan el objetivo principal: Protección, prevención y mitigación de zonas vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.), para conservar la cantidad y calidad del recurso hídrico.

El objetivo específico de este modelo es identificar zonas que contienen fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.) vulnerables a la contaminación del agua y zonas con un cierto grado de contaminación, de tal manera que se planifique realizar acciones de prevención, protección y mitigación de estas áreas.

Los factores considerados para este modelo son:

- Distancia de Fuentes Hídricas a cultivos
- Distancia de Cuerpos de agua a cultivos
- Distancia de Fuentes Hídricas a pastos
- Distancia de Cuerpos de agua a pastos
- Calidad de agua

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,05 se muestran a continuación.

FACTOR	Distancia de Cuerpos de agua a cultivos	Distancia de Fuentes Hídricas a cultivos	Distancia de Cuerpos de agua a pastos	Distancia de Fuentes Hídricas a pastos	Calidad de Agua
Distancia de Cuerpos de agua a cultivos	1				
Distancia de Fuentes Hídricas a cultivos	3	1			
Distancia de Cuerpos de agua a pastos	5	3	1		
Distancia de Fuentes Hídricas a pastos	7	5	3	1	
Calidad de Agua	9	7	5	3	1

Tabla 5.18 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 6. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Factor	Pesos
Distancia de Cuerpos de agua a cultivos	0,0333
Distancia de Fuentes Hídricas a cultivos	0,0634
Distancia de Cuerpos de agua a pastos	0,129
Distancia de Fuentes Hídricas a pastos	0,2615
Calidad de Agua	0,5128

Tabla 5.19 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 6. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

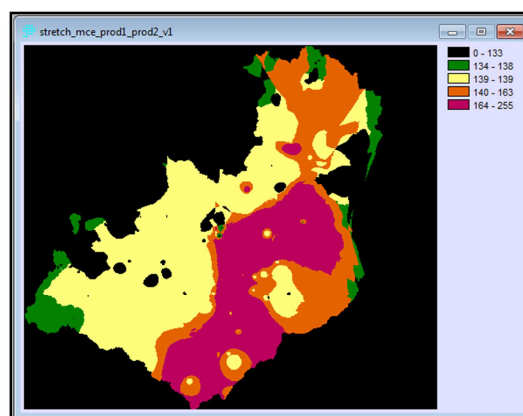


Fig. 5.9 Modelo Espacial Multicriterio 6. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

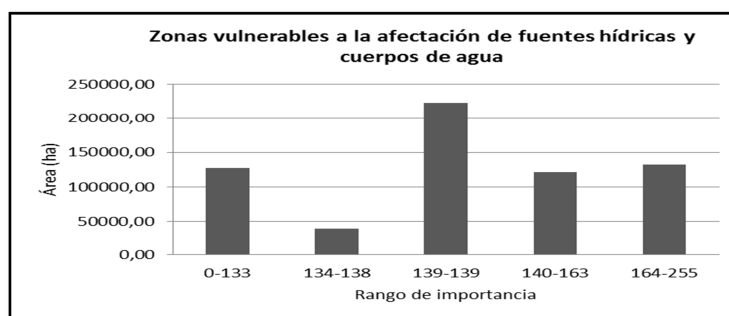


Gráfico 5.7 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.2.7 Modelo Espacial 7: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua por agentes antrópicos

El objetivo específico de este modelo es identificar zonas vulnerables a una afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.), que perjudiquen su cantidad y calidad del agua, de tal manera de realizar acciones de prevención y protección. Los factores considerados para este modelo son:

- Distancia de Fuentes Hídricas a centros poblados
- Distancia de Cuerpos de agua a centros poblados
- Distancia de Fuentes Hídricas a vías
- Distancia de Cuerpos de agua a vías

La matriz de Saaty construida y los pesos resultantes de cada factor con un radio de consistencia de 0,04 se muestran a continuación.

FACTOR	Distancia de Fuentes Hídricas a centros poblados	Distancia de Cuerpos de agua a centros poblados	Distancia de Fuentes Hídricas a vías	Distancia de Cuerpos de agua a vías
Distancia de Fuentes Hídricas a centros poblados	1			
Distancia de Cuerpos de agua a centros poblados	1/5	1		
Distancia de Fuentes Hídricas a vías	1/3	3	1	
Distancia de Cuerpos de agua a vías	1/7	1/3	1/5	1

Tabla 5.20 Matriz de Saaty del Modelo Espacial 7. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

FACTOR	Pesos
Distancia de Fuentes Hídricas a centros poblados	0,565
Distancia de Cuerpos de agua a centros poblados	0,1175
Distancia de Fuentes Hídricas a vías	0,2622
Distancia de Cuerpos de agua a vías	0,0553

Tabla 5.21 Pesos resultantes de cada factor del Modelo Espacial 7. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

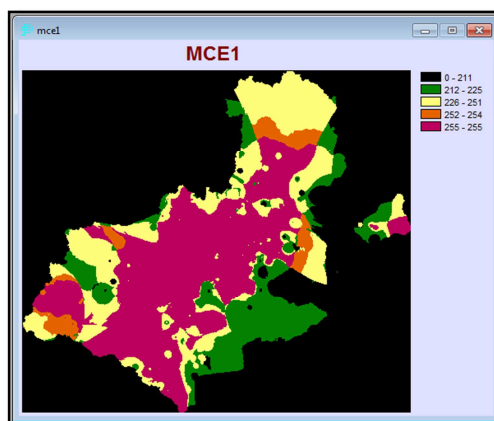


Fig. 5.10 Modelo Espacial Multicriterio 7. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

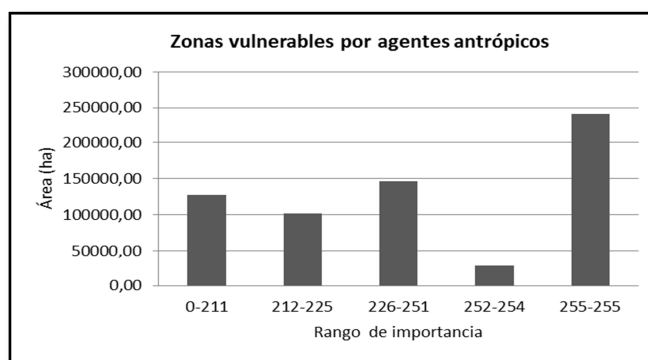


Gráfico 5.8 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.3.3 Componente Económico – Productivo

Para establecer las zonas aptas para la producción agropecuaria mediante la EMC, se ubicaron dentro de la matriz de Saaty los seis factores en el orden que muestra la tabla 5.3. Dentro de esta matriz se les asignó valores de manera descendente, siendo los más importantes los primeros factores listados; tomando en cuenta una cronología lógica para obtener un radio de consistencia de 0,04 (Eastman J. R., IDRISI Andes Tutorial, 2006).

c.r. 0.04	Pendientes	Cobertura Vegetal	Suelos	Uso consuntivo del agua	Centros Poblados	Vías
Pendientes	1					
Cobertura Vegetal	0.5	1				
Suelos	0.5	0.5	1			
Uso consuntivo del agua	0.2	0.5	1	1		
Centros Poblados	2	2	3	4	1	
Vías	2	2	3	4	3	1

Tabla 5.22 Matriz de Saaty valorada para el componente económico productivo (c.r). Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con el uso de esta matriz se pudo asignar los pesos de cada uno de los factores, para generar la EMC, siendo la distancia a los centros poblados y la distancia a las vías más del 50% del total, para obtener el mapa intermedio de importancia ambiental.

Factores	Pesos
Pendientes	0.1844
Cobertura vegetal	0.1218
Suelos	0.0757
Uso consuntivo del agua	0.0594
Centros Poblados	0.2256
Vías	0.3330

Tabla 5.23 Pesos asignados a los factores de importancia ambiental por la matriz de Saaty. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Con estos datos se pudo obtener las zonas de mayor importancia agropecuaria, que representa en la paleta los valores entre 206 y 255, en color magenta, con un total de 133949.75 Ha (20.8%) dentro del total de 644193 Ha que representa toda la CRP. Este 20.8% que representan las áreas con mayor aptitud agropecuaria, están repartidas por toda la CRP, siendo las zonas con menos pendientes, debido a que estas son las mejores productoras; siendo estas áreas donde se encuentran la mayoría de cultivos y pastos.

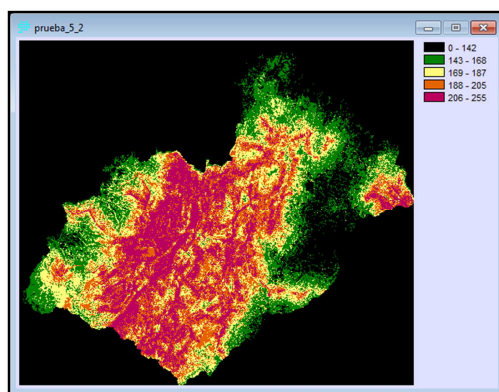


Fig. 5.11 Modelo económico-productivo clasificado por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

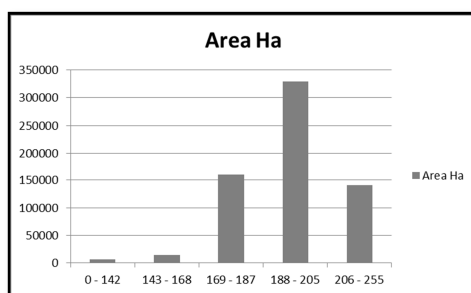


Gráfico 5.9 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Como proceso adicional dentro de este componente se realizó la introducción de limitaciones dentro del proceso EMC, con el fin de condicionar estas áreas de importancia agropecuaria y que estas no se encuentren dentro de parques nacionales y áreas de bosque y vegetación protectora; con estas limitaciones se aplicó la técnica de EMC, para obtener el modelo intermedio del componente económico-productivo con limitaciones, al cual posteriormente se le realizó un *autoscaling*.

Con este análisis se pudo obtener que las zonas de mayor importancia agropecuaria, que tienen 307822 pixeles (que representa en la paleta los valores entre 216 y 255, en color magenta), representando un total de 76955,5 Ha (11,9%) dentro del total de 644193 Ha que representa toda la CRP. Este 11,9% que representan las áreas con mayor aptitud agropecuaria, están repartidas por toda la CRP, siendo las zonas con menos pendientes, debido a que estas son las mejores productoras; siendo estas áreas donde se encuentran la mayoría de cultivos y pastos fuera de zonas de parques nacionales y áreas de bosque y vegetación protectora.

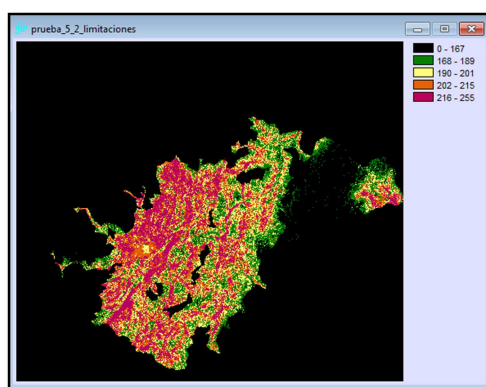


Fig. 5.12 Modelo económico - productivo clasificado por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

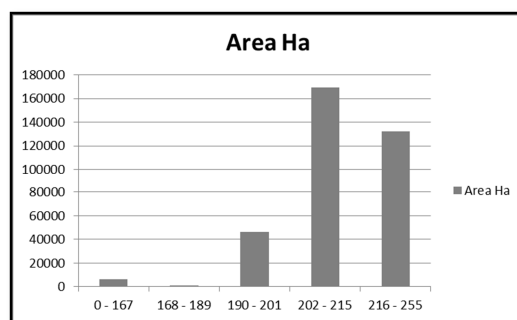


Gráfico 5.10 Área en hectáreas de los rangos asignados por *quantiles*. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.4 Homogenización de la Información

5.4.1 Componentes Ambiental, Disponibilidad del Agua y Económico – Productivo

A los modelos originales, se les aplicó un filtro de MODA con un tamaño de píxel de 5x5, que cambia los valores de todos los píxeles en una imagen, basándose en el valor original de cada píxel y en el de los píxeles vecinos (Figura 5.13 - Figura 5.21, Gráfico 5.11, Gráfico 5.12).

La naturaleza de esta operación está determinada por los valores almacenados en un molde o *kernel* de tamaño variable. El píxel y sus vecinos son multiplicados por los valores almacenados en las posiciones correspondientes del molde, y los valores resultantes se suman hasta llegar a un nuevo valor para el píxel central (Eastman J. R., IDRISI Andes Tutorial, 2006). Esto nos ayuda a limpiar los mapas y a obtener polígonos más concretos sin manchas de otros rangos dentro de los mismos; pero sin variar los modelos significativamente, como lo demuestra el test no paramétrico *U Mann-Whitney*; aunque el test de correlación de Pearson indica la relación entre las muestras no es muy significativa, lo que nos demuestra que si existe una variación, que es la requerida para eliminar “el ruido”, formar polígonos más precisos y presentar mapas lógicos (Siegel, 1956); existiendo una variación mínima en los rangos que asigna la clasificación por *quantiles*, menor que con lógica difusa.

Esta similitud entre los modelos con algunos cambios, se puede observar en las curvas con sus medias y desviaciones estándar, tanto para la importancia ambiental, vulnerabilidad de ecosistemas, disponibilidad del agua e importancia agropecuaria, que son muy similares (Figura 5.13 - Figura 5.21), pero obteniendo un aumento en las medias con una disminución de la desviación estándar en los modelos filtrados, lo que indica una menor dispersión de los datos, que es el objetivo para establecer áreas más definidas dentro de cada rango dado por los *quantiles*.

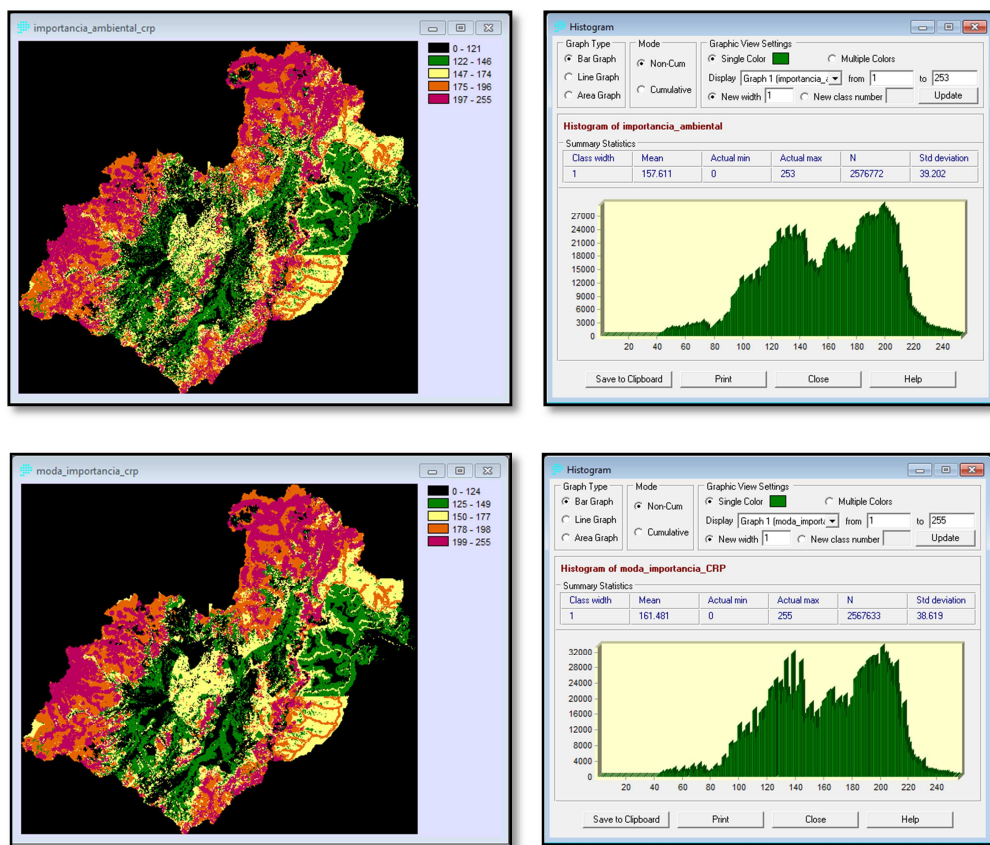


Fig. 5.13 Mapas del modelo de importancia ambiental original EMC y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

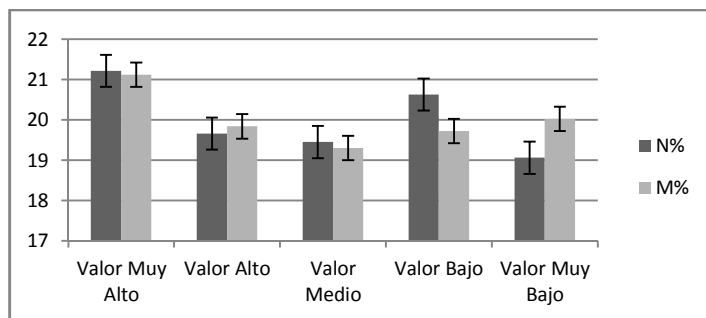


Gráfico 5.11 Comparación de la valoración en porcentajes de los rangos asignados por *quantiles* para la importancia, entre los modelos normal (N%) y MODA (M%).

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

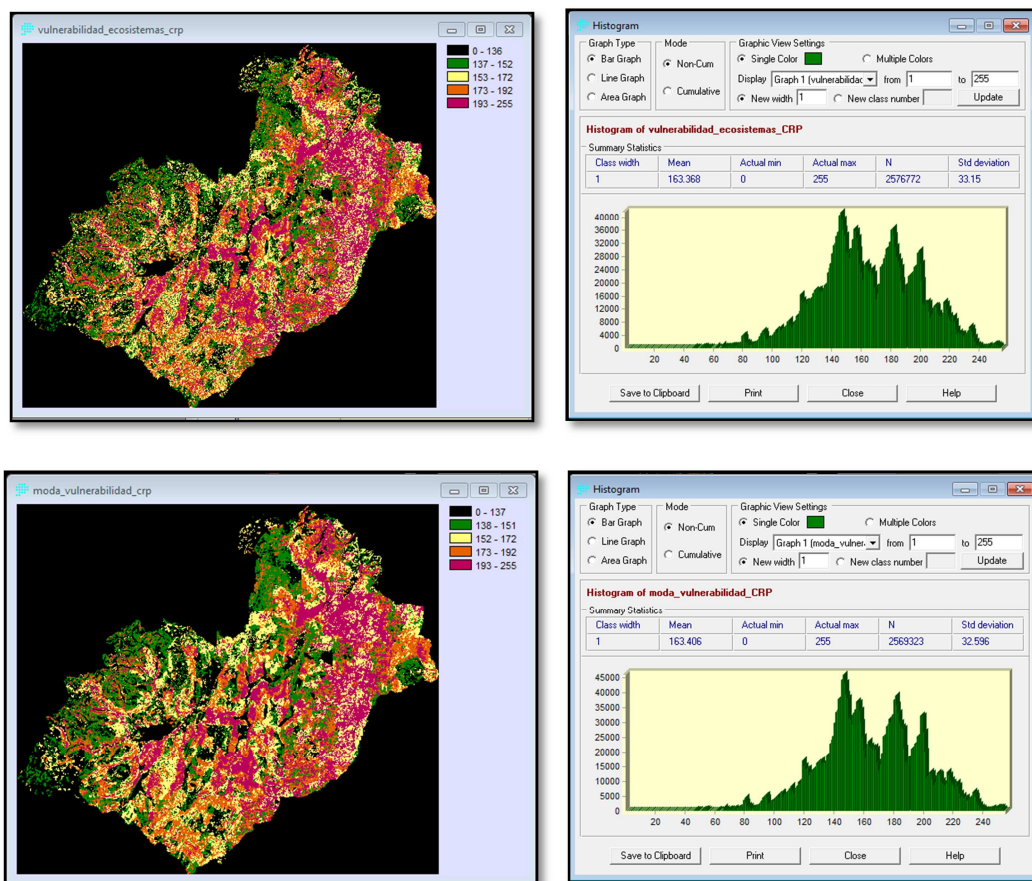


Fig. 5.14 Mapas del modelo de vulnerabilidad de ecosistemas original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

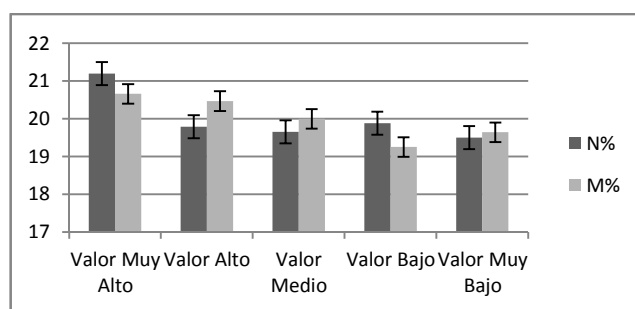


Grafico 5.12 Comparación de la valoración en porcentajes de los rangos asignados por *quantiles*, entre los modelos normal (N%) y MODA (M%) para el componente ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

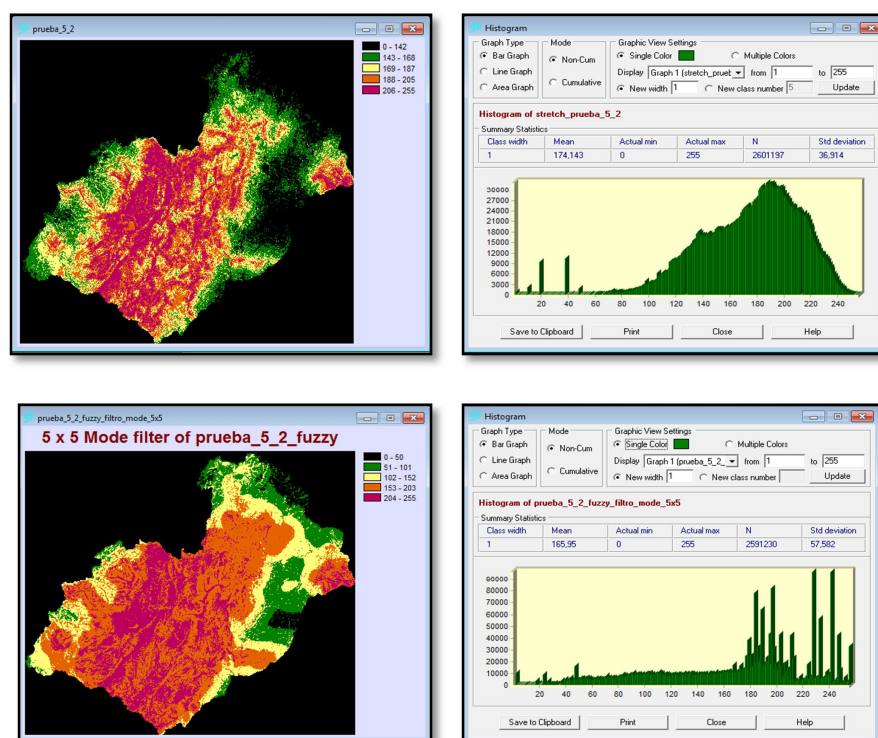


Fig. 5.15 Mapas del modelo de importancia agropecuaria original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

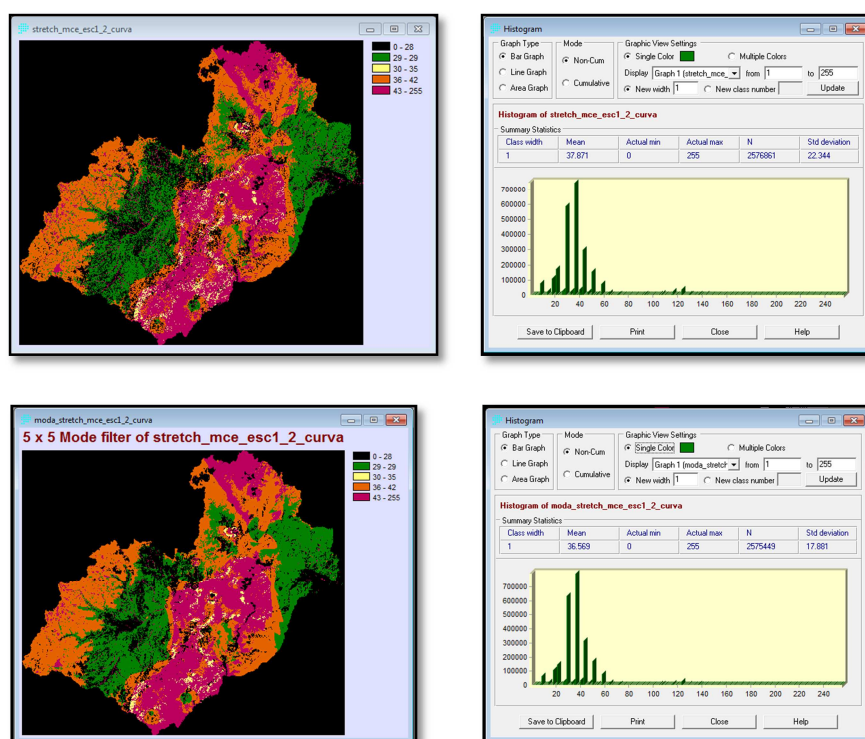


Fig. 5.16 Mapas Modelo Espacial 2: Conservación del Recurso hídrico original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

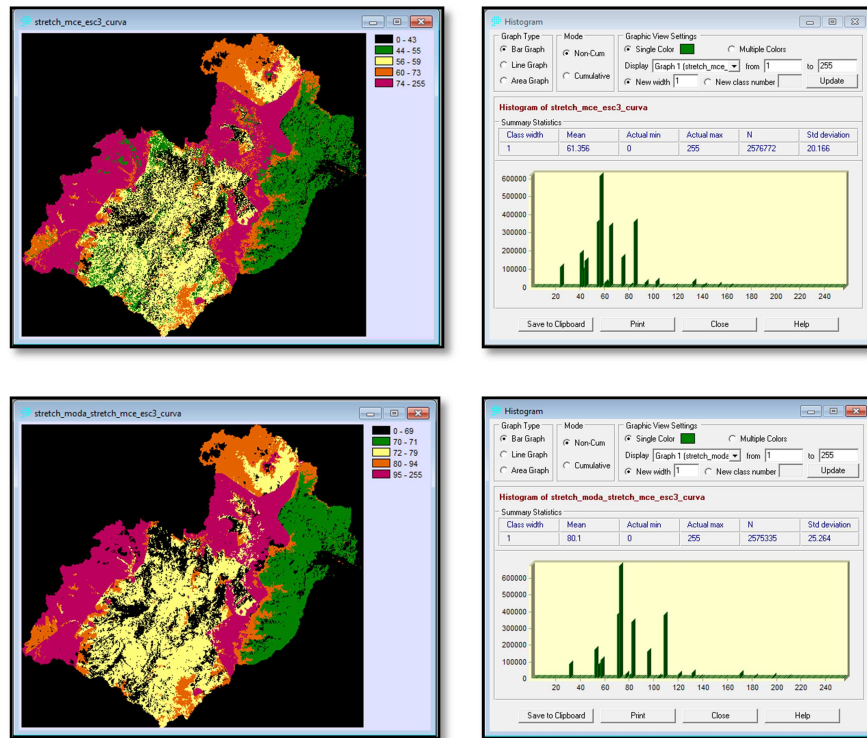


Fig. 5.17 Mapas del Modelo Espacial 3: Zonas con mejor regulación de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

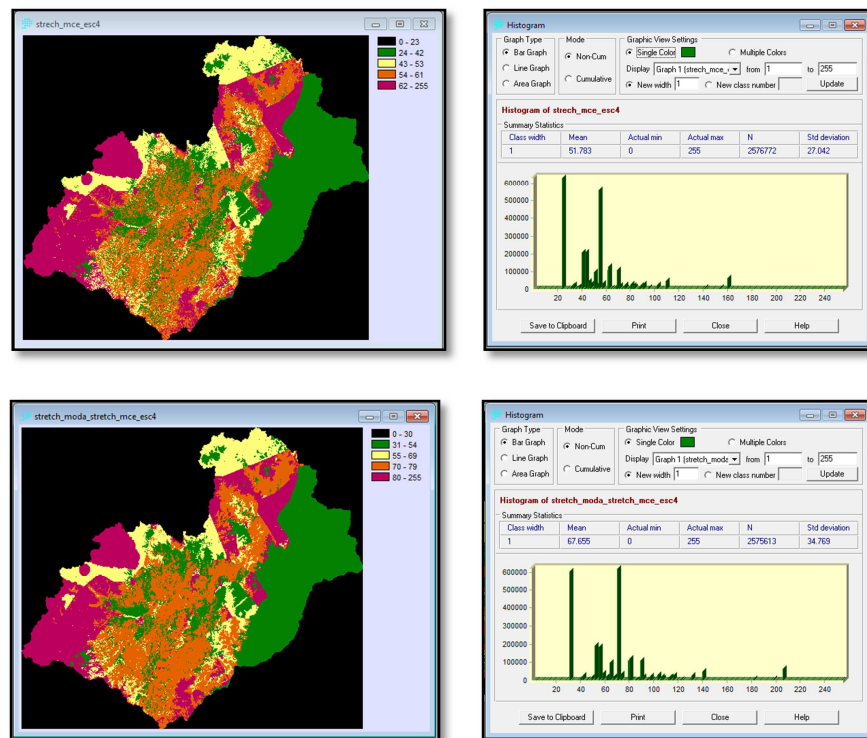


Fig. 5.18 Mapas del Modelo Espacial 4: Zonas con mejor regulación de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

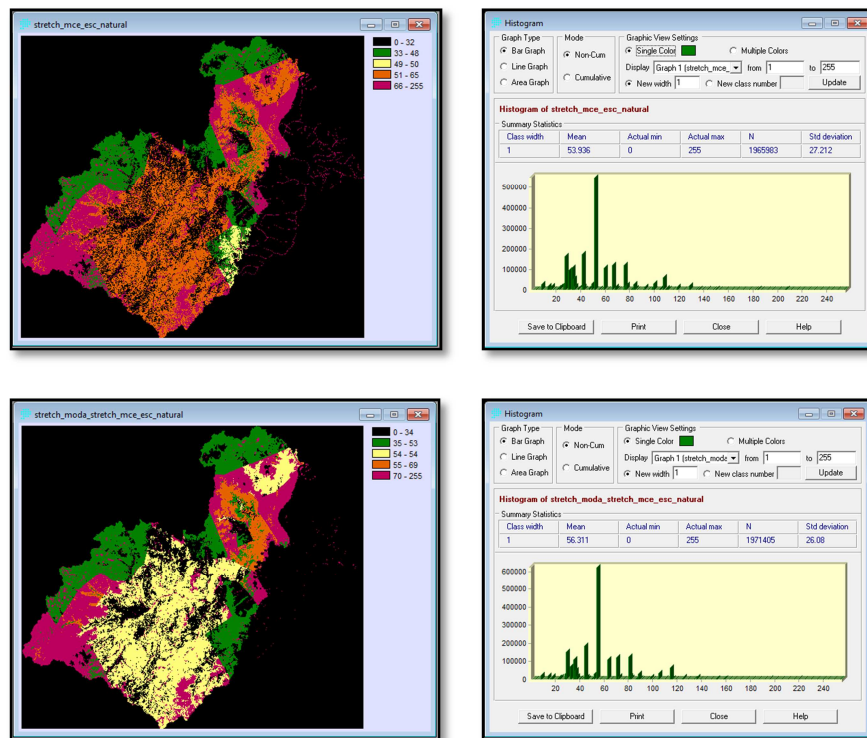


Fig. 5.19 Mapas del ME 5: Vulnerabilidad a la contaminación del agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

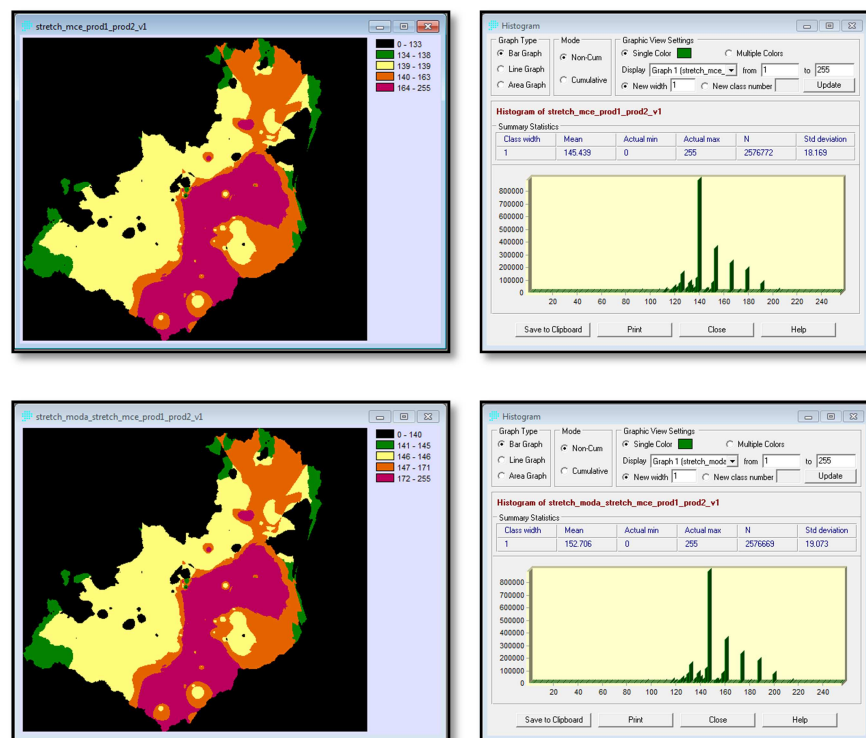


Fig. 5.20 Mapas del ME 6: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

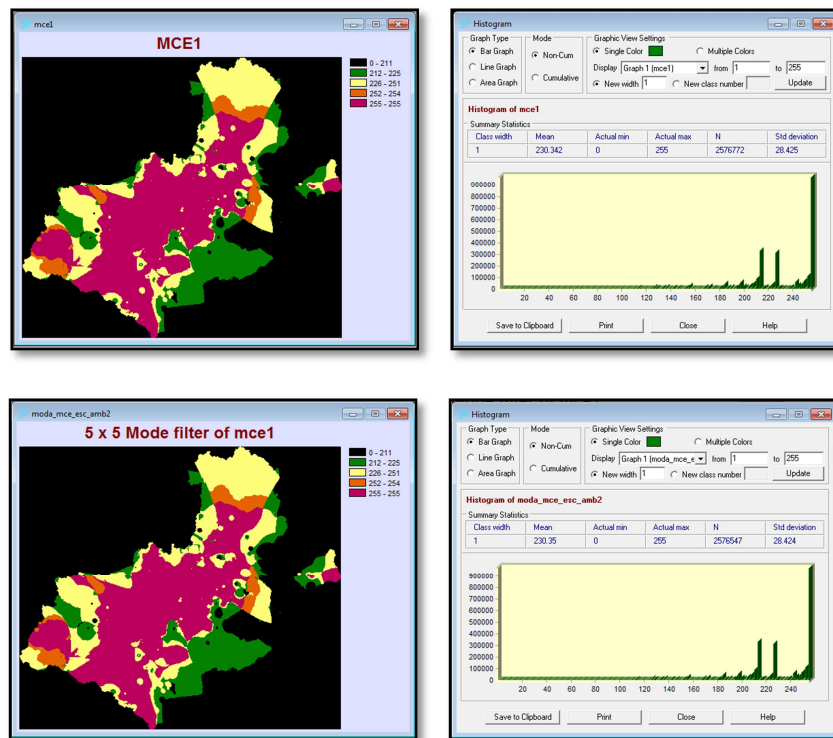


Fig. 5.21 Mapas del Modelo Espacial 7: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua por agentes antrópicos original y el procesado con el filtro MODA 5x5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los modelos finales auto escalados en cinco clases con la opción de *quantiles*, describen las unidades de integración por sus aspectos más relevantes; conocidas estas por lo tanto, se está en condiciones de estimar los méritos de asignación de un valor con que cuentan, esto según la valoración propuesta (Gómez Orea, 2007).

Finalmente, para la importancia ambiental, la vulnerabilidad de ecosistemas y la importancia agropecuaria se utilizaron los modelos filtrados, que son los más aptos para establecer las mejores áreas o polígonos y su categoría dentro de la cuenca. Obteniéndose para la importancia ambiental en los valores Muy Alto y Alto el 41% de la CRP (Tabla 5.24); para la vulnerabilidad los valores Muy Alto y Alto representan el 41.1% (Tabla 5.25); mientras que para la importancia agropecuaria los valores Muy Alto y Alto representan el 72.3% (Tabla 5.26).

Valoración	Importancia	Rangos	Píxeles	Área_ha	%
5	Valor Muy Alto	198 - 255	544114	136028.5	21.11610961
4	Valor Alto	178 - 198	511137	127784.25	19.83633011
3	Valor Medio	150 - 177	497335	124333.75	19.3006987
2	Valor Bajo	125 - 149	508211	127052.75	19.72277718
1	Valor Muy Bajo	0 - 124	515975	128993.75	20.0240844
TOTAL			2576772	644193	100

Tabla 5.24 Valoración final de las categorías de la importancia ambiental de la CRP.

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Valoración	Vulnerabilidad	Rangos	Píxeles	Área_ha	%
5	Valor Muy Alto	193 - 255	532270	133067.5	20.65646476
4	Valor Alto	173 - 192	527279	131819.75	20.4627728
3	Valor Medio	152 - 172	515168	128792	19.99276614
2	Valor Bajo	138 - 151	495974	123993.5	19.24788068
1	Valor Muy Bajo	0 - 137	506081	126520.25	19.64011562
TOTAL			2576772	644193	100

Tabla 5.25 Valoración final de las categorías de la vulnerabilidad de ecosistemas de la CRP. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Valoración	Importancia Agropecuaria	Píxeles	Área_ha	%
5	Valor Muy Alto	562353	140588.25	21.62
4	Valor Alto	1318315	329578.75	50.68
3	Valor Medio	640057	160014.25	24.61
2	Valor Bajo	55769	13942.25	2.14
1	Valor Muy Bajo	24693	6173.25	0.95
TOTAL		2601187	650296.75	100.00

Tabla 5.26 Valoración final de las categorías de la importancia agropecuaria de la CRP. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.5 Análisis de sensibilidad (AS)

El análisis de sensibilidad permite verificar la estabilidad del modelo desarrollado, examinando la transición que se produce en los resultados cuando se realizan variaciones sistemáticas en un rango de interés sobre uno o varios parámetros de entrada (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005). “Determinando la robustez de los resultados, midiendo la variación del modelo con cada uno de los factores modificados y el resultado del modelo original, y pretendiendo comprobar si la incidencia de las diferencias resultantes a nivel de factor, se propaga de manera lineal en los resultados intermedios y finales del modelo.” (Orán Cáceres, Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010).

“Por lo tanto, un análisis conjunto para dos o más variables, es básico en la búsqueda del tipo y grado de la relación que pueda existir entre ellas.” (Guarin Salazar, 2002).

5.5.1 Componente Ambiental

El coeficiente de correlación de Pearson, que obtiene la covarianza de las variables comparadas, estandarizadas por la desviación estándar o la covarianza calculada sobre los datos normalizados; y el test de Friedman, que determina si todos los tratamientos dan el mismo resultado o si por lo menos un tratamiento difiere de los demás (Addinsoft, 2004); nos indican que la diferencia entre las muestras no es significativa, para la importancia ambiental y la vulnerabilidad de ecosistemas. Esto permitió escoger los cuatro factores más fáciles de variar, entendiendo que todas las alternativas tienen similar peso al igualar todos los factores de entrada, eliminando la comparación subjetiva para la construcción de los modelos.

Para la importancia ambiental, se usó el factor cobertura del suelo, que originalmente fue valorada de acuerdo al número de curva (Chow, 1994), obteniendo la media aritmética y asignando este valor a todo el mapa. Además, se modificó la distancia a fuentes de agua eliminando del factor original las ciénagas, humedales y lagunas, para dejar la distancia a quebradas y ríos.

Para la vulnerabilidad de ecosistemas se varió las pendientes, cambiando los valores originales para todo el rango (0 y 255) y asignándoles valores más altos (entre 180 y 255). Además, se varió la distancia a vías principales y secundarias; eliminando las vías secundarias y obteniendo la distancia a las vías principales.

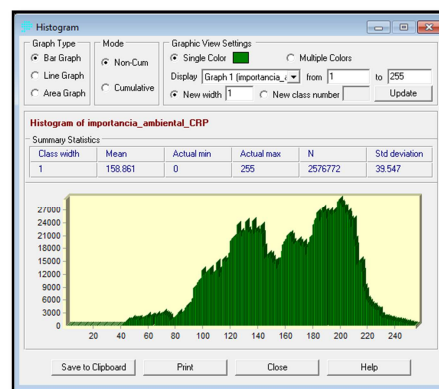
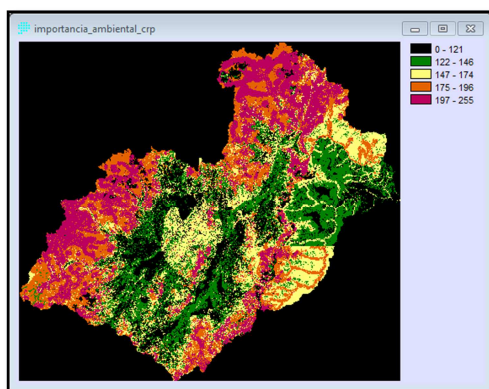
Tratándose de un modelo espacial, resulta interesante realizar un análisis que permita comprobar dónde se acumulan las mayores diferencias; es decir, qué lugares del territorio objeto de estudio son más sensibles a las modificaciones planteadas en este análisis y si el efecto permanece constante a lo largo de las siguientes fases de ejecución del modelo (Orán Cáceres, Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010). En la figura 5.23, se puede observar que no existe gran variación entre el mapa original y los mapas a los que se les varió un factor a la vez; siendo la variación a la distancia a cuerpos de agua la que presenta mayor similitud con el modelo original, lo que se puede notar claramente en los histogramas, con medias casi idénticas (158.9 y 159.2 respectivamente); mientras que al variar la cobertura se puede notar mayor diferencia en la curva, con una media mayor a la original (171.9) y una desviación estándar

menor a la original (29.9), lo que tiende a ser lógico al igualar toda la cobertura a 155, siendo el factor que más pesa en el modelo (35%).

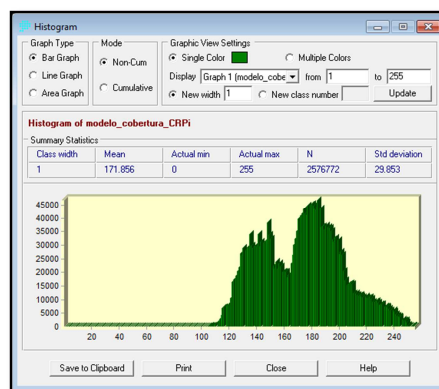
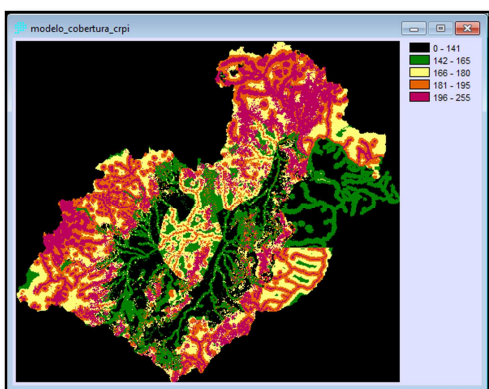
La figura 5.24, nos muestra que la modificación introducida no es notable, pues la mayor concentración de frecuencias se da en los valores más bajos; aunque algo menos claro, en la cobertura de suelo, pero igual predominando los valores bajos (Orán Cáceres, Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010).

Esto se sustenta al obtener un índice S, que resulta de calcular el valor absoluto de la diferencia media por píxel entre los dos mapas (original y variado). Mientras menor sea el índice S significa que no existe una variación considerable en los resultados cuando se cambia el factor, o sea que el modelo no es sensible por este factor, mientras que cuando el índice S tiene un valor alto, significa que el modelo es mucho más sensible por el factor cambiado.

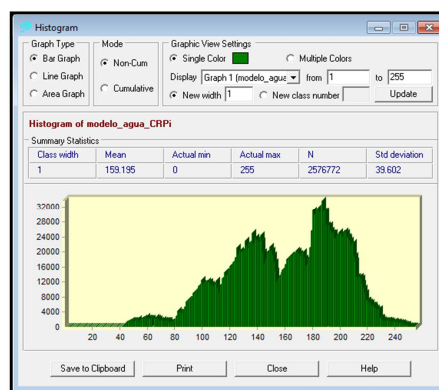
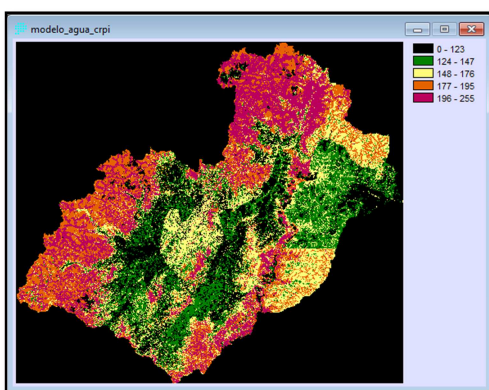
El índice S nos indica un mayor valor al variar la cobertura (18.4); mientras que al modificar la distancia a los cuerpos de agua se obtiene un valor significativamente menor (10.1).



A

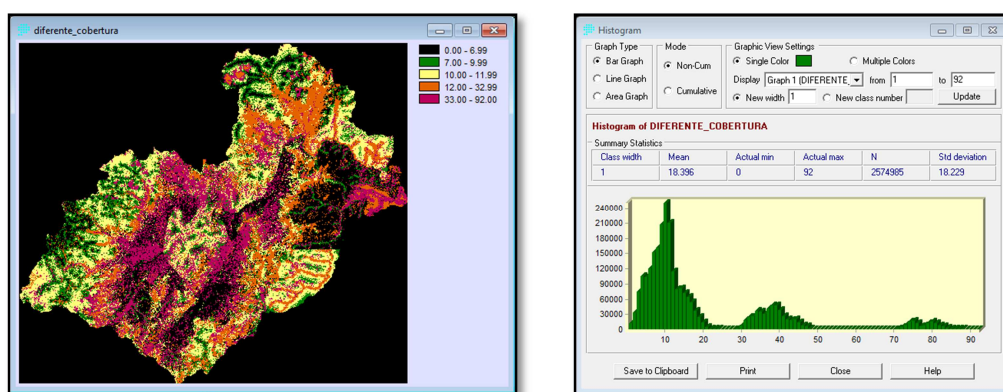


B

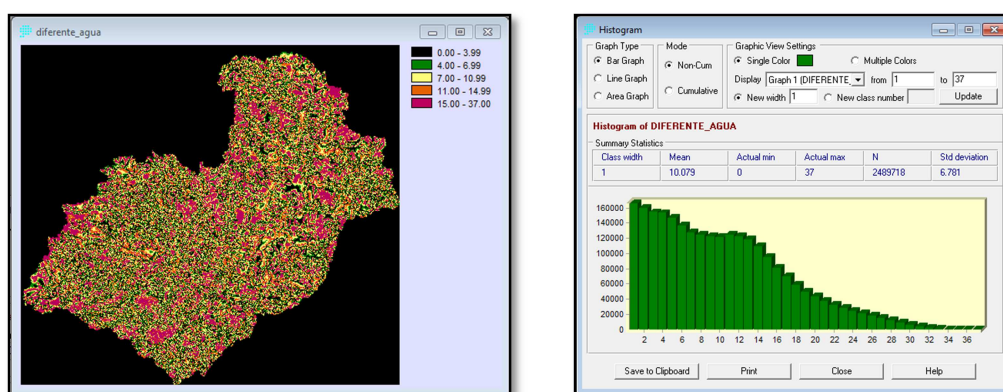


C

Fig. 5.22 Mapas de importancia ambiental a) mapa original, b) mapa modificado la cobertura, c) mapa modificado la distancia a cuerpos de agua. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).



A



B

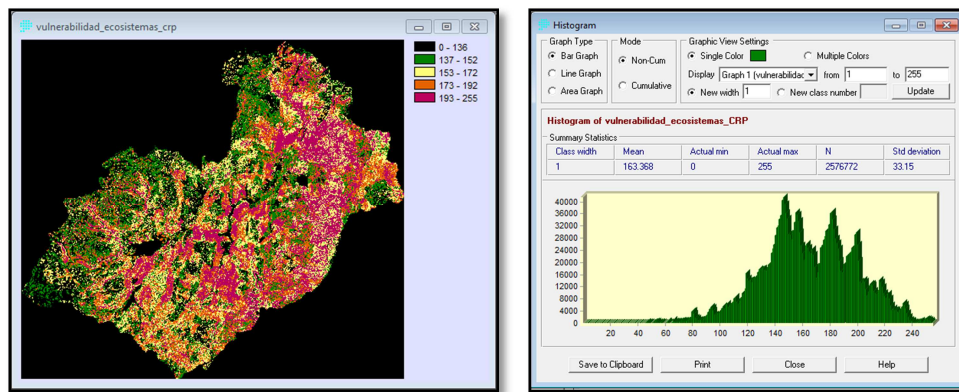
Fig. 5.23 Resta de mapas a) resta entre el mapa original y el mapa con la cobertura variada, b) resta entre el mapa original y el mapa de distancia a cuerpos de agua variada. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Por otro lado, para la vulnerabilidad de ecosistemas en la figura 5.25 se puede notar que no existe una gran variación entre el mapa original y los mapas a los que se les varió un factor a la vez, siendo la variación de la distancia a vías, la que presenta mayor similitud con el modelo original, lo que se puede notar claramente en los histogramas, con medias casi idénticas (163.4 y 162.9 respectivamente); mientras que al variar la pendiente, se puede notar mayor diferencia en las curvas, con una media mayor a la original (198.5) y una baja desviación estándar (24.8), lo que tiende a ser lógico al disminuir el rango de las pendientes, con valores mayores a 180.

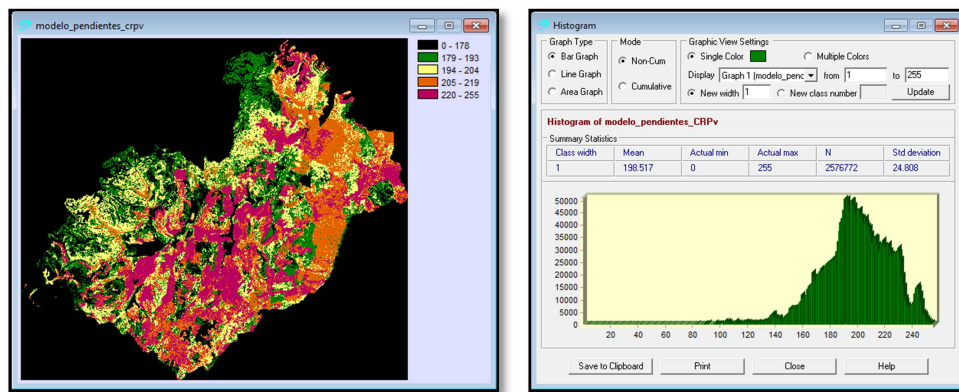
Además, si observamos la figura 5.26, la conclusión a la que podemos llegar es que, en general, el impacto de la modificación introducida no es muy notable, pues la mayor concentración de frecuencias se da en los valores más bajos (Orán Cáceres,

Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010); aunque algo menos claro, en la pendiente, pero igual predominando los valores bajos. Esto se sustenta aún más al obtener el índice S que nos indica un mayor valor al variar la pendiente (38); mientras que al variar la distancia a las vías se obtiene un valor S mucho menor (2.4). Pudiéndose observar una diferencia entre variantes muy amplia, mucho mayor que para el caso de la importancia ambiental.

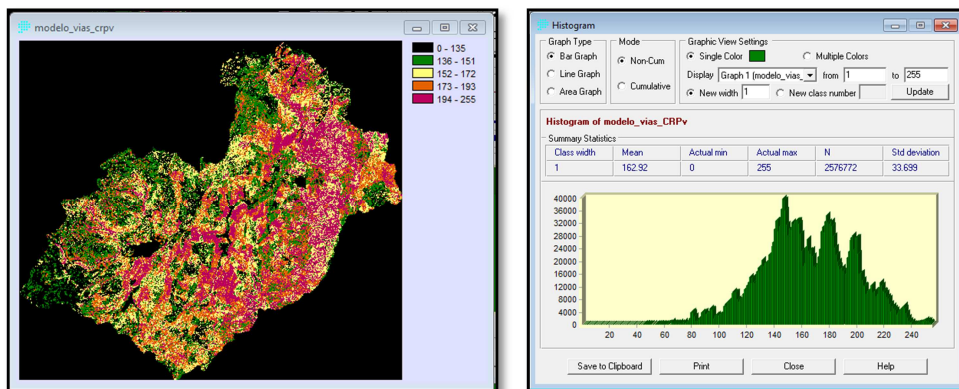
Con todo esto, se puede decir que los análisis realizados en este caso muestran que los resultados de los modelos de importancia ambiental y vulnerabilidad de ecosistemas son bastante robustos. A pesar de que en algunos casos las variaciones en la modelación de algunas variables son algo importantes, las repercusiones en los resultados intermedios y finales no han sido relevantes. Así, los factores distancia a cuerpos de agua y a vías, han mostrado un comportamiento estable en comparación a los otros factores analizados, mostrando valores bajos de índice S y registrando menores cambios en los intervalos más altos, a pesar de tener una significativa diferencia de peso dentro de sus modelos (24% y 10% respectivamente). Mientras que la cobertura del suelo y las pendientes que tienen los pesos más altos dentro de sus modelos (35% y 42% respectivamente) muestran curvas menos estables, con varios picos y sin el descenso normal que presentan las otras curvas.



A

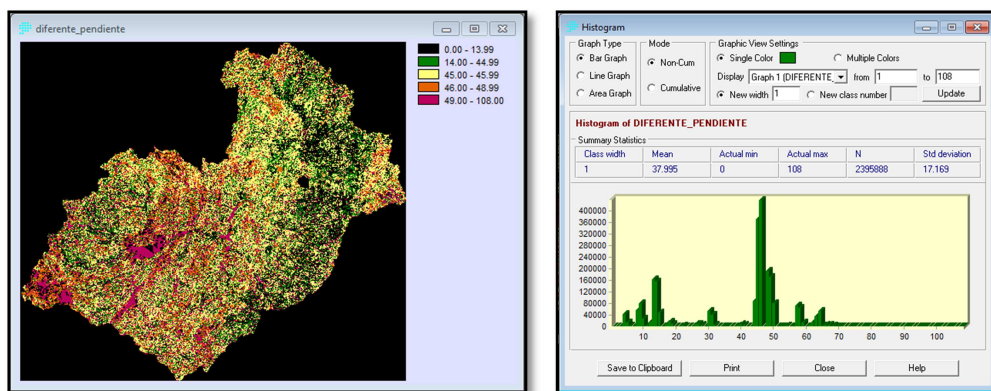


B

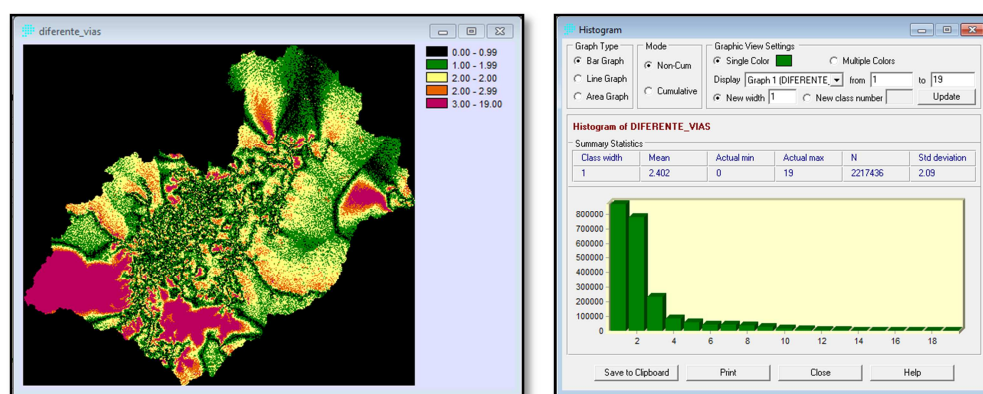


C

Fig. 5.24 Mapas de vulnerabilidad de ecosistemas a) mapa original, b) mapa modificado la pendiente, c) mapa modificado la distancia a vías. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).



A



B

Fig. 5.25 Resta de mapas a) resta entre el mapa original y el mapa con la pendiente variada, b) resta entre el mapa original y el mapa de distancia a vías variada. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.5.2 Componente Disponibilidad del Agua

Se efectuó un análisis de sensibilidad para determinar la variación de los resultados de cada modelo cuando se realizan cambios en los factores constituyentes de los mismos. Para esto se escogió dos factores por cada modelo. Hay que hacer notar que la variación de cada factor se realizó manteniendo constantes los otros factores en su estado original.

La variación se midió en base al índice S, una vez que se varían los dos factores se verifica que factor es más sensible en la reproducción de resultados para considerarlo relevante en el modelo, además de poner más énfasis en la recopilación de información detallada futura que se utilizará para la construcción del factor.

5.5.2.1 Modelo Espacial 2: Conservación del Recurso hídrico

Se cambiaron los factores de mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- I. En el factor de protección del recurso hídrico se consideró que las fuentes hídricas y los cuerpos de agua tengan la misma prioridad, esto es que todos estos atributos tengan la misma valoración de 255.

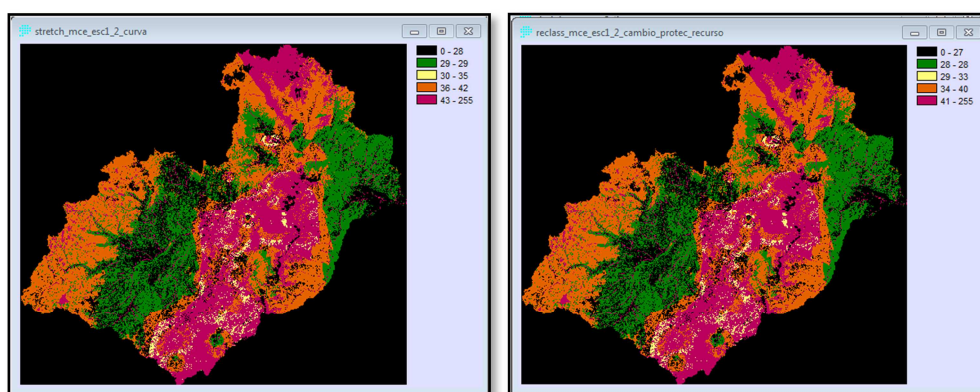


Fig. 5.26 Modelo Espacial Multicriterio 2 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Se puede observar que los mapas anteriores no muestran mayor diferenciación cuando se realiza una variación en el factor de protección del recurso hídrico, por lo tanto no se consideraría relevante en la modelación. Hay que hacer notar, que a pesar de ser mapas tan similares, la valoración de las categorías cambia cuando se modifica el factor.

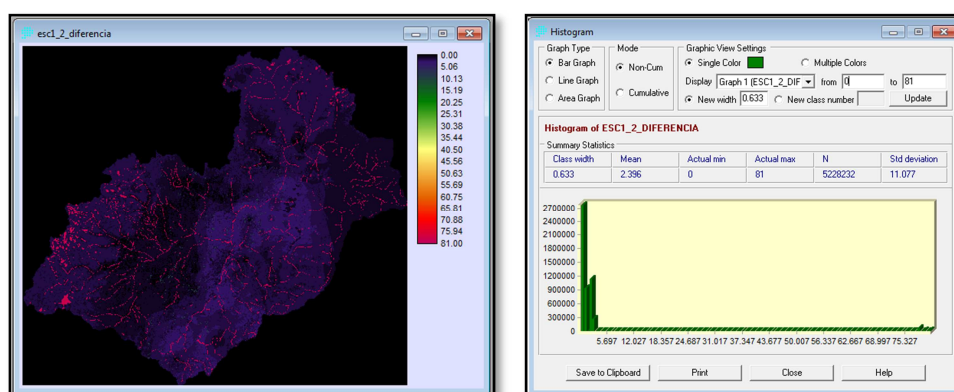


Fig. 5.27 Diferencia entre el Modelo Original y Modelo Variado – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa anterior es el resultado de la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 81. El índice S resultó igual a 2.396.

- II. El factor de calidad de agua se tomó una media de los valores de coliformes fecales en toda la cuenca.

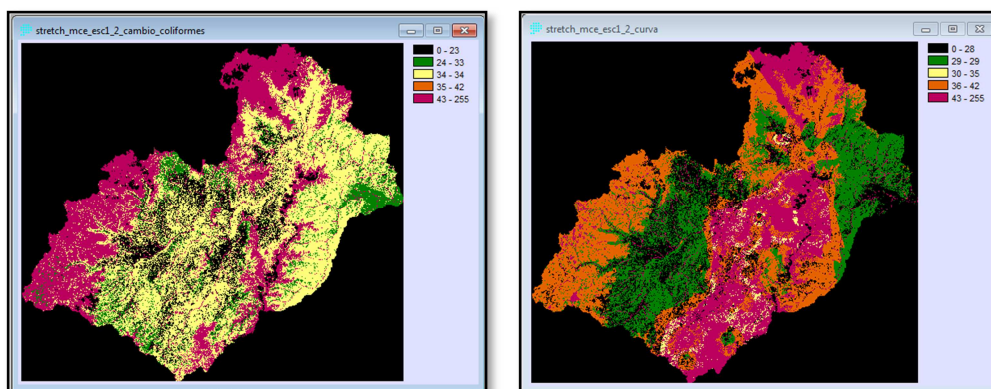


Fig. 5.28 Modelo Espacial Multicriterio 2 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Se puede observar que los mapas anteriores se diferencian notoriamente cuando se realiza una variación en el factor de calidad de agua, por lo tanto es un factor relevante en la modelación.

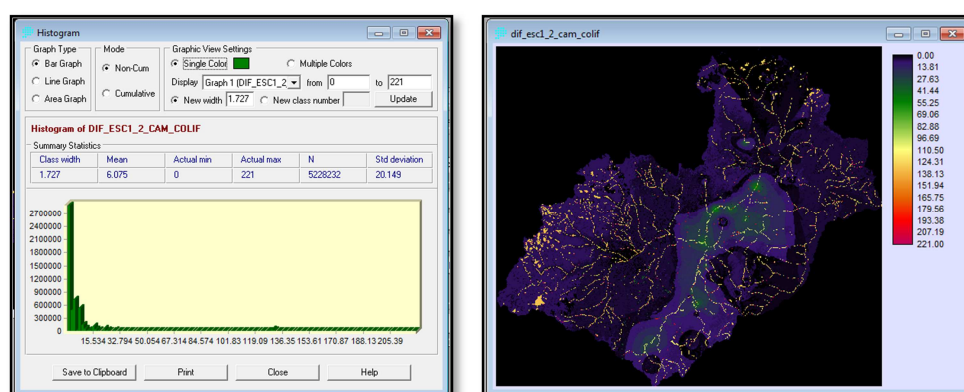


Fig. 5.29 Diferencia entre el Modelo Original 2 y Modelo Variado 2 – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa anterior es el resultado de la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 221. El índice S resultó igual a 6.075.

Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de calidad de agua es más sensible que el factor de protección del recurso hídrico, como podemos observar en la valoración del índice S, es mayor en el factor de calidad de agua; estos resultados eran de esperarse, dado que el factor de calidad de agua es el que tiene más peso en el modelo. Por lo tanto, este factor relevante para el modelo, debería ser actualizado constantemente, ampliando su información y realizando un control de calidad de la misma, para que los resultados del modelo construido sean más fiables.

5.5.2.2 Modelo Espacial 3: Zonas con mejor regulación de agua

Se cambiaron los factores de menor y mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- I. En el factor de cobertura vegetal se realizó una media de sus valores en toda la cuenca.

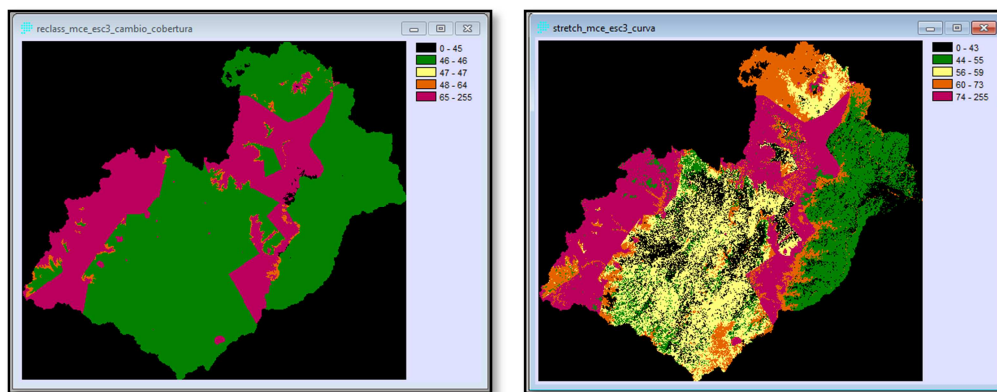


Fig. 5.30 Modelo Espacial Multicriterio 3 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los dos mapas anteriores muestran una diferencia considerable cuando se cambia el factor de cobertura vegetal, hay que hacer notar que este factor es el de menor jerarquía en la matriz de Saaty; sin embargo, el mapa variado presenta cambios en las categorías de menor prioridad.

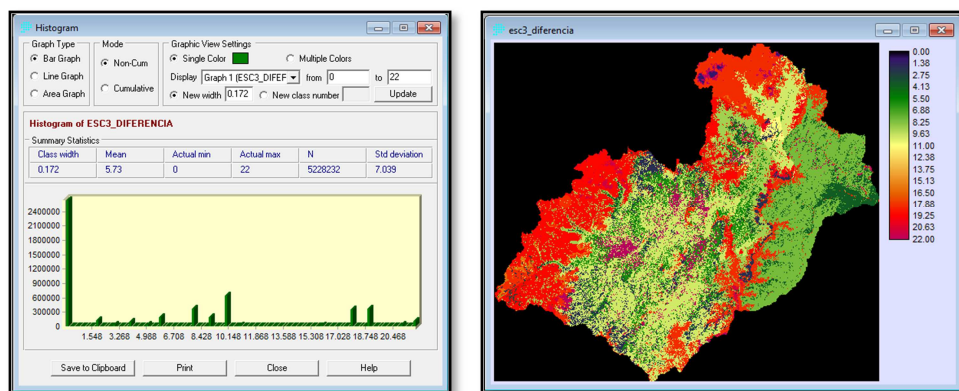


Fig. 5.31 Diferencia entre el Modelo Original 3 y Modelo Variado 3 – Factor I.

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 22. El índice S resultó igual a 5.73.

II. En el factor usos consuntivos se realizó una media de sus valores en toda la cuenca.

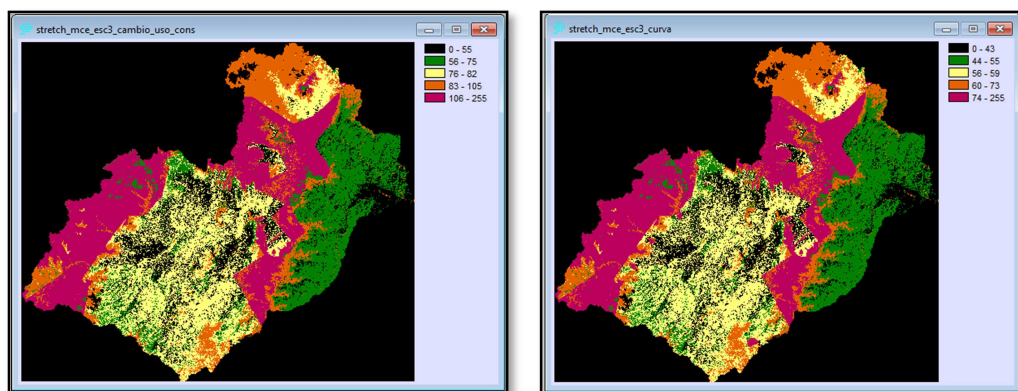


Fig. 5.32 Modelo Espacial Multicriterio 3 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

No hay una diferencia notoria en los dos mapas anteriores; sin embargo, la valoración de las 5 categorías o rangos cambian medianamente, por ejemplo en el último rango cambia de 74-255 a 106-255. No obstante a continuación se calculará la diferencia de estos mapas y el índice S para obtener un mejor detalle de la variación.

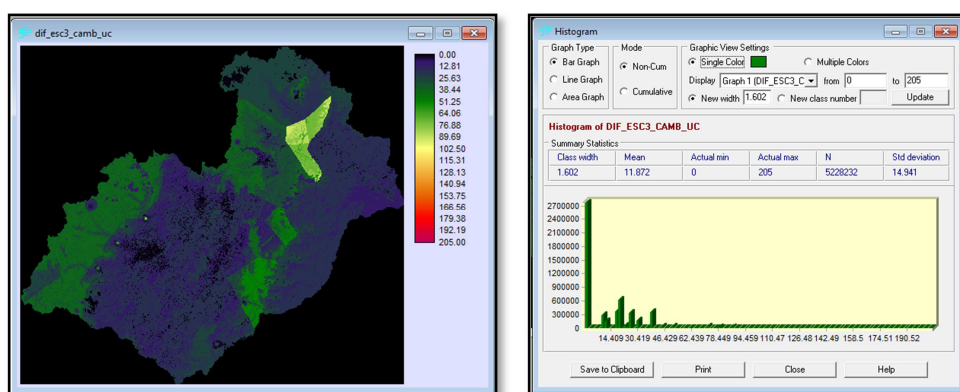


Fig. 5.33 Diferencia entre el Modelo Original 3 y Modelo Variado 3 – Factor II.

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 205. El índice S resultó igual a 11.872. Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de usos consuntivos es más sensible que el factor de cobertura vegetal, dado que la valoración del índice S es mayor en el factor de usos consuntivos. Por lo tanto este factor debería ser considerado relevante para el modelo y debería ampliarse y actualizarse la información que se utilizó para la construcción del factor, así los resultados de la modelización será más fiable.

Por otro lado una simple observación de los mapas puede indicar que no existe variación, no obstante la valoración de los rangos pueden cambiar considerablemente como sucedió en la figura 5.30.

5.5.2.3 Modelo Espacial 4: Conservación y protección del agua

Se cambiaron los factores de mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

I. En el factor de usos no consuntivos se realizó una media de sus valores en toda la cuenca.

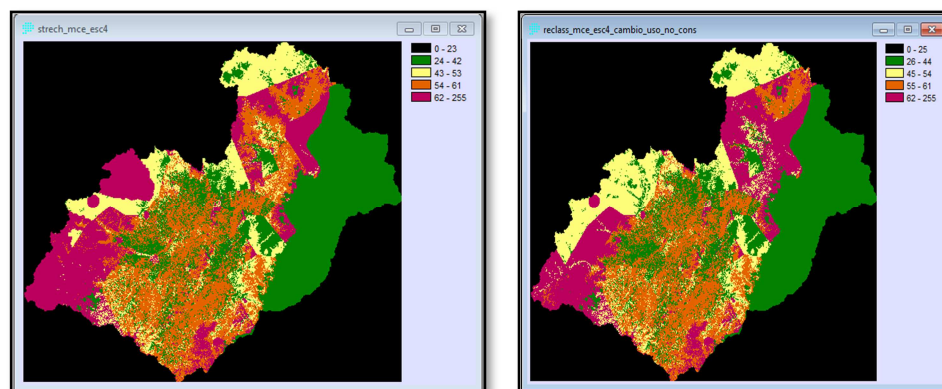


Fig. 5.34 Modelo Espacial Multicriterio 4 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

No existe mayor variación si comparamos los dos mapas anteriores, en alguna medida se presentan cambios espaciales en la categoría superior, pero las demás categorías desde el punto de vista espacial no presentan mayores diferencias. También podemos notar que las valoraciones de las categorías o rangos no varían sustancialmente.

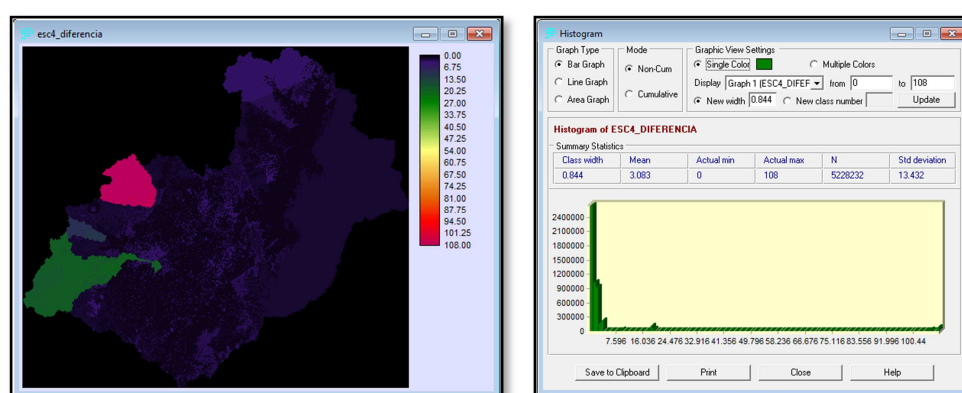


Fig. 5.35 Diferencia entre el Modelo Original 4 y Modelo Variado 4 – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 108. El índice S resultó igual a 3.083.

II. En el factor usos consuntivos se realizó una media de sus valores en toda la cuenca.

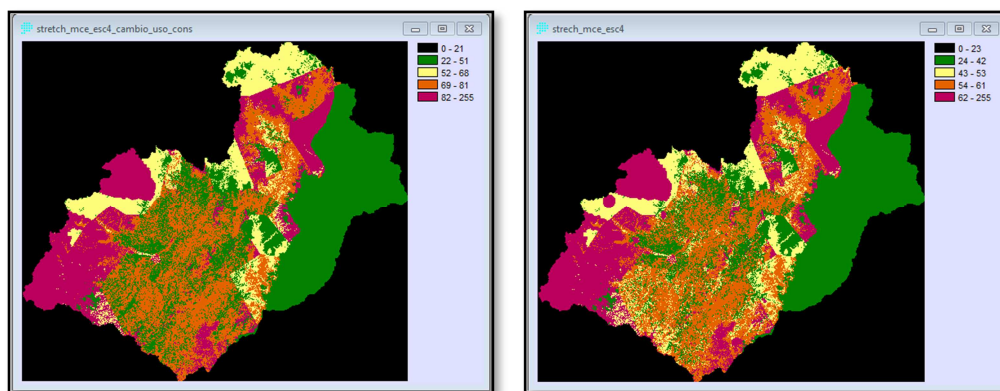


Fig. 5.36 Modelo Espacial Multicriterio 4 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Observando los mapas no existe una variación espacial sustancial; sin embargo, se encuentra un cambio de los valores de las categorías o rangos. Se estima el índice S para cuantificar el cambio.

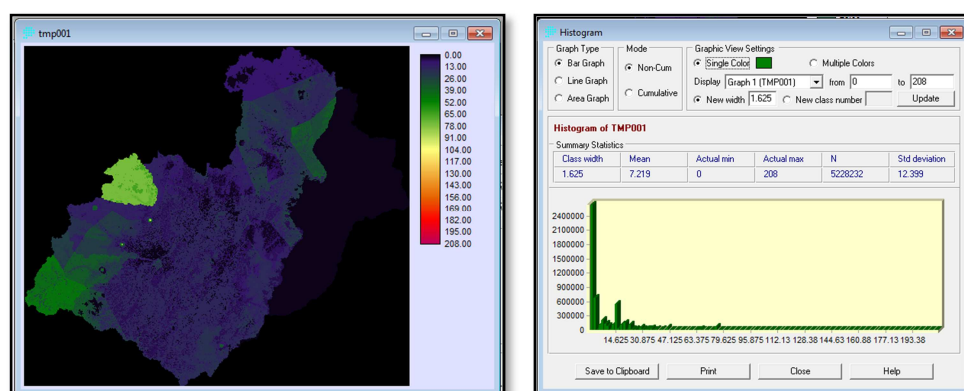


Fig. 5.37 Diferencia entre el Modelo Original 4 y Modelo Variado 4 – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 208. El índice S resultó igual a 7.219. Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de usos consuntivos es más sensible que el factor de usos no consuntivos, dado que la valoración del índice S es mayor en el factor de usos consuntivos. Por lo tanto este factor debería ser considerado relevante para el modelo y debería ampliarse y actualizarse la información que se utilizó para la construcción del factor, así los resultados de la modelización será más fiable.

5.5.2.4 Modelo Espacial 5: Vulnerabilidad a la contaminación del agua

Se cambiaron los factores de mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- I. En el factor de regulación de agua se realizó una media de sus valores en toda la cuenca.

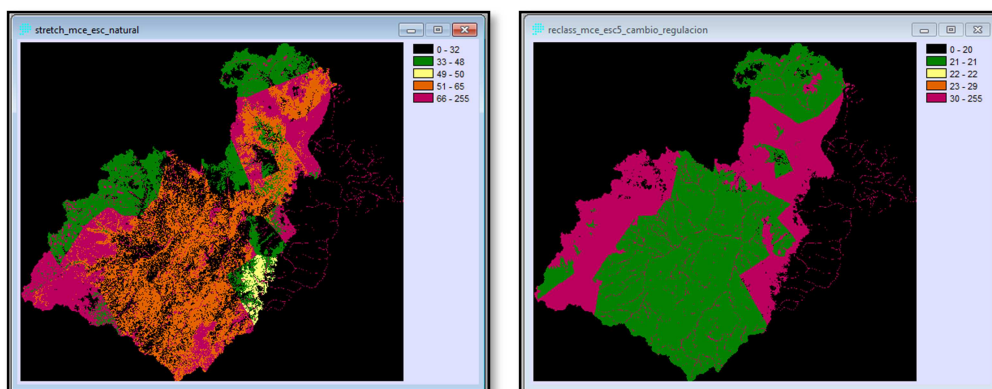


Fig. 5.38 Modelo Espacial Multicriterio 5 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los dos mapas muestran una variación en todas las categorías, por lo tanto este factor puede considerarse relevante para el modelo, no obstante se calculó el índice S para compararlo con la variación resultante del factor II.

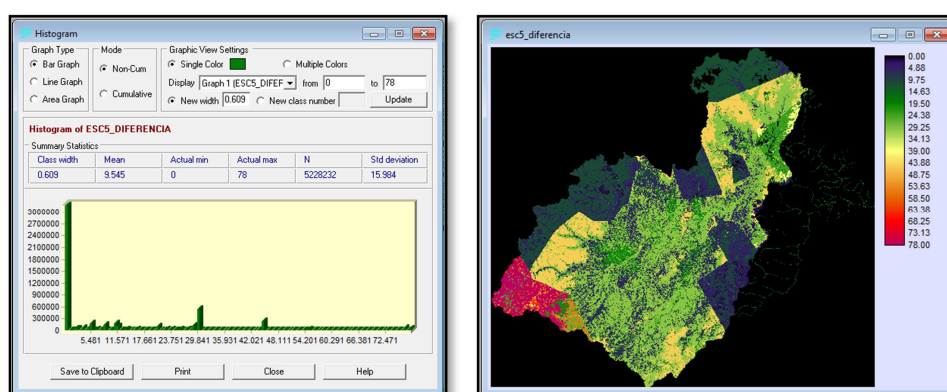


Fig. 5.39 Diferencia entre el Modelo Original 5 y Modelo Variado 5 – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 78. El índice S resultó igual a 9.545.

- II. El factor de protección del recurso hídrico se consideró que las fuentes hídricas y los cuerpos de agua tengan la misma prioridad, esto es que todos estos atributos tengan la misma valoración de 255.

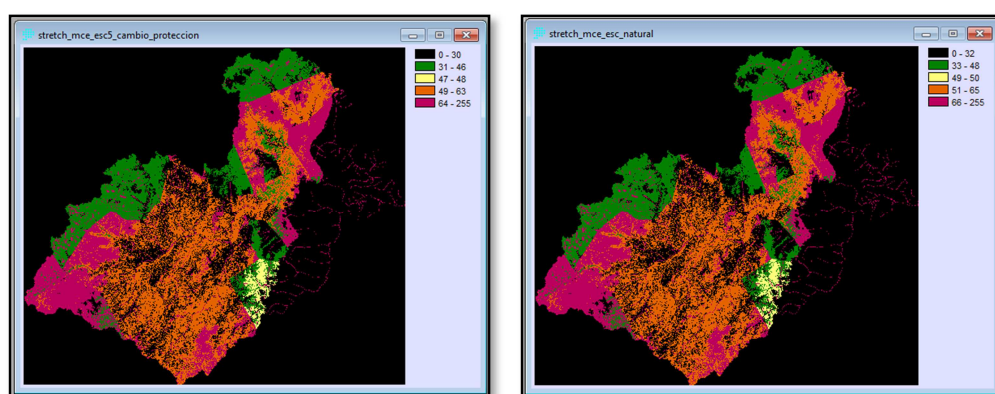


Fig. 5.40 Modelo Espacial Multicriterio 5 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los dos mapas anteriores no presentan mayor variación espacial, de igual forma la valoración de las categorías o rangos no varían significativamente.

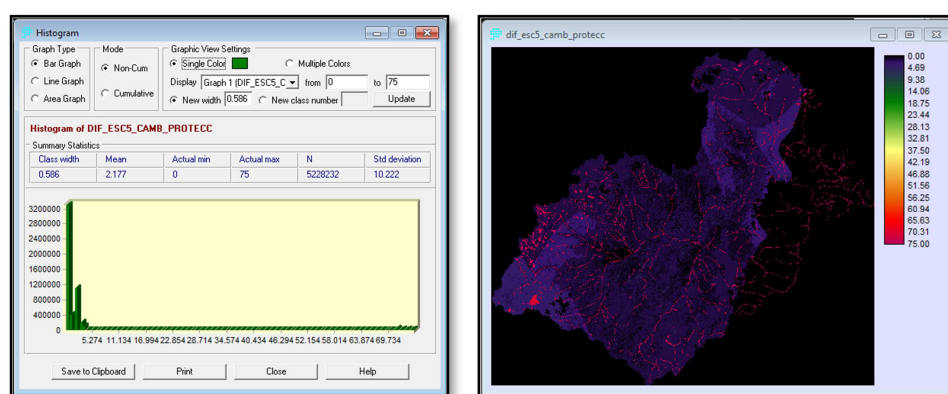


Fig. 5.41 Diferencia entre el Modelo Original 5 y Modelo Variado 5 – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 75. El índice S resultó igual a 2.177.

Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de regulación de agua es más sensible que el factor de protección de recursos hídricos, dado que la valoración del índice S es mayor en el factor de regulación de agua. Por lo tanto este factor debería ser considerado relevante para el modelo y debería ampliarse y actualizarse la información que se utilizó para la construcción del factor, así los resultados de la modelización será más fiable.

5.5.2.5 Modelo Espacial 6: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua

Se cambiaron los factores de mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- I. El factor de calidad de agua se tomó una media de los valores de coliformes fecales en toda la cuenca.

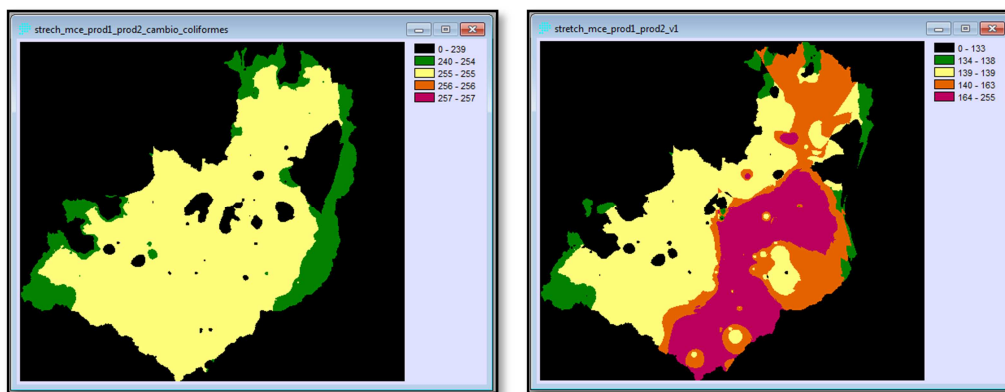


Fig. 5.42 Modelo Espacial Multicriterio 6 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los dos mapas muestran una variación total en las categorías prioritarias, las otras categorías también tienen una variación mediana.

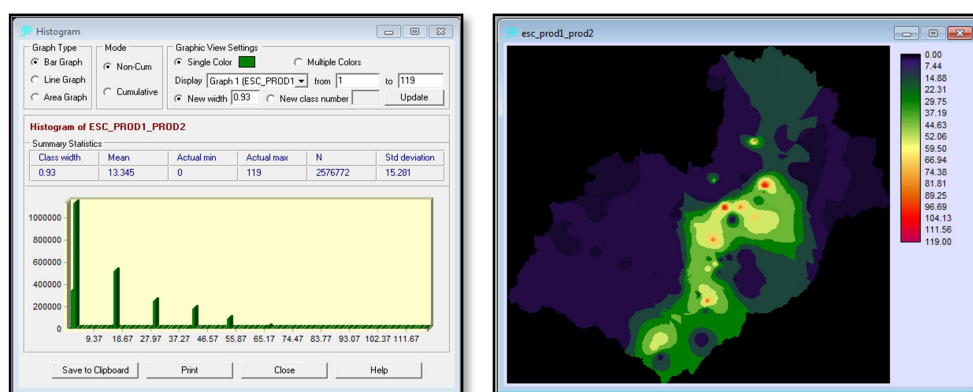


Fig. 5.43 Diferencia entre el Modelo Original 6 y Modelo Variado 6 – Factor I.

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 119. El índice S resultó igual a 13.345.

II. El factor de la distancia entre fuentes hídricas y pastos se realizó una media de los valores en toda la cuenca.

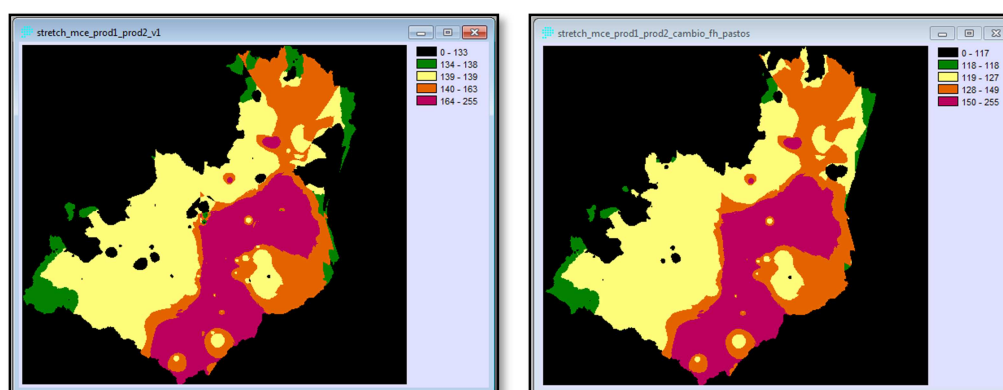


Fig. 5.44 Modelo Espacial Multicriterio 6 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Existe una variación espacial mediana modificando este factor, de igual manera existen cambios en la valoración de las categorías o rangos, no obstante se obtuvo el índice S para cuantificar el cambio.

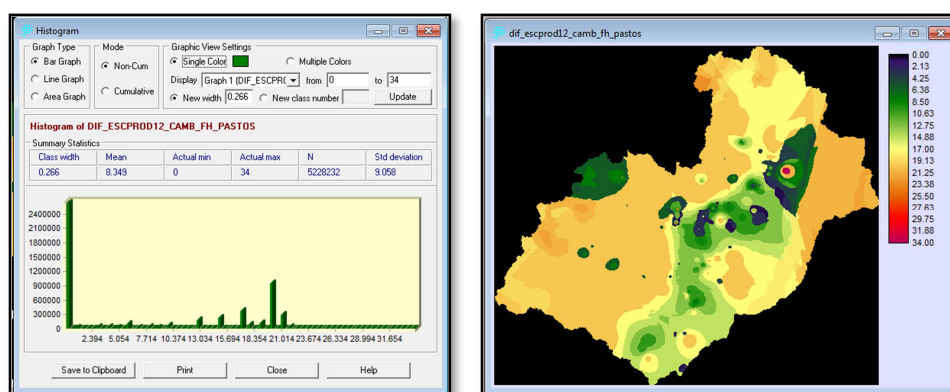


Fig. 5.45 Diferencia entre el Modelo Original 6 y Modelo Variado 6 – Factor II.

Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 34. El índice S resultó igual a 8.349.

Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de calidad de agua es más sensible que el factor de distancias de fuentes hídricas a pastos, dado que la valoración del índice S es mayor en el factor de calidad de agua; por lo tanto este factor debería ser considerado relevante para el modelo y debería ampliarse y actualizarse la información que se utilizó para la construcción del factor, así los resultados de la modelización serían más fiables.

5.5.2.6 Modelo Espacial 7: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua por agentes antrópicos

Se cambiaron los factores de mayor jerarquía según la matriz de Saaty, las variaciones que se realizaron y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

I. El factor de la distancia entre fuentes hídricas y centros poblados se realizó una media de los valores en toda la cuenca.

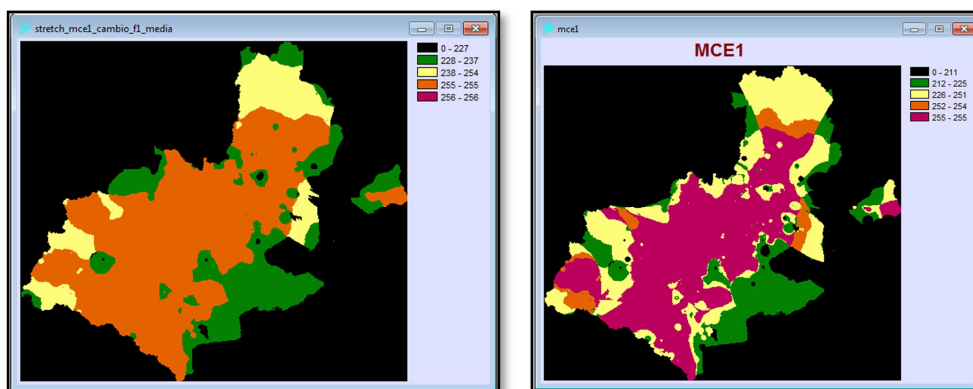


Fig. 5.46 Modelo Espacial Multicriterio 7 [Original y Variado] – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Los dos mapas muestran una variación en todas las categorías, por lo tanto se podría considerar un factor relevante para la modelación. Esto podremos comprobar más adelante con el cálculo del índice S.

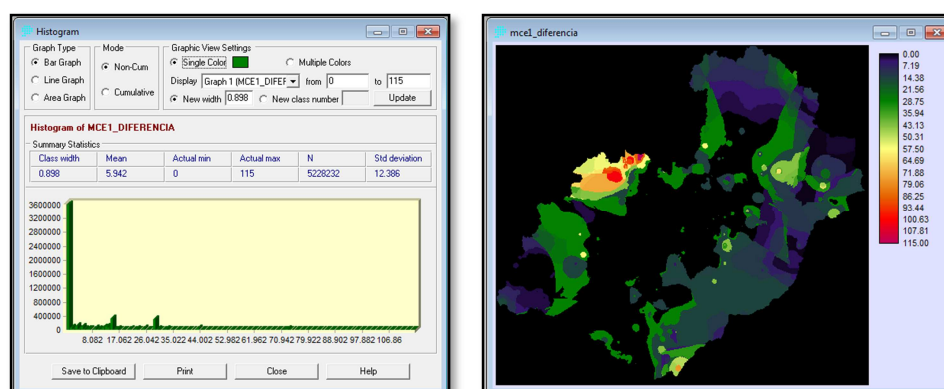


Fig. 5.47 Diferencia entre el Modelo Original 7 y Modelo Variado 7 – Factor I. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 115. El índice S resultó igual a 5.942.

II. El factor de la distancia entre fuentes hídricas y vías se realizó una media de los valores en toda la cuenca.

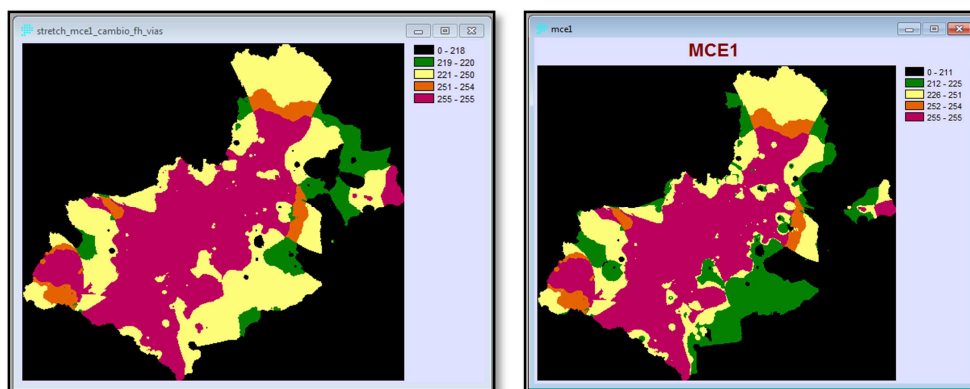


Fig. 5.48 Modelo Espacial Multicriterio 7 [Original y Variado] – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Se puede observar una leve variación espacial en los mapas, además no existe una variación considerable en la valoración de los rangos.

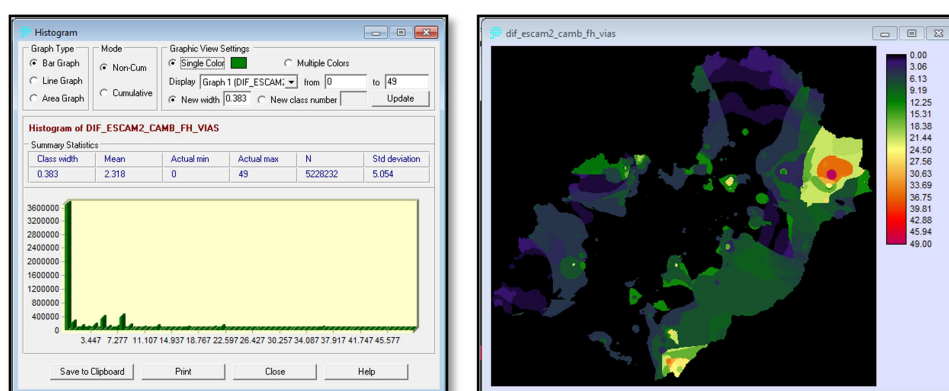


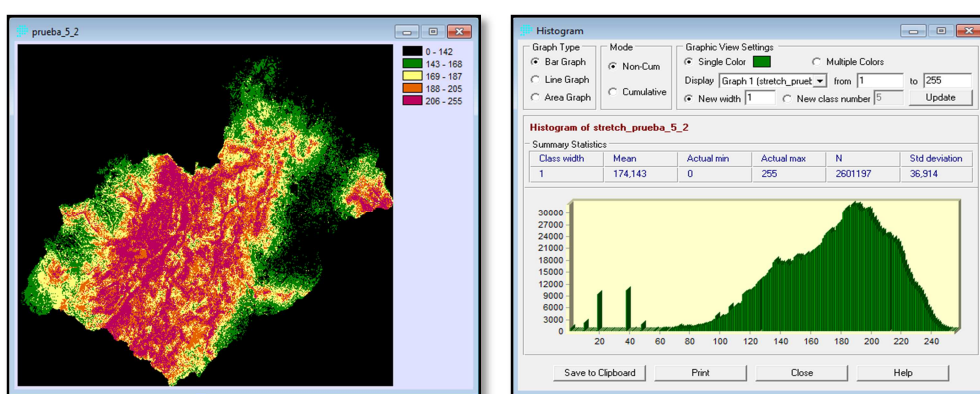
Fig. 5.49 Diferencia entre el Modelo Original 7 y Modelo Variado 7 – Factor II. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El mapa muestra la diferencia entre el mapa del modelo original y el mapa del modelo variado, con un valor de diferencia máxima de 49. El índice S resultó igual a 2.310. Como conclusión de este modelo podemos indicar que el factor de distancias de fuentes hídricas a centros poblados es más sensible que el factor de distancias de fuentes hídricas a vías, dado que la valoración del índice S es mayor en el factor de distancias de fuentes hídricas a centros poblados. Por lo tanto confirmamos que este factor es relevante en el modelo y debería ser prioritario para una ampliación y actualización de la información que se utilizó para la construcción del factor.

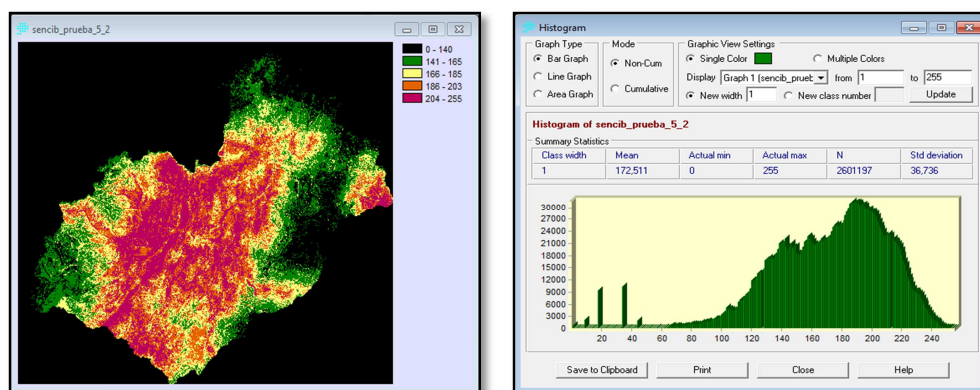
5.5.3 Componente Económico - Productivo

Para la importancia agropecuaria del componente económico-productivo, se usó el factor distancia a vías, que originalmente tenía a las vías de primer y segundo orden fusionadas como una sola y que tenían valoraciones dentro del rango (255), este factor se modificó para dejar la distancia a vías de primer orden (255).

Tratándose de un modelo espacial, resulta interesante realizar un análisis que permita comprobar dónde se acumulan las mayores diferencias; es decir, qué lugares del territorio objeto de estudio son más sensibles a las modificaciones planteadas en este análisis y si el efecto permanece constante a lo largo de las siguientes fases de ejecución del modelo (Orán Cáceres, Gómez Delgado, & Bosque Sendra, 2010). En la figura 5.50, se puede observar que no existe gran variación entre el mapa original (174,143) y el mapa con la variación del factor vías (172,511).



A



B

Fig. 5.50 Mapas de importancia agropecuaria a) mapa original, b) mapa modificado la distancia a vías. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

La figura 5.51, nos muestra que la modificación introducida no es notable, pues la mayor concentración de frecuencias se da en los valores más bajos. Esto se sustenta al obtener el índice S, que nos indica un mayor valor al variar la distancia a las vías con un valor del índice S es de 7,758.

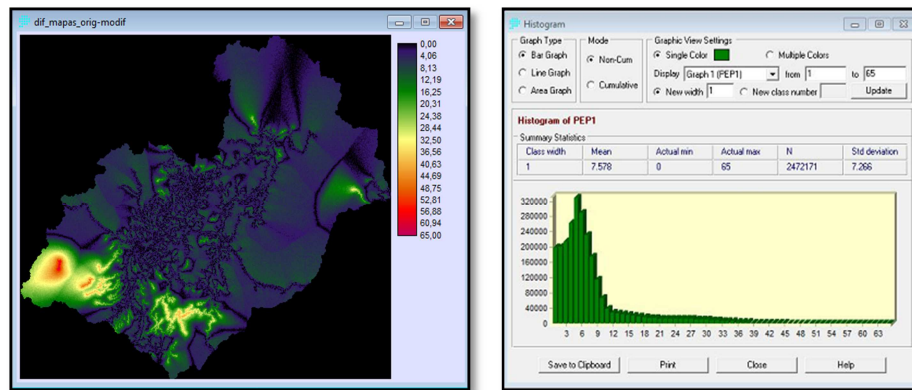


Fig. 5.51 Resta entre el mapa original y el mapa con la distancia a las vías modificada. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.6 Análisis por Subcuencas

5.6.1 Componente Ambiental

Las 18 subcuencas de la CRP fueron valoradas, estableciendo las zonas de importancia ambiental y vulnerabilidad de ecosistemas (figura 5.52). Las zonas de mayor importancia con un valor muy alto y alto, en la generalidad de las subcuencas, son bastante representativas; siendo menor en las subcuencas de Sidcay, Cuenca y río Negro, lo que puede ser producto de la falta de información para esta subcuenca. También se puede observar subcuencas con grandes áreas con valores muy bajos, como Tarqui, Sidcay, Santa Bárbara, Río Negro, Magdalena, Jadán, Collay y Burgay. Por otro lado, existen subcuencas con grandes zonas con importancia ambiental como Yanuncay, Tomebamba, Pulpito, Pindilig, Mazar, Machángara y Juval. Además de tres subcuencas en las cuales predominan los valores medios Paute, Cuenca y Baja Río Paute (Gráfico 5.13).

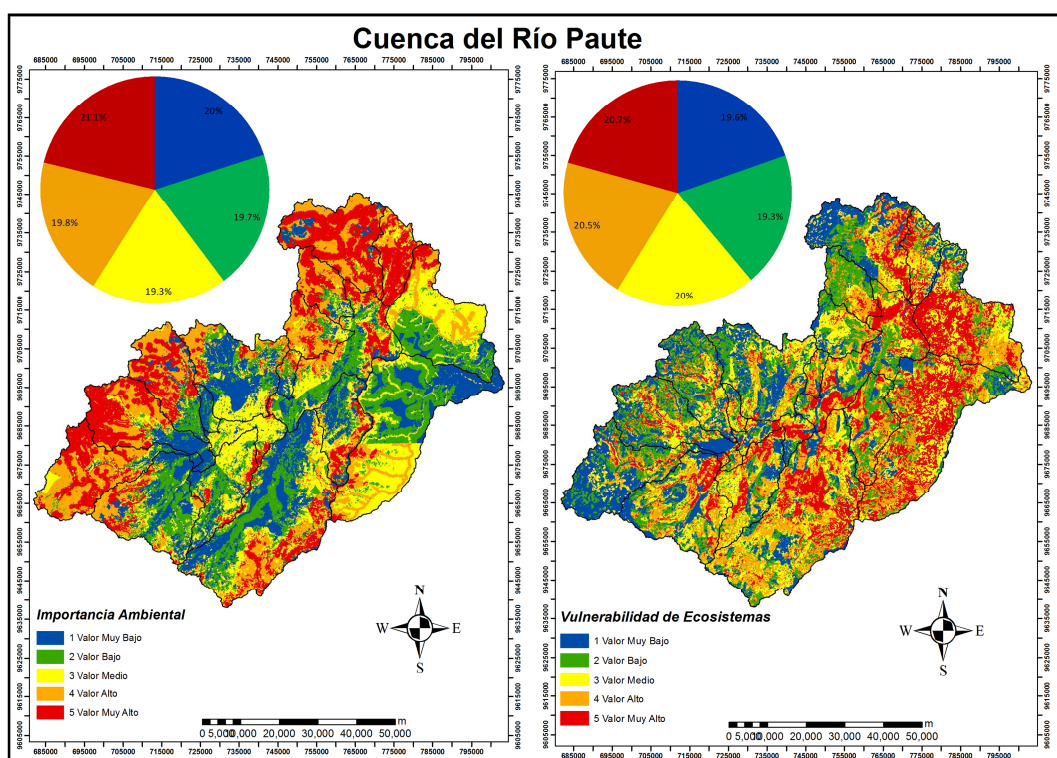


Fig. 5.52 Valoración de la CRP de acuerdo a la importancia ambiental y la vulnerabilidad de ecosistemas. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

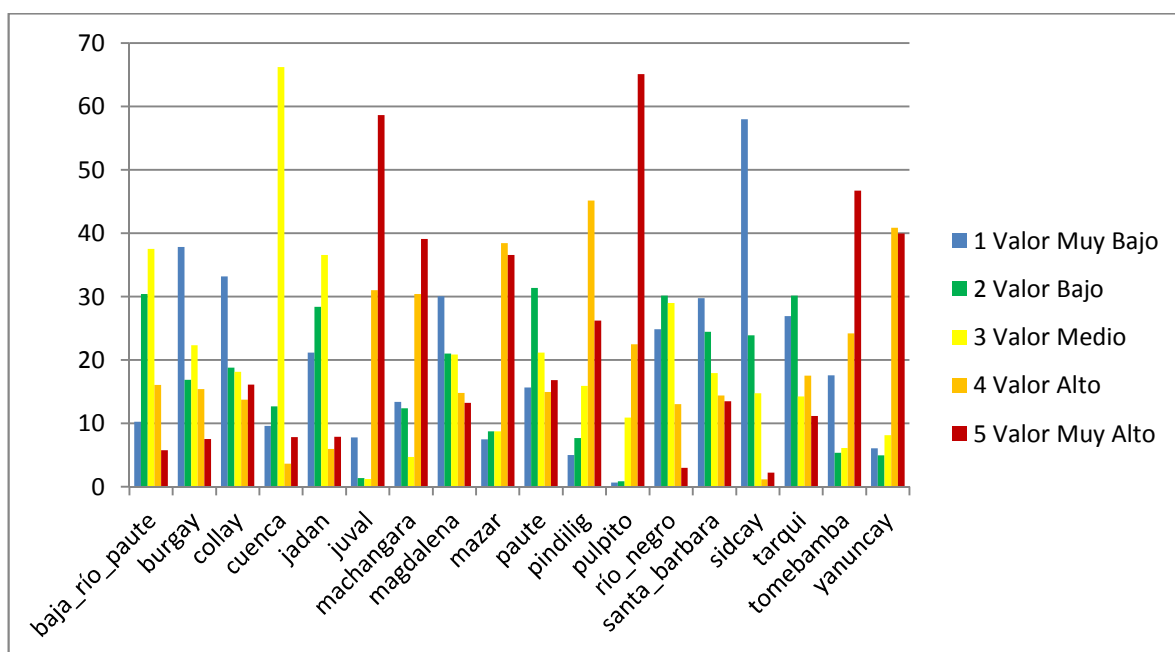


Gráfico 5.13 Importancia ambiental en porcentajes de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Las subcuencas con ecosistemas más vulnerables son: la Baja del Río Paute, Paute, Pulpito, Río Negro y Santa Bárbara. Con valores bajos: Yanuncay, Tomebamba, Mazar, Machángara, Juval Burgay; teniendo la mayoría de las restantes subcuencas áreas similares para toda la valoración (Gráfico 5.14).

Esto aparentemente empata con el estado de conservación de las 18 subcuencas, siendo bastante coincidentes los resultados para la importancia ambiental y la vulnerabilidad de ecosistemas; lo que se puede observar muy claro, por ejemplo, en la subcuencas Yanuncay, Tomebamba y Machángara. Aunque, otras subcuencas tienen valores muy altos tanto para la importancia como para la vulnerabilidad, en general los resultados son bastante coincidentes.

En el análisis por subcuenca pormenorizado, se puede observar las áreas más importantes y vulnerables, para tomar acciones de remediación y conservación; convirtiéndose ésta en una herramienta muy sólida para concentrar acciones que lleven al mejoramiento de la calidad ambiental, como insumo para mejorar la cantidad y calidad del agua en toda la CRP.

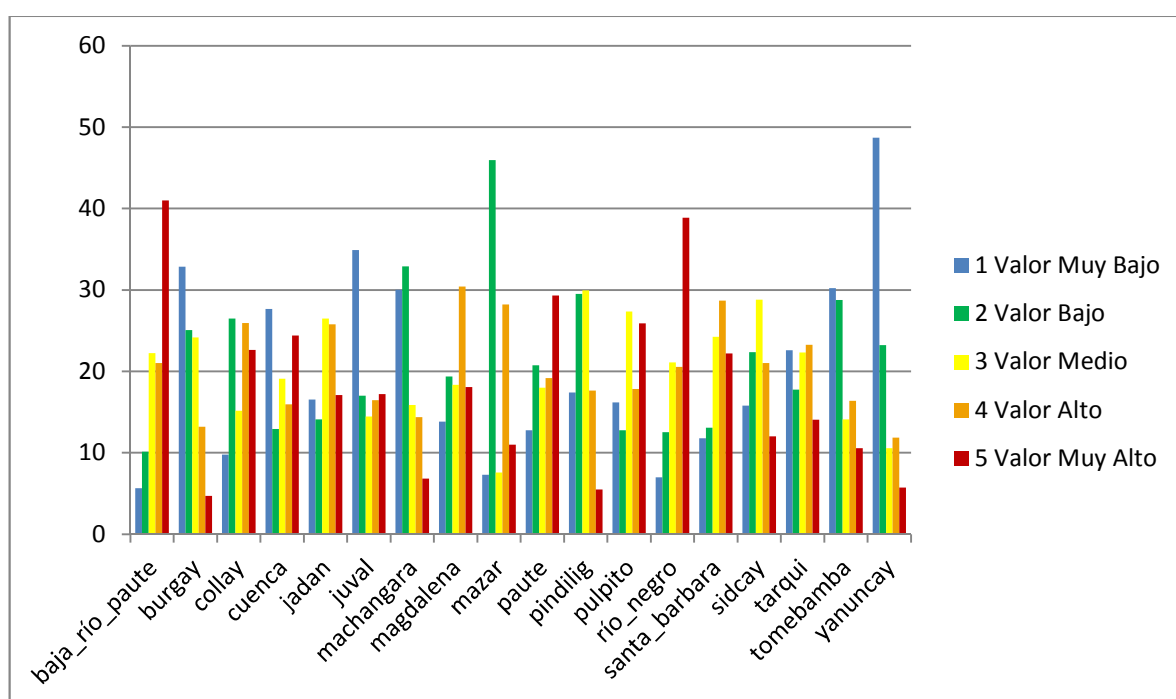


Gráfico 5.14 Vulnerabilidad de ecosistemas en porcentajes de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.6.2 Componente Disponibilidad del Agua

Los mapas finales de cada modelo se dividieron por subcuencas, con la finalidad de que sirvan de ayuda en la toma de decisiones en lo que respecta a que subcuenca es la prioritaria para una intervención y por ende donde invertir el dinero. A continuación, se muestran los cuadros resumen de cada modelo, además de su mapa final resultante.

5.6.2.1 Modelo Espacial 1: Protección de las zonas de drenaje (cantidad y calidad) y sus alrededores

Como se indicó anteriormente este modelo sirvió de piloto para la construcción de los demás modelos, por lo tanto no se realizó ningún procedimiento adicional.

5.6.2.2 Modelo Espacial 2: Conservación del recurso hídrico

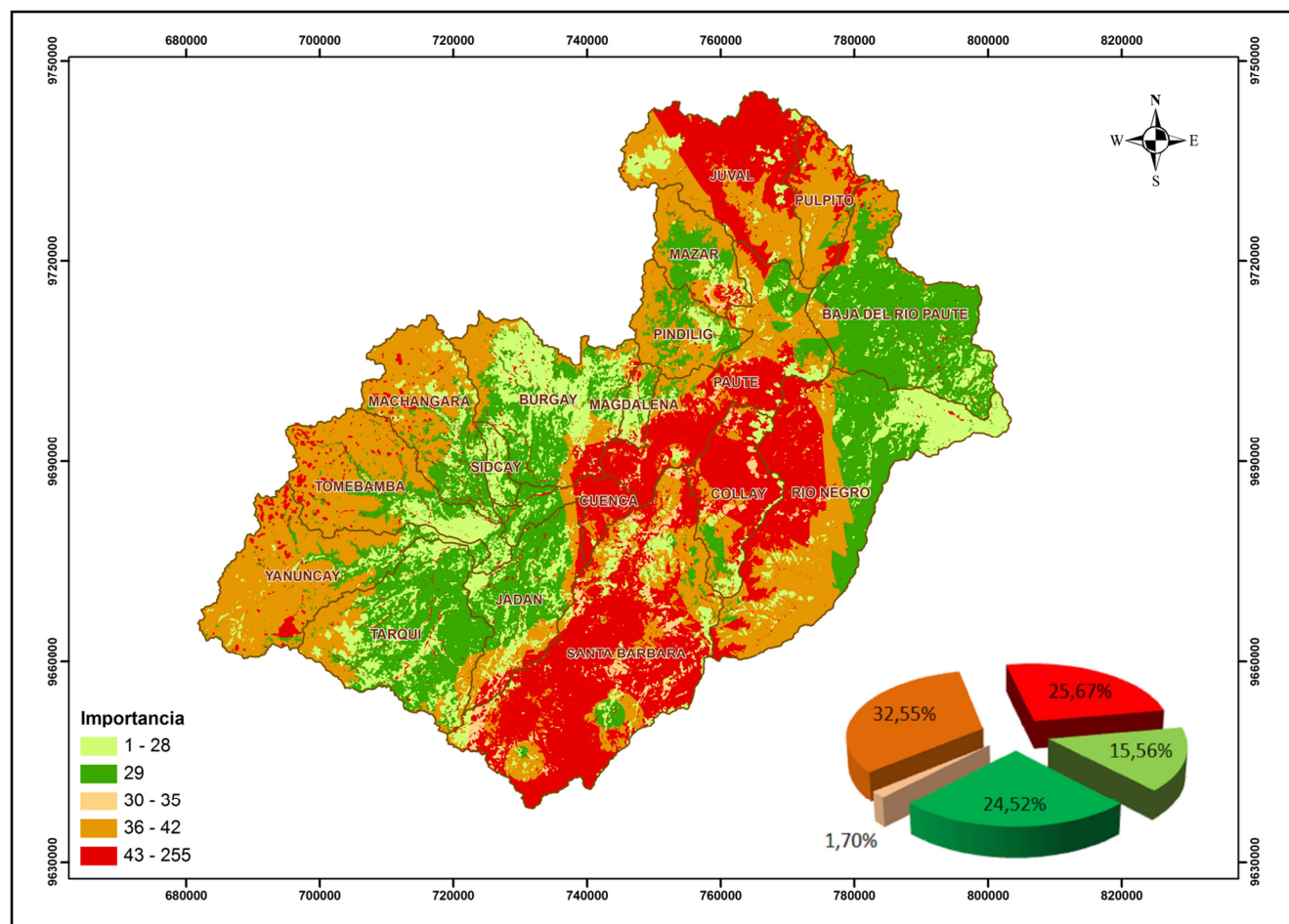


Fig. 5.53 Mapa final resultante del modelo 2. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-28	Area (%)	29	Area (%)	30-35	Area (%)	36-42	Area (%)	43-255	Area (%)	
Baja del Paute	5146.25	5.14	38198.32	24.20		0.00	6348.74	3.03	1285.92	0.78	50979.23
Burgay	18066.39	18.04	14491.81	9.18	65.98	0.60	9014.79	4.30	3037.12	1.84	44676.09
Collay	2870.89	2.87	1528.25	0.97	1246.98	11.37	4700.69	2.24	13589.61	8.22	23936.42
Cuenca	1298.25	1.30	3755.37	2.38	164.30	1.50	1000.84	0.48	5810.68	3.52	12029.44
Jadán	6777.19	6.77	13410.82	8.50	477.97	4.36	5643.60	2.69	3441.80	2.08	29751.38
Juval	4014.83	4.01	97.98	0.06		0.00	14810.56	7.07	23771.71	14.38	42695.08
Machángara	5017.64	5.01	7720.76	4.89		0.00	18198.97	8.68	1587.64	0.96	32525.01
Magdalena	2368.76	2.36	1262.84	0.80	185.46	1.69	682.17	0.33	581.92	0.35	5081.15
Mazar	1809.43	1.81	5538.53	3.51	555.38	5.07	7677.19	3.66	988.26	0.60	16568.79
Paute	3880.16	3.87	5309.02	3.36	1200.42	10.95	13582.50	6.48	20739.54	12.55	44711.64
Pindilig	1822.43	1.82	5275.66	3.34		0.00	9478.68	4.52	241.53	0.15	16818.30
Púlpito	524.34	0.52	692.48	0.44		0.00	11435.40	5.46	4257.87	2.58	16910.09
Río Negro	13951.18	13.93	18934.22	11.99	483.86	4.41	25273.38	12.06	21532.49	13.03	80175.13
Santa Bárbara	8455.45	8.44	2317.62	1.47	6582.94	60.05	19229.61	9.18	58624.66	35.47	95210.28
Sidcay	2697.96	2.69	1511.33	0.96		0.00	27.20	0.01	93.10	0.06	4329.59
Tarqui	11943.62	11.92	26215.95	16.61		0.00	8390.98	4.00	1059.04	0.64	47609.59
Tornebamba	6257.91	6.25	6346.25	4.02		0.00	23115.92	11.03	2306.57	1.40	38026.65
Yanuncay	3269.33	3.26	5258.75	3.33		0.00	30974.01	14.78	2352.22	1.42	41854.31
Total	100172.01	100.00	157865.96	100.00	10963.29	100.00	209585.23	100.00	165301.68	100.00	643888.17

Tabla 5.27 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 2. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para la conservación y protección del agua, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (43-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Santa Bárbara, Juval, Río Negro, Paute, Collay y Cuenca.

5.6.2.3 Modelo Espacial 3: Zonas con mejor regulación de agua

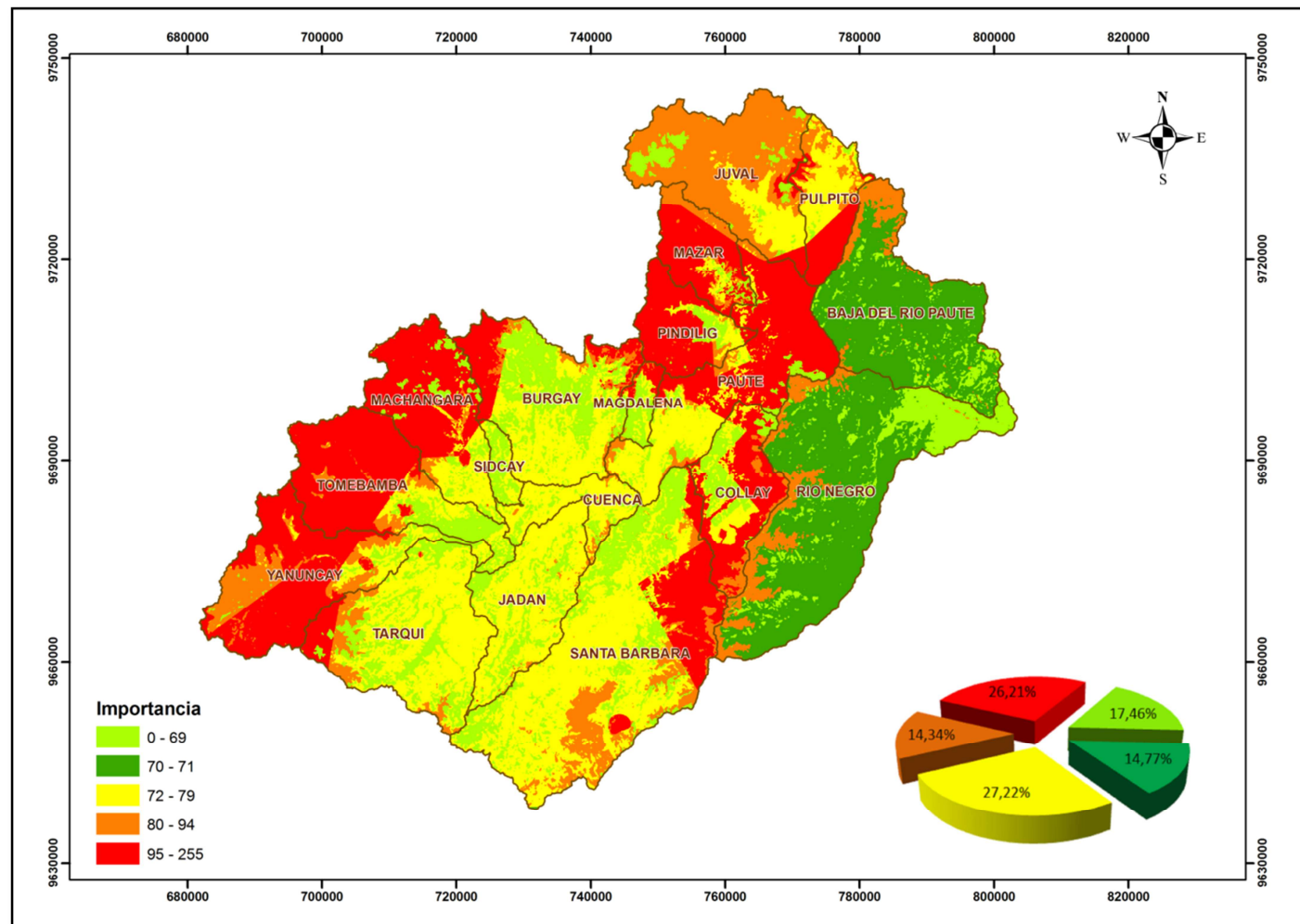


Fig. 5.54 Mapa final resultante del modelo 3. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-69	Area (%)	70-71	Area (%)	72-79	Area (%)	80-94	Area (%)	95-255	Area (%)	
Baja del Paute	5092.81	4.53	40577.4	42.67		0.00	5282.35	5.72	26.67	0.02	51032.1515
Burgay	16592.04	14.76			17124.23	9.77	2987.44	3.24	7972.39	4.72	44703.8649
Collay	5000.03	4.45	2.02	0.00	4592.23	2.62	2252.33	2.44	12089.79	7.16	23945.9092
Cuenca	2296.31	2.04			9078.03	5.18	633.84	0.69	21.25	0.01	12037.3389
Jadán	7428.02	6.61			21890.86	12.49	427.24	0.46	5.25	0.00	29770.9306
Juval	3986.79	3.55			6978.92	3.98	29855.98	32.33	1873.38	1.11	42734.9333
Machángara	3871.41	3.44			5959.73	3.40	1132.53	1.23	21561.35	12.77	32533.0907
Magdalena	2542.34	2.26			1036.29	0.59	268.76	0.29	1233.78	0.73	5084.31377
Mazar	838.42	0.75			1223.54	0.70	3288.43	3.56	11218.44	6.65	16573.8354
Paute	3551.93	3.16	10.01	0.01	13346.45	7.62	2544	2.76	25259.21	14.97	44725.1406
Pindilig	1778.06	1.58			1566.98	0.89	713.63	0.77	12759.64	7.56	16821.5586
Púlpito	392.78	0.35	4.75	0.00	7605.18	4.34	2883.9	3.12	6023.46	3.57	16917.8872
Río Negro	14958.04	13.31	54466.07	57.28		0.00	10731.44	11.62	19.58	0.01	80257.3332
Santa Bárbara	20064.35	17.85	34.39	0.04	47431.55	27.06	12995.41	14.07	14684.56	8.70	95269.2817
Sidcay	2739.45	2.44			1536.87	0.88	1.5	0.00	51.78	0.03	4332.91527
Tarqui	12734.29	11.33			27613.85	15.76	4219.12	4.57	3042.31	1.80	47641.2227
Tomebamba	6017.99	5.35			4160.64	2.37	2340.54	2.53	25507.45	15.11	38036.8819
Yanuncay	2538.68	2.26			4111.07	2.35	9775.12	10.59	25429.46	15.07	41869.5206
Total	112423.74	100.00	95094.64	100.00	175256.42	100.00	92333.56	100.00	168779.75	100.00	644288.11

Tabla 5.28 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 3. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para una conservación del recurso hídrico y todos los recursos naturales alrededor del mismo, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (95-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Tomebamba, Yanuncay, Paute, Machángara, Santa Bárbara y Pindilig.

5.6.2.4 Modelo Espacial 4: Conservación y protección del agua

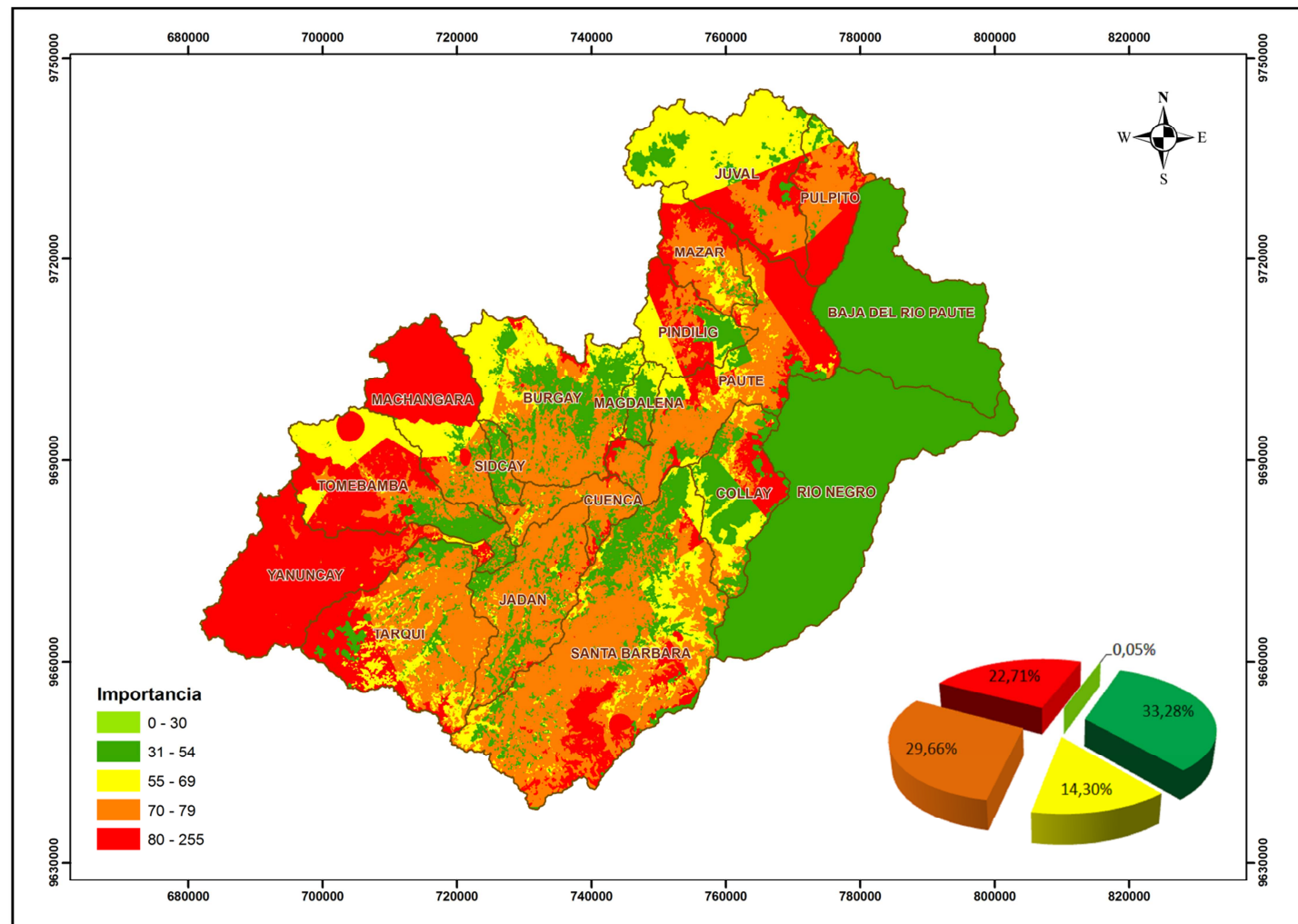


Fig. 5.55 Mapa final resultante del modelo 4. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-30	Area (%)	31-54	Area (%)	55-69	Area (%)	70-79	Area (%)	80-255	Area (%)	
Baja del Paute	14.08	4.53	50949.16	23.78			0.37	0.00	15.6	0.01	50979.21
Burgay	38.22	12.30	14046.64	6.55	13292.51	14.43	16124.73	8.44	1174.01	0.80	44676.11
Collay			10260.28	4.79	5138.45	5.58	4221.36	2.21	4316.33	2.95	23936.42
Cuenca			1774.24	0.83	522.07	0.57	9078.03	4.75	655.09	0.45	12029.43
Jadán			6564.5	3.06	863.52	0.94	21890.86	11.46	432.49	0.30	29751.37
Juval	36.8	11.84	4494.83	2.10	23884.04	25.93	6344.93	3.32	7934.47	5.43	42695.07
Machángara	29.3	9.43	2109.36	0.98	4367.58	4.74	5262.73	2.76	20756.05	14.20	32525.02
Magdalena			3099.97	1.45	1374.8	1.49	541.99	0.28	64.4	0.04	5081.16
Mazar	2.42	0.78	732.6	0.34	3081.67	3.35	7764.2	4.07	4987.94	3.41	16568.83
Paute			4539.07	2.12	4165.79	4.52	22216.86	11.63	13789.83	9.43	44711.55
Pindilig	8	2.57	2963.47	1.38	4535.89	4.93	3673.63	1.92	5637.32	3.86	16818.31
Púlpito	17.43	5.61	863.83	0.40	1349.31	1.47	7319.06	3.83	7360.44	5.03	16910.07
Río Negro	11.84	3.81	80155.45	37.40	0.45	0.00	1.25	0.00	6.15	0.00	80175.14
Santa Bárbara	72.63	23.37	17305.22	8.08	12906.44	14.01	53051.91	27.78	11874.07	8.12	95210.27
Sidcay			2691.77	1.26	98.7	0.11	1536.87	0.80	2.26	0.00	4329.6
Tarqui	32.39	10.42	5699.79	2.66	7024.32	7.63	24252.19	12.70	10600.91	7.25	47609.6
Tomebamba	18.58	5.98	6012.22	2.81	8899.6	9.66	6011.38	3.15	17084.86	11.69	38026.64
Yanuncay	29.04	9.35	34.52	0.02	593.29	0.64	1680.96	0.88	39516.47	27.03	41854.28
Total	310.73	100.00	214296.92	100.00	92098.43	100.00	190973.31	100.00	146208.69	100.00	643888.08

Tabla 5.29 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 4. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar las zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua y donde se tiene más utilización del recurso hídrico, con la finalidad de conservarlas, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (80-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Yanuncay, Machángara, Tomebamba, Paute, Santa Bárbara y Tarqui.

5.6.2.5 Modelo Espacial 5: Vulnerabilidad a la contaminación del agua

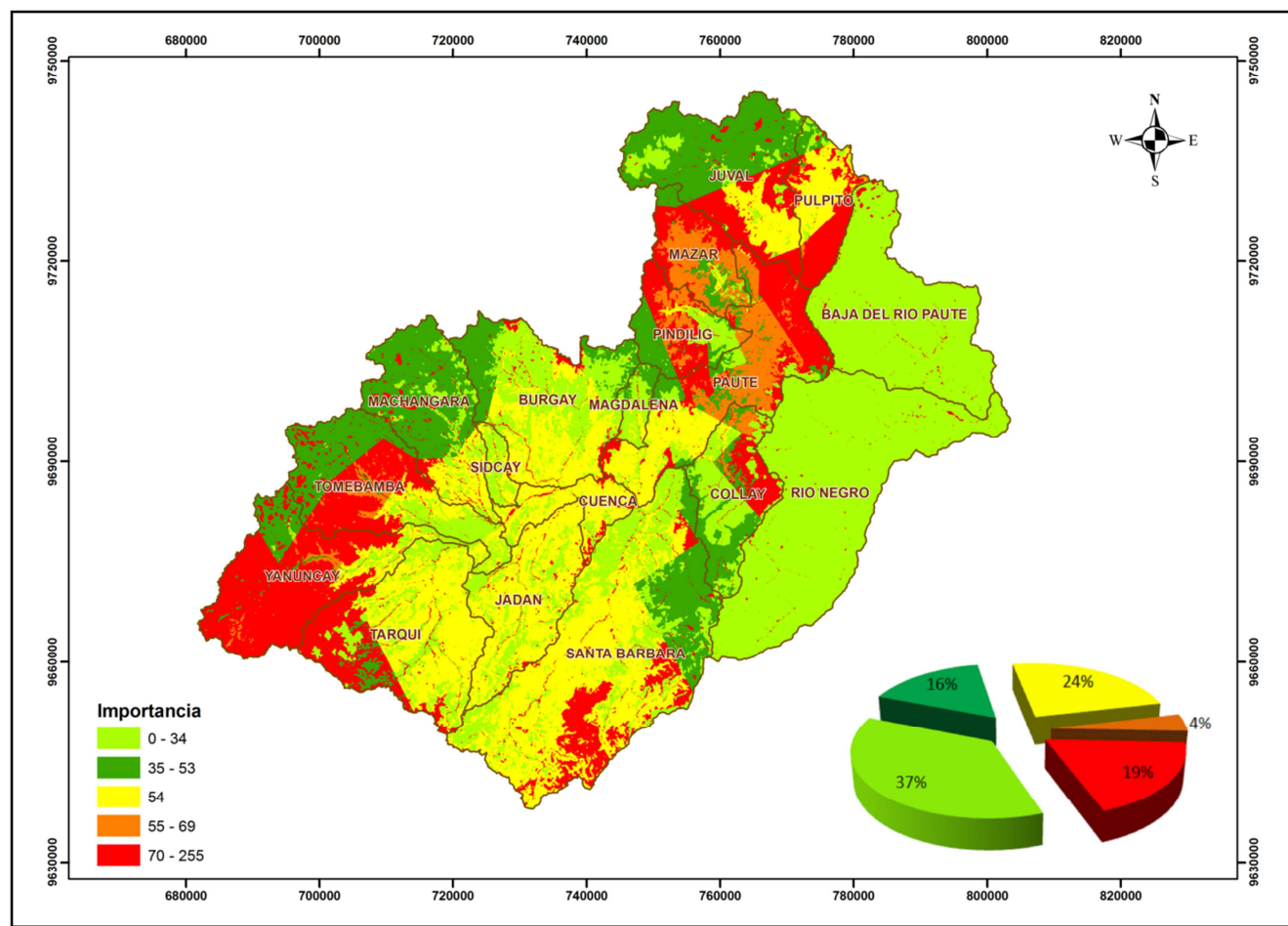


Fig. 5.56 Mapa final resultante del modelo 5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-34	Area (%)	35-53	Area (%)	54	Area (%)	55-69	Area (%)	70-255	Area (%)	
Baja del Paute	50305.68	21.39					0.35	0.00	665.51	0.55	50971.55
Burgay	19093.65	8.12	7990.06	7.66	15661.49	10.08			1929.79	1.59	44675.00
Collay	10085.30	4.29	7126.97	6.83	562.43	0.36	1431.07	5.154	4730.64	3.91	23936.42
Cuenca	2169.88	0.92			8863.79	5.71			995.80	0.82	12029.47
Jadán	7276.28	3.09			21417.24	13.79			1057.84	0.87	29751.36
Juval	4557.48	1.94	23138.53	22.18	6282.63	4.04	2.05	0.01	8703.55	7.19	42684.24
Machángara	5019.89	2.13	20252.51	19.41	5046.22	3.25			2201.26	1.82	32519.88
Magdalena	3076.53	1.31	1303.48	1.25	542.00	0.35			159.14	0.13	5081.15
Mazar	760.74	0.32	2971.86	2.85	248.50	0.16	7448.44	26.825	5137.69	4.24	16567.23
Paute	4432.31	1.88	4268.20	4.09	10182.51	6.55	11983.27	43.16	13845.29	11.43	44711.58
Pindilig	2916.93	1.24	4507.57	4.32	327.50	0.21	3390.13	12.209	5671.50	4.68	16813.64
Pulpito	1040.88	0.44	1123.64	1.08	6872.95	4.42	422.43	1.52	7449.35	6.15	16909.25
Río Negro	79650.24	33.87	6.63	0.01					460.88	0.38	80117.74
Santa Bárbara	23207.48	9.87	13062.53	12.52	45827.28	29.50			13063.33	10.79	95160.62
Sidcay	2700.61	1.15	48.27	0.05	1485.61	0.96			95.09	0.08	4329.59
Tarqui	10036.94	4.27	1927.00	1.85	24235.32	15.60			11381.66	9.40	47580.92
Tomebamba	6141.53	2.61	12059.00	11.56	4045.17	2.60	1954.75	7.040	13822.90	11.41	38023.35
Yanuncay	2664.55	1.13	4541.10	4.35	3752.75	2.42	1134.00	4.08	29739.19	24.56	41831.59
Total	235136.90	100.00	104327.37	100.00	155353.41	100.00	27766.48	100.00	121110.40	100.00	643694.57

Tabla 5.30 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 5. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar las zonas para una conservación y protección del agua, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (70-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Yanuncay, Paute, Tomebamba, Santa Bárbara, Tarqui y Juval.

5.6.2.6 Modelo Espacial 6: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua

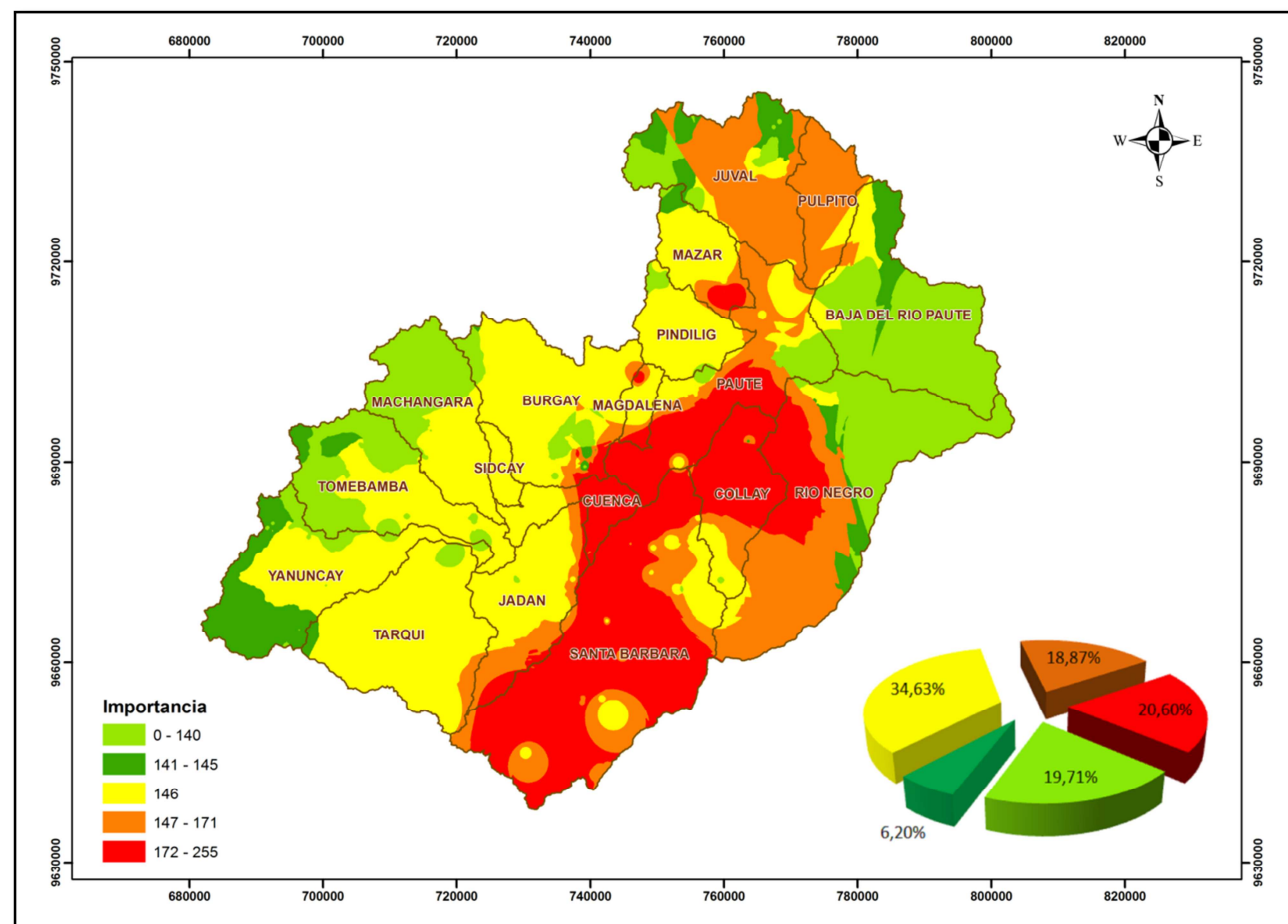


Fig. 5.57 Mapa final resultante del modelo 6. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-140	Area (%)	141-145	Area (%)	146	Area (%)	147-171	Area (%)	172-255	Area (%)	
Baja del Paute	38655.33	30.47	6342.14	15.89	5159.77	2.31	821.97	0.68	665.51	0.50	51644.73
Burgay	4830.23	3.81	435.47	1.09	35196.17	15.79	2771.93	2.28	1442.23	1.08	44676.02
Collay	79.75	0.06	15.50	0.04	3810.23	1.71	3296.51	2.71	16734.43	12.56	23936.42
Cuenca					5109.99	2.29	525.46	0.43	6394.01	4.80	12029.47
Jadán	77.00	0.06			18877.36	8.47	7579.73	6.24	3217.27	2.41	29751.36
Juval	6748.91	5.32	7866.18	19.71	2737.03	1.23	25342.95	20.85			42695.07
Machángara	18342.29	14.46			14182.72	6.36					32525.01
Magdalena					3229.39	1.45	829.37	0.68	1022.38	0.77	5081.15
Mazar	303.79	0.24	1096.74	2.75	11270.59	5.06	2093.08	1.72	1804.61	1.35	16568.81
Paute	5320.83	4.19	1.00	0.00	8298.01	3.72	11976.17	9.85	19115.57	14.34	44711.58
Pindilig	1202.36	0.95			15198.96	6.82	416.97	0.34			16818.30
Pulpito	5.65	0.00	0.06	0.0002	1691.85	0.7589	15212.47	12.52			16910.03
Río Negro	28464.11	22.43	4767.91	11.95	2328.80	1.04	31602.47	26.00	13011.82	9.76	80175.11
Santa Bárbara	53.42	0.04			8078.09	3.62	17204.05	14.16	69874.76	52.43	95210.32
Sidcay	14.33	0.01			4315.25	1.94					4329.59
Tarqui	1261.03	0.99	803.52	2.01	43686.78	19.59	1858.17	1.53			47609.49
Tomebamba	17772.96	14.01	2613.22	6.55	17640.48	7.91					38026.66
Yanuncay	3750.23	2.96	15966.47	40.01	22137.54	9.93					41854.25
Total	126882.21	100.00	39908.21	100.00	222949.01	100.00	121531.31	100.00	133282.60	100.00	644553.35

Tabla 5.31 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 6. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar zonas que contienen fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.) vulnerables para una contaminación del agua y zonas con un cierto grado de contaminación, de tal manera de realizar acciones de prevención, protección y mitigación de estas áreas, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (172-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Santa Bárbara, Paute, Collay, Río Negro, Cuenca y Jadán.

5.6.2.7 Modelo Espacial 7: Zonas Vulnerables a la afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua por agentes antrópicos

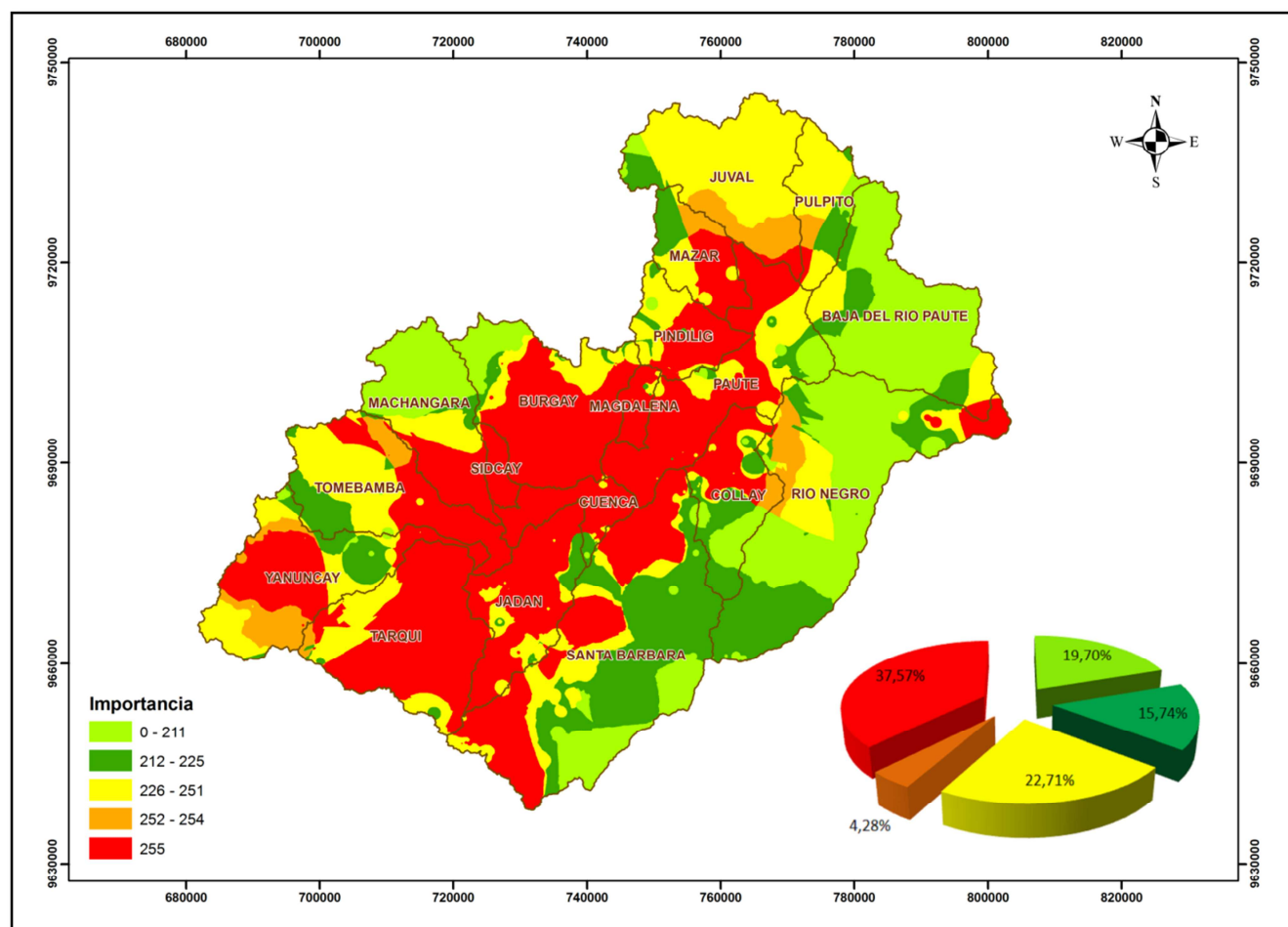


Fig. 5.58 Mapa final resultante del modelo 7. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Subcuenca	Rangos de Importancia (ha)										Area Total (ha)
	0-211	Area (%)	212-225	Area (%)	226-251	Area (%)	252-254	Area (%)	255	Area (%)	
Baja del Paute	37238.02	29.35	7224.89	7.13	5743.00	3.93			773.31	0.32	50979.22
Burgay	6137.53	4.84	1644.57	1.62	7229.37	4.94			29664.56	12.26	44676.02
Collay	4793.03	3.78	7368.93	7.27	2142.72	1.47	1349.48	4.90	8282.26	3.42	23936.42
Cuenca	64.75	0.05	642.60	0.63	286.09	0.20			11036.02	4.56	12029.47
Jadán	2.50	0.00	1949.14	1.92	4523.02	3.09			23276.69	9.62	29751.36
Juval	1143.62	0.90	2449.25	2.42	30610.61	20.94	7082.84	25.71	1408.75	0.58	42695.07
Machángara	16582.54	13.07	1357.47	1.34	5270.91	3.60	104.89	0.38	9209.21	3.81	32525.01
Magdalena			69.25	0.07	272.42	0.19			4739.48	1.96	5081.15
Mazar	2.10	0.00	3443.97	3.40	4296.44	2.94	1772.59	6.43	7053.70	2.92	16568.81
Paute	3496.89	2.76	2083.06	2.05	9430.22	6.45	94.45	0.34	29606.96	12.24	44711.58
Pindilig	309.59	0.24	1001.54	0.99	6424.46	4.39			9082.71	3.76	16818.30
Pulpito	1323.21	1.04	2808.04	2.77	10795.40	7.38	1360.56	4.94	622.83	0.26	16910.03
Río Negro	41432.98	32.66	20255.08	19.98	10405.08	7.12	4964.58	18.02	3117.39	1.29	80175.11
Santa Bárbara	13503.01	10.64	37023.85	36.52	13494.56	9.23			31188.90	12.89	95210.32
Sidcay			19.86	0.02	90.17	0.06			4219.55	1.74	4329.59
Tarqui	12.48	0.01	509.37	0.50	9114.62	6.23	747.74	2.71	37225.28	15.39	47609.49
Tomebamba	215.06	0.17	5652.87	5.58	15781.15	10.79	2567.17	9.32	13810.40	5.71	38026.66
Yanuncay	611.94	0.48	5875.24	5.80	10302.75	7.05	7503.53	27.24	17560.79	7.26	41854.25
Total	126869.24	100.00	101378.97	100.00	146213.01	100.00	27547.83	100.00	241878.78	100.00	643887.83

Tabla 5.32 Superficies y rangos de importancia del Modelo Espacial 7. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar zonas vulnerables a una afectación de fuentes hídricas y cuerpos de agua (lagunas, ríos, ciénegas, etc.), que perjudiquen su cantidad y calidad del agua, de tal manera de realizar acciones de prevención y protección, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia de la tabla anterior (255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Tarqui, Santa Bárbara, Burgay, Paute, Jadán y Yanuncay.

5.6.3 Componente Económico – Productivo

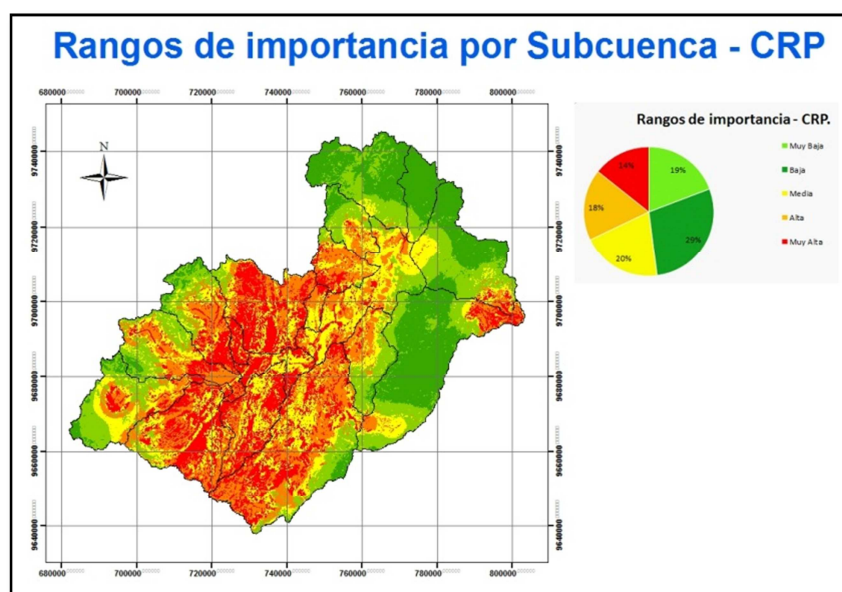


Fig. 5.59 Valoración de la CRP de acuerdo a la importancia agropecuaria. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Las 18 subcuencas de la CRP fueron valoradas, estableciendo las zonas de importancia agropecuaria.

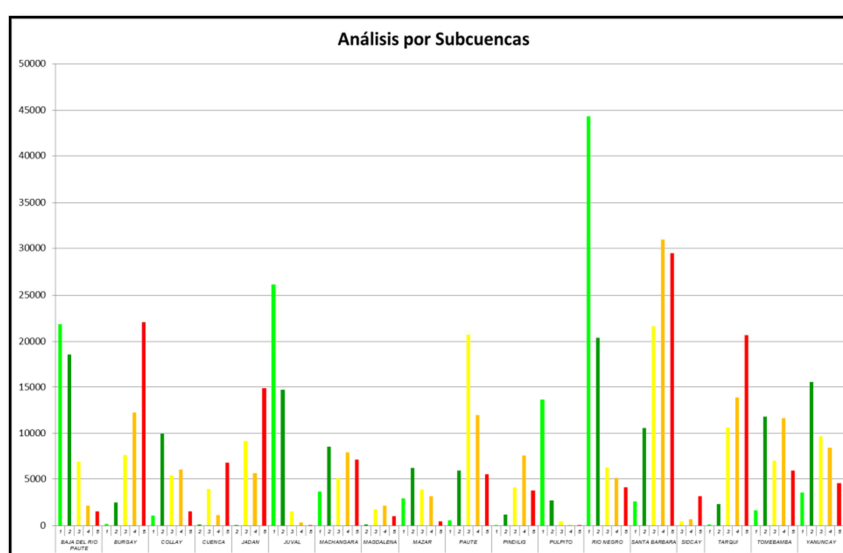


Gráfico 5.15 Importancia agropecuaria en hectáreas de las subcuencas de la CRP en cinco valoraciones. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

El objetivo de este modelo es identificar las zonas más aptas la producción agropecuaria, por lo tanto solo tomando en consideración el rango de mayor importancia del gráfico anterior (206-255), tenemos que las subcuencas prioritarias para intervenir según este objetivo son: Cuenca, Jadán, Sidcay y Tarqui. Pero en las demás subcuencas existen áreas con menor superficie que son igual de importantes que las anteriormente mencionadas en las que se puede realizar actividades agropecuarias productivas.

5.7 Escenarios Compartidos

El propósito de estos escenarios, es el de proveer un resumen definitivo de una evaluación multicriterio; que permita comunicar tanto a profesionales e instituciones como a la comunidad, las zonas que requieren de intervención para garantizar el recurso hídrico tanto en cantidad como en calidad. Estos modelos son los resultados definitivos de la investigación realizada por el equipo técnico, su desarrollo fue evaluado y analizado a partir de todos los modelos obtenidos anteriormente.

5.7.1 Escenario Compartido 1

Objetivo: Identificar zonas de mayor importancia ambiental ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad.

Modelos utilizados:

Componente Ambiental	
Objetivo: Identificar zonas importantes ambientalmente	Objetivo: Identificar zonas vulnerables ambientalmente
Cobertura	Pendientes
Agua	Erosión
Áreas Protegidas	Movimiento en Masas
Mapa Ecológico	Vías
Bosques	Centros Poblados
Endemismo	
Diversidad	

Tabla 5.33 Modelos utilizados del Componente Ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Resultado:

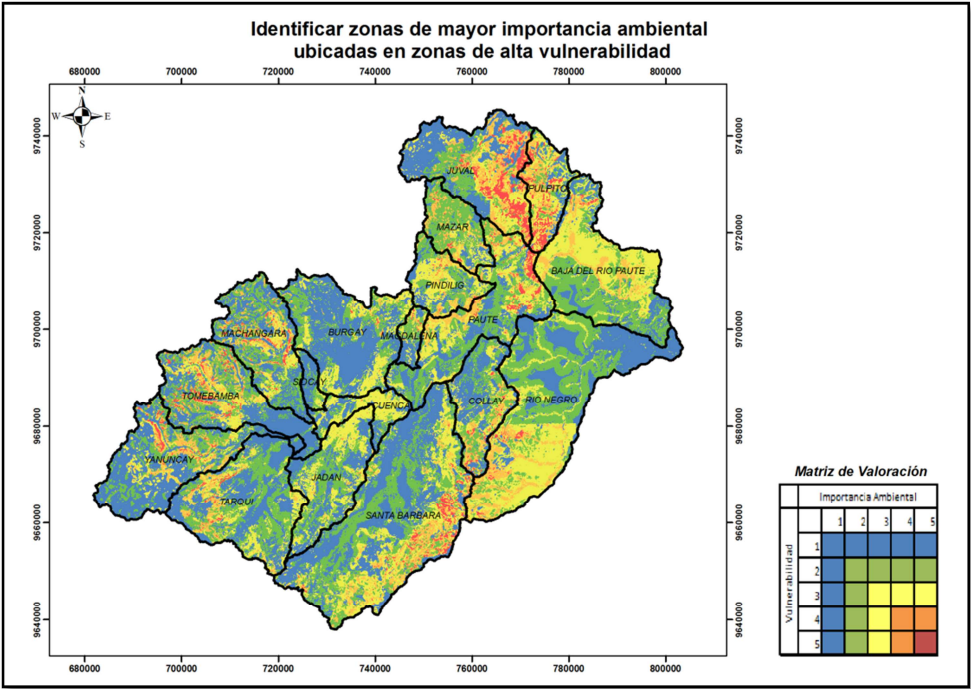


Fig. 5.60 Zonas de mayor importancia ambiental ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

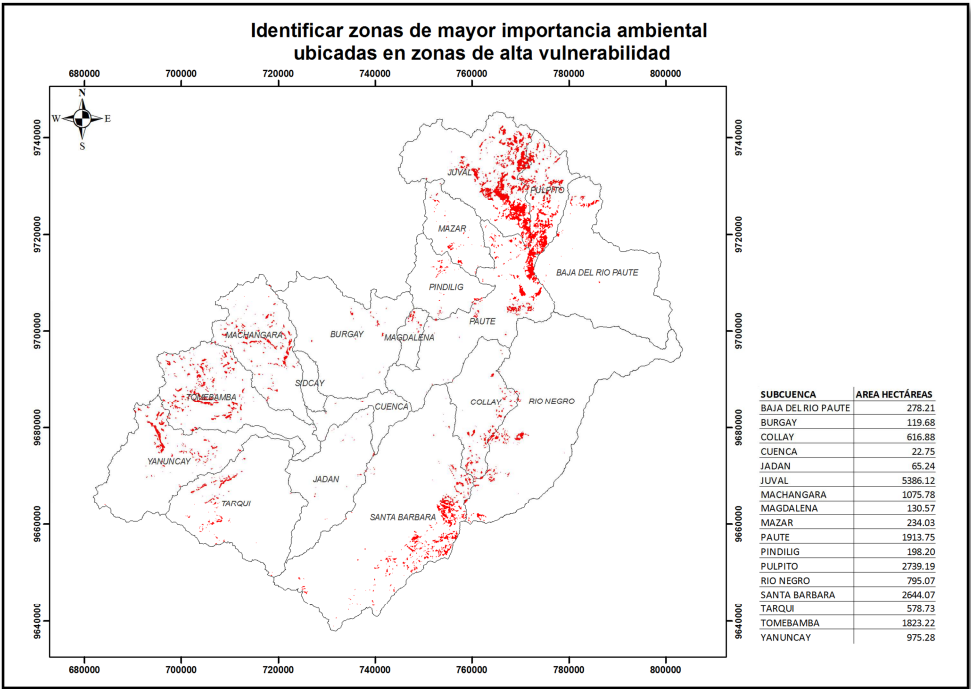


Fig. 5.61 Zonas de mayor importancia ambiental ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.7.2 Escenario Compartido 2

Objetivo: Identificar zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua, que se encuentren vulnerables por estar en zonas productivas.

Modelos utilizados:

Componente Económico - Productivo	Componente Disponibilidad del Agua
Objetivo: Identificar zonas de importancia agropecuaria	Objetivo: Identificar las zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua y donde se tiene más utilización del recurso hídrico, con la finalidad de conservarlas
Pendientes	Regulación de Agua
Cobertura Vegetal	Producción de Agua
Suelos	Usos Consuntivos
Uso de agua	Usos no Consuntivos
Centros Poblados	
Vías	

Tabla 5.34 Modelos utilizados del Componente Económico-Productivo y Componente Disponibilidad del Agua. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Resultado:

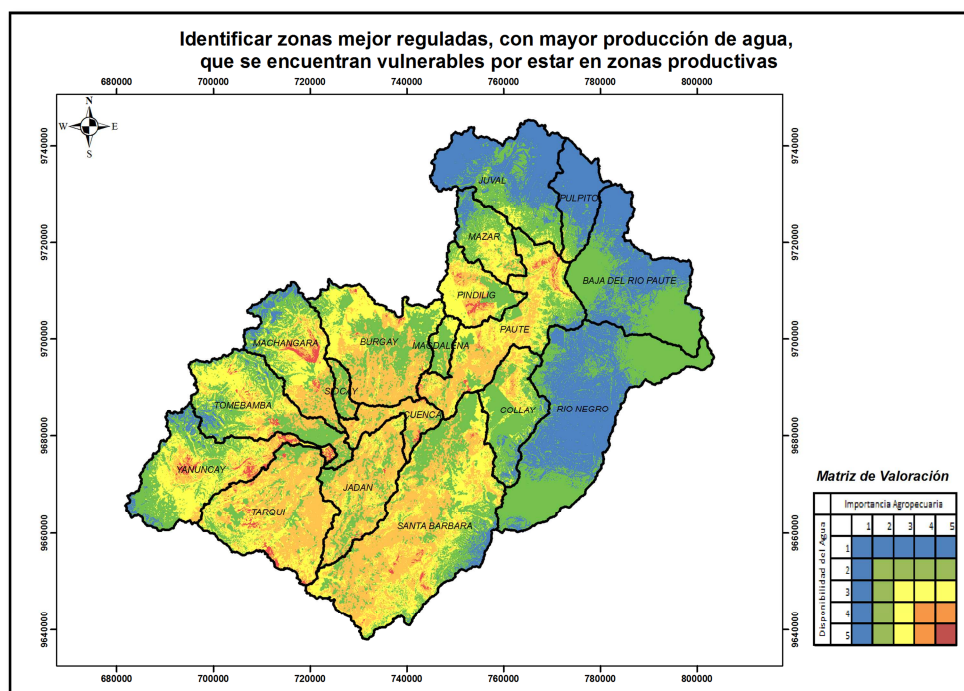


Fig. 5.62 Zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua, que se encuentran vulnerables por estar en zonas productivas. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

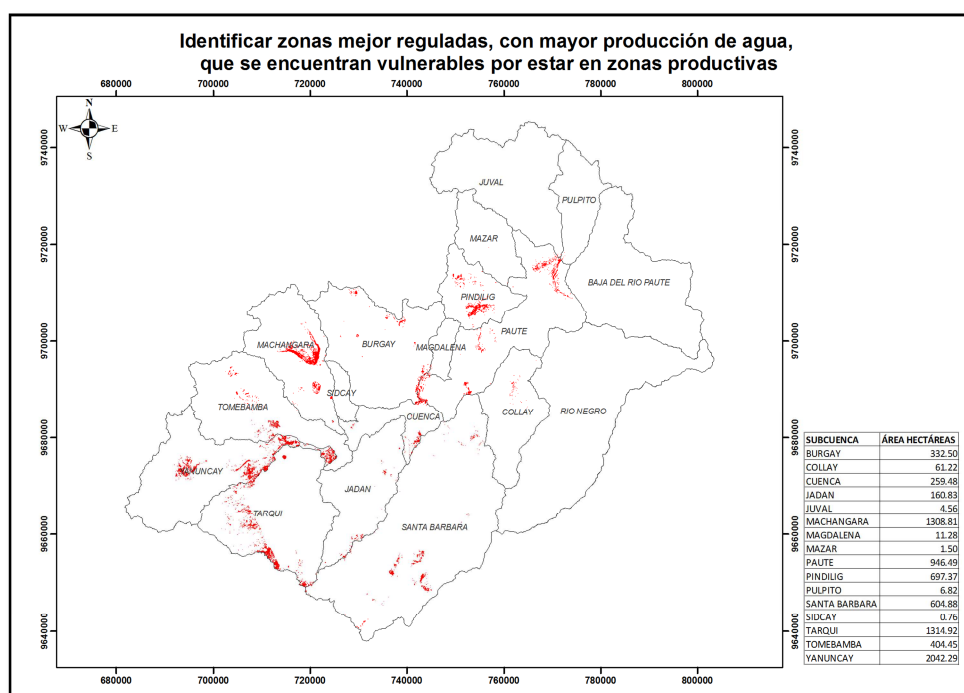


Fig. 5.63 Zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua, que se encuentran vulnerables por estar en zonas productivas. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.7.3 Escenario Compartido 3

Objetivo: Identificar zonas de alta importancia ambiental que se encuentren en zonas productivas.

Modelos utilizados:

Componente Ambiental	Componente Económico - Productivo
Objetivo: Identificar zonas importantes ambientalmente	Objetivo: Identificar zonas de importancia agropecuaria
Cobertura	Pendientes
Agua	Cobertura Vegetal
Áreas Protegidas	Suelos
Mapa Ecológico	Uso de agua
Bosques	Centros Poblados
Endemismo	Vías
Diversidad	

Tabla 5.35 Modelos utilizados del Componente Ambiental y Componente Económico-Productivo. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Resultado:

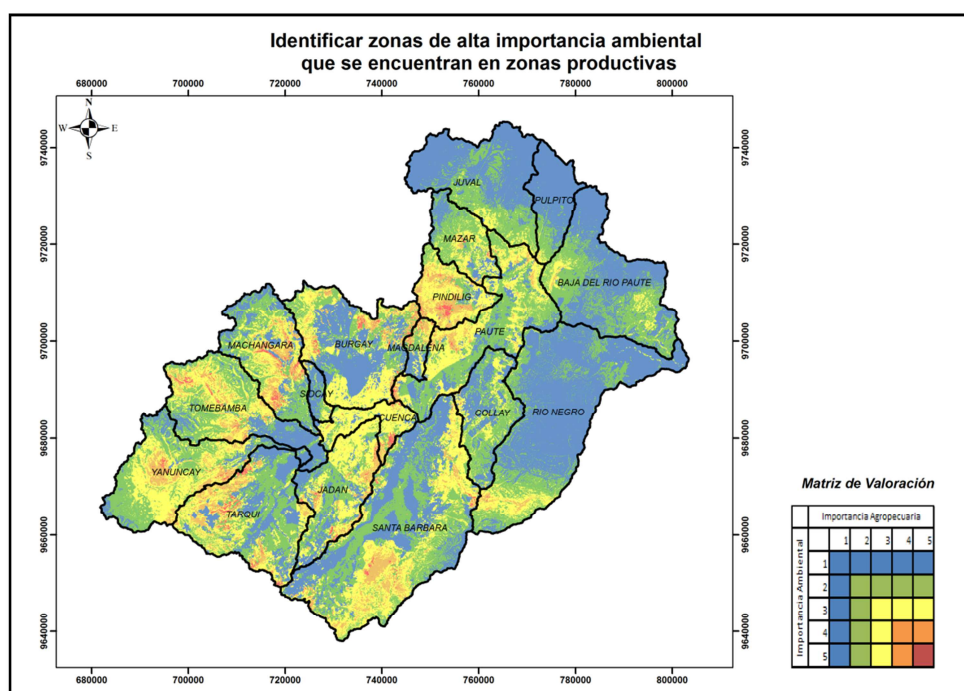


Fig. 5.64 Zonas de alta importancia ambiental que se encuentran en zonas productivas. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

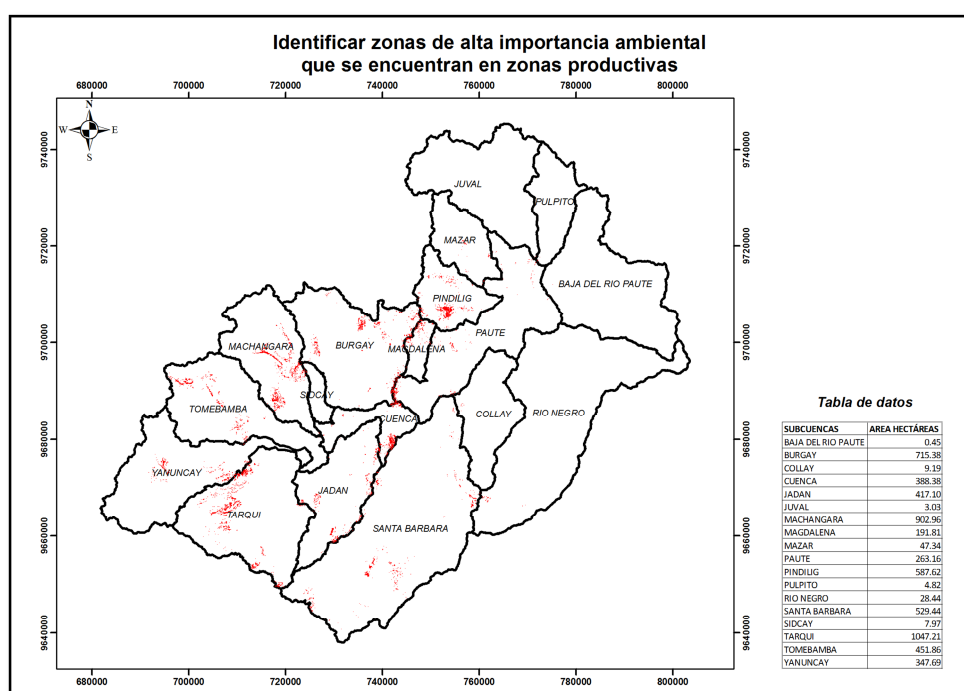


Fig. 5.65 Zonas de alta importancia ambiental que se encuentran en zonas productivas. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.7.4 Escenario Compartido 4

Objetivo: Identificar zonas de alta productividad que se encuentran en zonas ambientales vulnerables.

Modelos utilizados:

Componente Económico - Productivo	Componente Ambiental
Objetivo: Identificar zonas de importancia agropecuaria	Objetivo: Identificar zonas vulnerables ambientalmente
Pendientes	Pendientes
Cobertura Vegetal	Erosión
Suelos	Movimiento de Masas
Uso de agua	Vías
Centros Poblados	Poblados
Vías	

Tabla 5.36 Modelos usados del Componente Económico-Productivo y del Componente Ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Resultado:

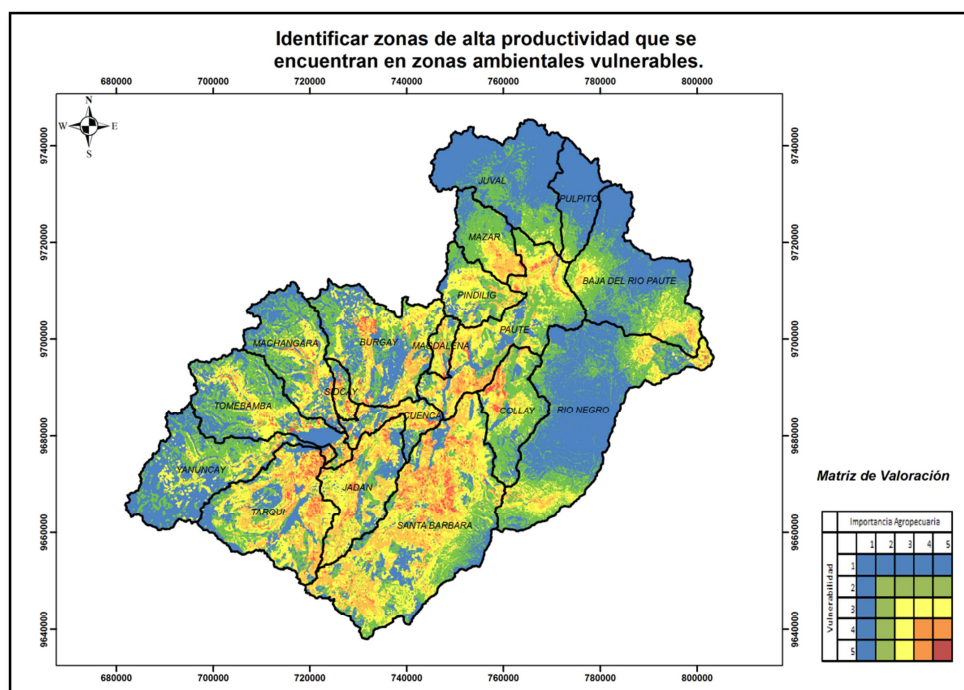


Fig. 5.66 Zonas de alta productividad que se encuentran en zonas ambientales vulnerables. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

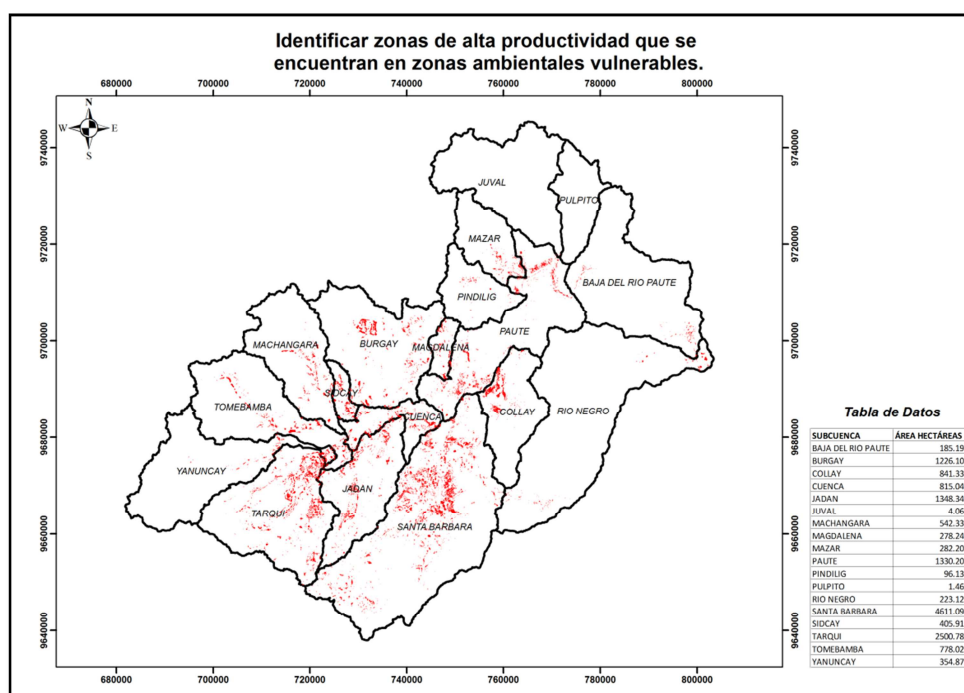


Fig. 5.67 Zonas de alta productividad que se encuentran en zonas ambientales vulnerables. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.7.5 Escenario Compartido 5

Objetivo: Identificar zonas de alta producción, regulación y protección del agua, que se encuentran en zonas de importancia ambiental.

Modelos utilizados:

Componente Disponibilidad del Agua		Componente Ambiental
Objetivo: Identificar las zonas para protección de drenaje (cantidad y calidad) y sus alrededores	Objetivo: Identificar las zonas mejor reguladas, con mayor producción de agua y donde se tiene más utilización del recurso hídrico, con la finalidad de conservarlas	Objetivo: Identificar zonas importantes ambientalmente
Cobertura Vegetal	Regulación de Agua	Cobertura
Protección del Recurso Hídrico	Producción de Agua	Agua
Calidad de Agua	Usos Consuntivos	Áreas Protegidas
	Usos no Consuntivos	Mapa Ecológico
		Bosques
		Endemismo
		Diversidad

Tabla 5.37 Modelos usados del Componente Disponibilidad del Agua y del Componente Ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

Resultado:

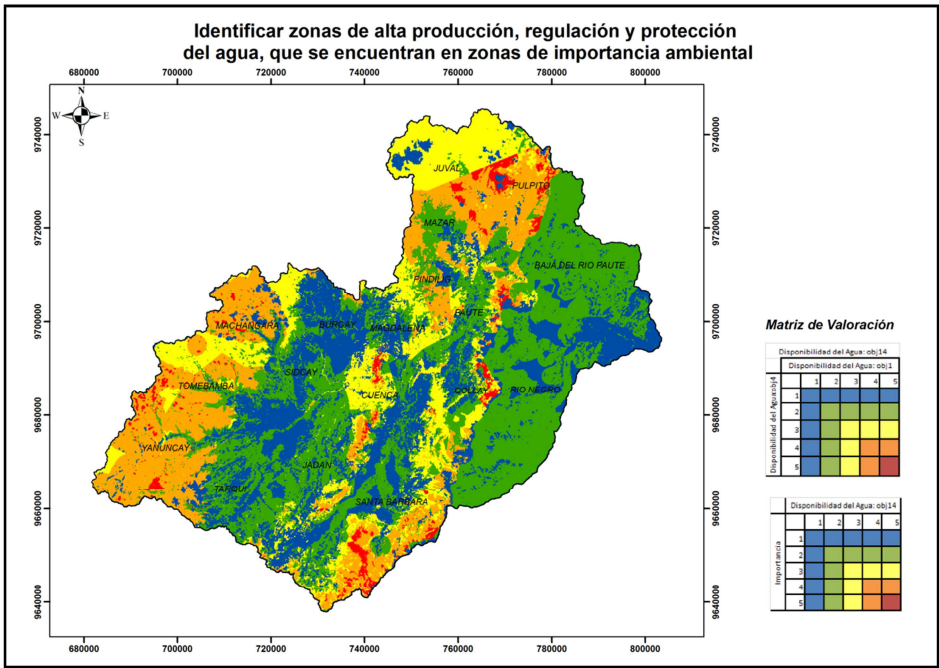


Fig. 5.68 Zonas de alta producción, regulación y protección del agua, que se encuentran en zonas de importancia ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

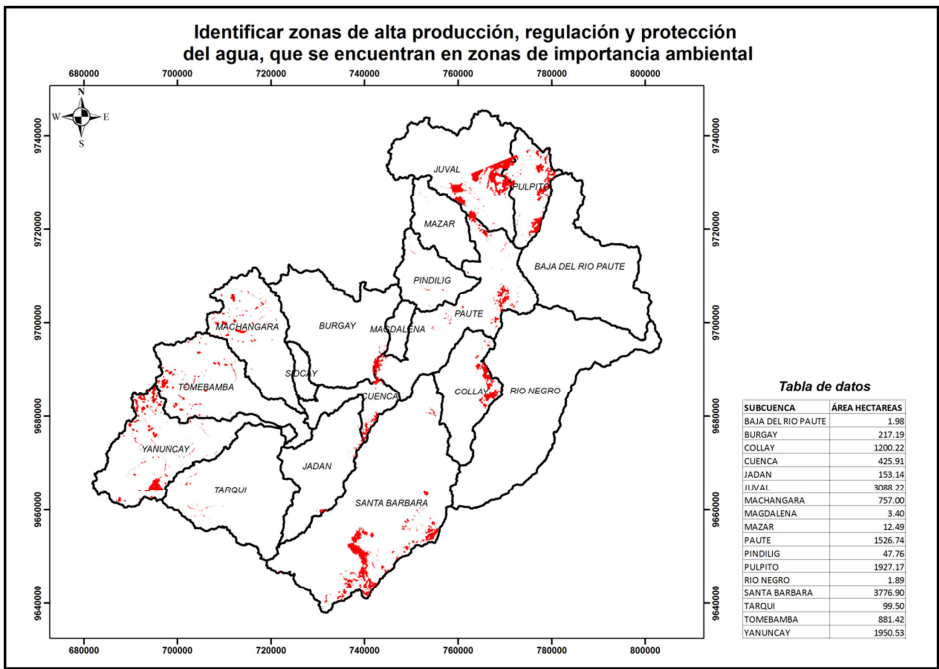


Fig. 5.69 Zonas de alta producción, regulación y protección del agua, que se encuentran en zonas de importancia ambiental. Fuente: (Santillán, Avilés, & León, 2011).

5.8 Conclusiones

Al terminar este capítulo, se pudo determinar que el proceso matemático utilizado en la EMC, primero con la matriz de Saaty, luego con lógica difusa y finalmente con el análisis de sensibilidad; permitió comprobar que los datos obtenidos eran correctos y que la evaluación fue un éxito. Se pudieron definir 5 escenarios compartidos que permiten identificar zonas específicas que requieren intervención en función de las condiciones que los investigadores del proyecto consideraron convenientes obteniéndose en definitiva los resultados finales del proyecto en forma de mapas realizados con ayuda del software IDRISI y ArcGIS, demostrándose además que la elección del software para EMC fue acertada. Como observaciones, el grupo investigador manifestó que muchos datos eran incompletos y que se debe considerar mejorar los modelos cuando se disponga de información de mejor calidad.

CAPÍTULO VI: DIFUSIÓN DE RESULTADOS EN UN SERVIDOR DE MAPAS EN INTERNET

6.1 Introducción

Como paso final, se publicaron los resultados de los modelos espaciales en el Servidor de Mapas en Internet de la Universidad del Azuay; los cuales fueron obtenidos en el proyecto de Evaluación Multicriterio para la cuenca del río Paute. Para ello, se cargaron los mapas temáticos correspondientes y la información acerca de su procesamiento en una página web, disponible en el servidor de la Universidad, con acceso mundial sin restricciones; de manera que se refuerce la difusión de estos resultados, lo cual es muy importante en todo proyecto de investigación.

En este capítulo se describen los conceptos básicos de los componentes de un Servidor de Mapas y de una Infraestructura de Datos Espaciales IDE; también se detalla el procedimiento realizado para cargar los mapas y realizar la publicación en Internet de los mismos.

6.2 Servidor de Mapas en Internet

Un servidor de mapas en internet, o servidor de cartografía digital, provee cartografía a través de la red tanto en modo vectorial como con imágenes (Wikipedia, 2012). El servicio *Web Map Service* WMS definido por el OGC *Open Geospatial Consortium*, produce mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica (Wikipedia, 2012). OGC además provee las especificaciones para interoperabilidad a nivel de interfaz entre componentes para intercambiar información geográfica, a través de vocabularios, sintaxis y comandos; de manera que los clientes y servidores WMS puedan comunicarse independientemente de la plataforma o formato (Ballari, 2011).

WMS es un componente que permite la producción de mapas partiendo de datos georeferenciados, proveyendo un acceso a los mismos a través de internet; estos datos no son accedidos directamente sino son una representación gráfica de los mismos. Pueden contener información temática de varias capas tanto individualmente como integradas de acuerdo a lo necesario (Ballari, 2011).

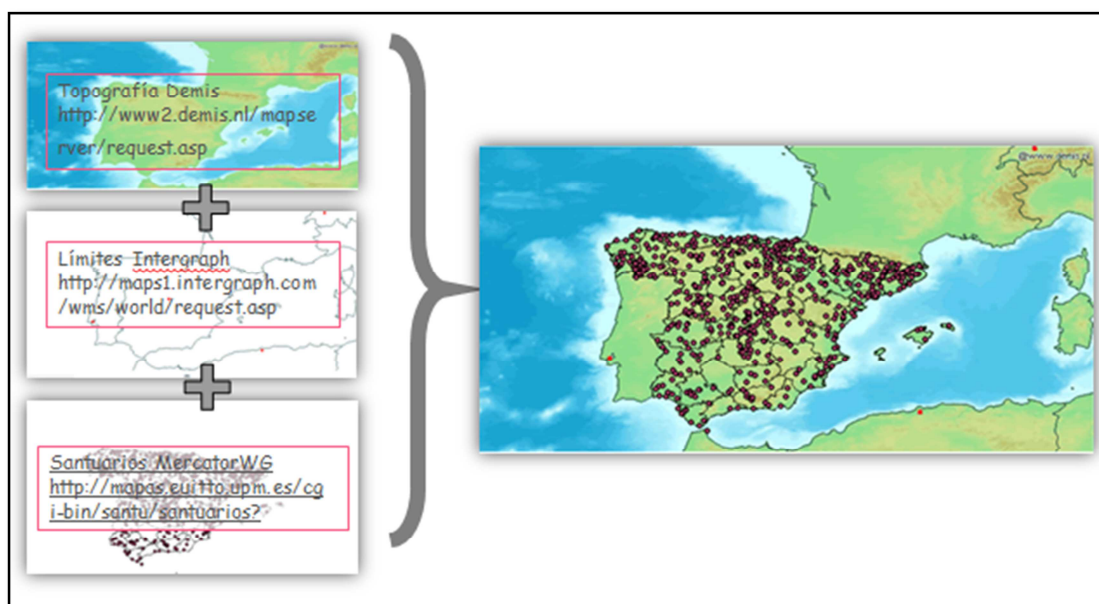


Fig. 6.1 Representación temática de mapas. Fuente: (Ballari, 2011).

6.2.1 Funcionamiento de un Servidor de Mapas en Internet

El mecanismo de funcionamiento básico de un Servidor de Mapas en internet utiliza la arquitectura cliente-servidor, en el cual un cliente puede ser un navegador web. Ejecuta el siguiente proceso:

1. El cliente realiza una petición de recursos al servidor.
2. El servidor procesa la solicitud y envía los resultados al cliente.

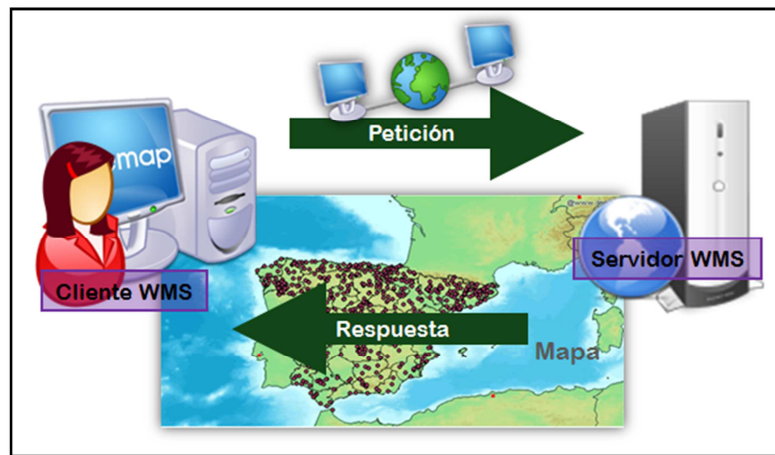


Fig. 6.2 Funcionamiento de un *Web Map Service*. Fuente: (Ballari, 2011).

Se conoce como *Web Mapping* al proceso de diseño, generación, implementación y difusión de mapas en Internet, utilizando a *IMS Internet Map Server* como la aplicación para realizar este procedimiento (Universidad Politécnica Salesiana, 2012).

6.2.2 Arquitectura de un Servidor de Mapas en Internet

Un Servidor de Mapas en Internet consta de los siguientes componentes:

- Computadora cliente para mapas.- Necesita contar con un navegador web, en función del tipo de servidor puede ser necesario componentes adicionales como *Java* o *Flash*.
- Conexión de red a Internet o Intranet.- En función de la infraestructura con la que se cuente, debe existir un medio de comunicación entre los datos localizados en el servidor y el cliente.

- Servidor.- El servidor maneja las solicitudes realizadas por el cliente en el navegador web, envía las respuestas en forma de páginas HTML o imágenes.
- Servidor de Aplicaciones *Web Application Server*.- Este servidor conecta diferentes componentes del programa con el servidor web como pasarela del lenguaje de programación.
- Servidor de Mapas Web.- Este servidor permite la visualización de mapas con datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica. Incluye los parámetros de capas, estilo, formato, proyección y simbología, según los estándares descritos por el OGC *Open Geospatial Consortium*.
- Metadatos.- Son la información esencial acerca de los mapas, su procesamiento, entidades que proveen la información, técnico que modificó el archivo, entre otros datos relacionados con la información espacial. (Universidad Politécnica Salesiana, 2012).

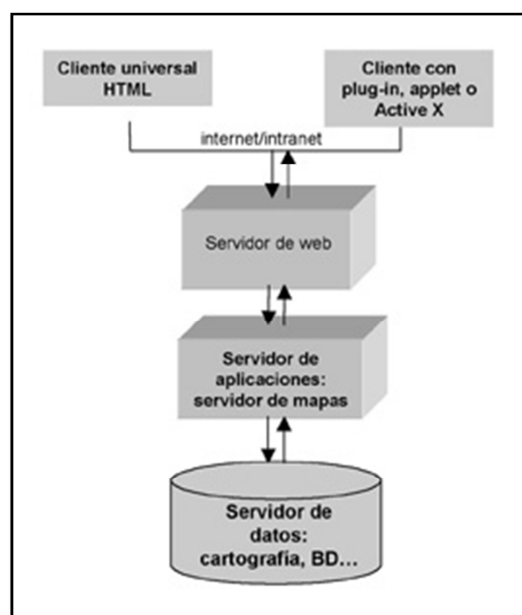


Fig. 6.3 Arquitectura de un Servidor de Mapas. Fuente: (Serra del Pozo, 2011).

6.3 Infraestructura de Datos Espaciales IDE

“Una IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,...) dedicados a gestionar Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,...), disponibles en Internet, que cumplen una serie

de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos, interfaces,...) que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades.” (IDEE Infraestructura de Datos Espaciales de España, 2012). Una IDE provee una base para la búsqueda, visualización, análisis y uso de datos espaciales a todos los niveles como administración pública, empresas, sectores sin ánimo de lucro, la universidad y los ciudadanos (Ballari, 2011).

6.3.1 Componentes de una IDE

Una Infraestructura de datos espaciales esta compuesta de cuatro componentes:

- Datos.- Pueden ser datos de referencia, como los que conforman un mapa base y datos temáticos como información temática.
- Metadatos.- Información descriptiva de los datos, propietario, procesamiento, fechas, etc.
- Servicios.- Son las funcionalidades que ofrece la IDE al usuario para aplicar sobre los datos geográficos como visualización de mapas, descarga de mapas, consultas, transformaciones, etc.
- Organización.- Permite que los tres principales componentes técnicos se mantengan, es la implementación de una estructura organizativa, de reparto de trabajo, estándares y normas y demás herramientas que permitan la organización al generar y difundir cartografía digital (Ballari, 2011).



Fig. 6.4 Componentes de una IDE. Fuente: (Ballari, 2011).

6.4 MapServer

MapServer es una plataforma de código abierto *Open Source* para la publicación de datos espaciales y aplicaciones cartográficas en la web. Su origen tiene lugar en 1990 en la Universidad de Minnesota, Estados Unidos. Es un programa *Common Gateway Interface CGI*, desarrollado en C; utiliza la información basada en la petición de un usuario en la URL y un archivo de tipo *.Map* para crear una imagen del mapa solicitado. En esa petición se pueden incluir las capas, leyendas, escalas, referencias. (Universidad Politécnica Salesiana, 2012).

6.4.1 Características de MapServer

- Soporte para mostrar y realizar consultas raster, vectorial y formato de base de datos.
- Funciona en varios Sistemas Operativos como: Windows, Linux, Mac OS X, entre otros.
- Soporta lenguajes de programación y entornos de desarrollo como: PHP, Python, Perl, Ruby, Java, .NET.
- Aplicación personalizable.
- Interacción con ambientes de código abierto. (MapServer, 2012)

6.4.2 Arquitectura MapServer

- Map File: Es el archivo en donde se define el área del mapa, el mismo que tiene una extensión que MapServer pueda reconocer. Este archivo indica a MapServer dónde están los datos y las imágenes de salida. También define las capas del mapa, incluyendo la fuente de sus datos, proyecciones y simbología.
- Datos Geográficos: MapServer puede utilizar muchos tipos de fuentes de datos geográficos, el formato por defecto es el *shapefile* de ESRI.
- Páginas HTML: Es la interfaz entre el usuario y MapServer. MapServer puede ser llamado a colocar una imagen de mapa estático en una página HTML.
- MapServer CGI: Es el archivo ejecutable que recibe peticiones y devuelve las imágenes, datos, etc., localizado en el *cgi-bin* o *scripts* del servidor HTTP. El usuario del servidor Web debe tener derechos de ejecución para el directorio, el mismo que no debe estar en la raíz Web.

- HTTP Server: Sirve para las páginas HTML cuando son llamados por el navegador del usuario. Se necesita un servidor HTTP como Apache o *Microsoft Internet Information Server*, en la computadora o servidor en el que se va a instalar MapServer (Cedillo & Vintimilla, 2010).

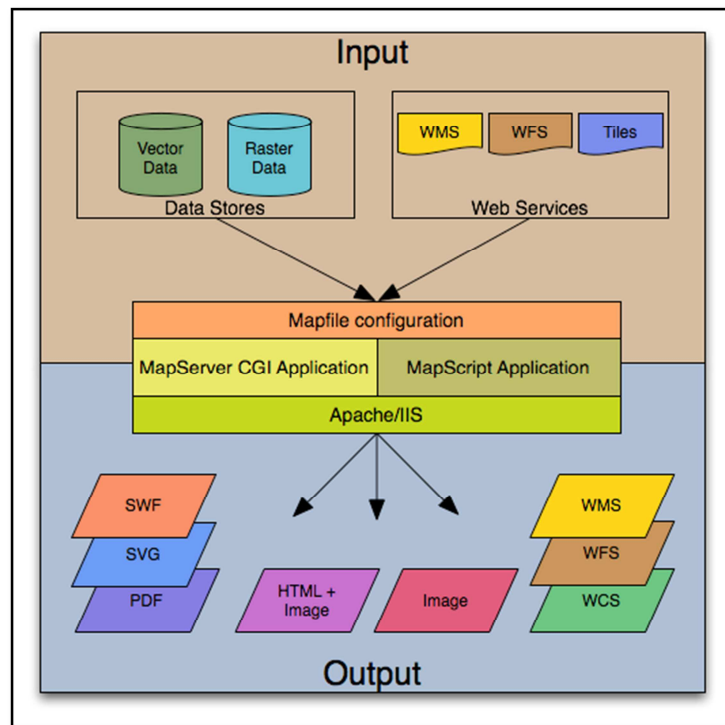


Fig. 6.5 Arquitectura de una aplicación MapServer. Fuente: (MapServer, 2012).

6.5 Open Layers

OpenLayers es una biblioteca de *JavaScript* orientada a objetos, cuyo objetivo es la visualización de los datos de mapas en la mayoría de navegadores Web. La principal ventaja de esta herramienta es que va dirigida a la Web, pues la cartografía digital que se desee publicar en el Internet lo podemos hacer a través de la misma; además *OpenLayers* ofrece variedad de funciones y servicios adecuados para el manejo de los datos que se desee publicar. (Cedillo & Vintimilla, 2010). (OSGeo, 2012).

6.5.1 Componentes de *OpenLayers*

Layer Switcher: Control para la gestión de la visibilidad de capas.

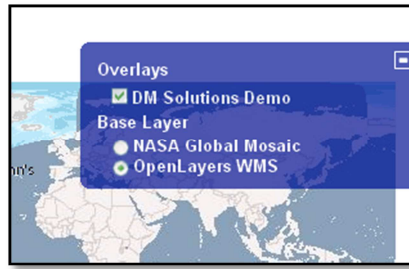


Fig. 6.6 *Layer Switcher*. Fuente: (OSGeo, 2012).

PanZoomBar: Crea una barra de acercamiento y un panel de navegación que contiene los botones de *ZoomIn* y *ZoomOut* a los extremos. Hay tres maneras para utilizar la *zoom bar*:

- Al presionar los botones de + o - dispuestos en los extremos de la barra, el resultado será el aumento/disminución de un nivel de acercamiento.
- Al presionar en cualquier punto de la *zoom bar* o barra de desplazamiento (*slider*) se mueve al nivel de acercamiento más cercano, el mapa se actualiza al nivel correspondiente.
- Desplazamiento del cursor a un nivel de acercamiento concreto, el *slider* se posiciona en el nivel más cercano y el mapa se actualiza al nivel correspondiente.



Fig. 6.7 *PanZoomBar*. Fuente: (OSGeo, 2012).

Overview Map: Crea un mapa de navegación que indica la posición del mapa principal desde una perspectiva global; se posiciona en el ángulo inferior derecho y puede ser reducido con un clic en el botón con su borde. El rectángulo dibujado en este mapa puede moverse para cambiar la posición de visualización del mapa.



Fig. 6.8 *Overview Map*. Fuente: (OSGeo, 2012).

Permalink: Ofrece un enlace al mapa, el mismo que permite guardar en un simple vínculo el estado de navegación en el mapa.



Fig. 6.9 *Permalink*. Fuente: (OSGeo, 2012).

Mouse Toolbar: Barra de herramientas que permite escoger cómo utilizar el ratón entre navegación y acercamiento con una ventana.

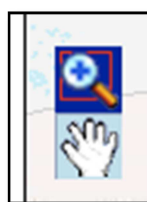


Fig. 6.10 *Mouse Toolbar*. Fuente: (OSGeo, 2012).

Scale Line: Muestra una escala gráfica sobre el mapa.

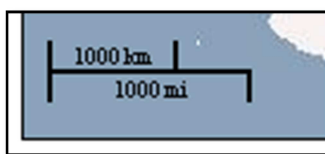


Fig. 6.11 *Scale Line*. Fuente: (OSGeo, 2012).

Mouse Position: Indica las coordenadas actuales del cursor sobre el mapa.



Fig. 6.12 *Mouse Position*. Fuente: (OSGeo, 2012).

6.6 Cartografía Temática y Página Web

Para la publicación de la cartografía, se debió seguir una serie de procesos necesarios para preparar tanto los mapas como la arquitectura necesaria para soportarlos.

6.6.1 Preparación de capas temáticas

Todas las capas fueron obtenidas finalmente en el programa Idrisi, donde se realizó una exportación a formato *shape* de cada escenario combinado para permitir su consulta posterior. Estas capas debieron ser procesadas utilizando ArcGIS, para unir mediante la herramienta *dissolve* todos los polígonos independientes que compartían la misma categoría y así disminuir el impacto gráfico de la capa al momento de ser procesada en el servidor de mapas. Cabe recalcar que se realizaron pruebas con estas capas, en las cuales se pudo observar que el tiempo de espera en la carga era muy alto antes de este procesamiento, razón por la cual fue necesario hacerlo.

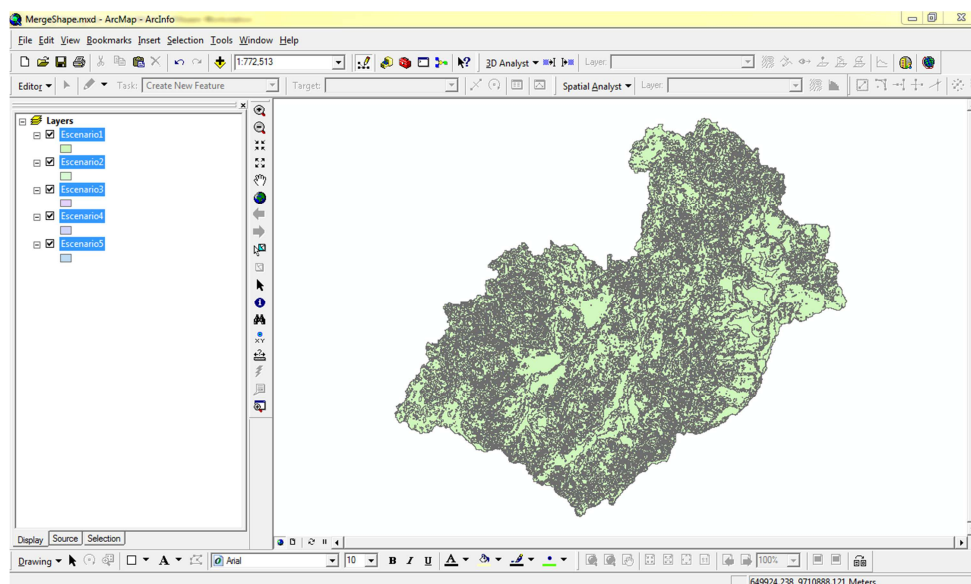


Fig. 6.13 Uso de ArcGIS para procesar los mapas.

6.6.2 Máquina virtual

Para la etapa de programación de la página web, se utilizó una máquina virtual basada en el Sistema Operativo CentOS 5; la cual cuenta con la misma estructura y servicios que el servidor de mapas de la Universidad, permitiendo así tener garantía de su correcto funcionamiento al momento de cargar la versión definitiva al mismo. Esta máquina virtual funciona en el programa VMware versión 7.

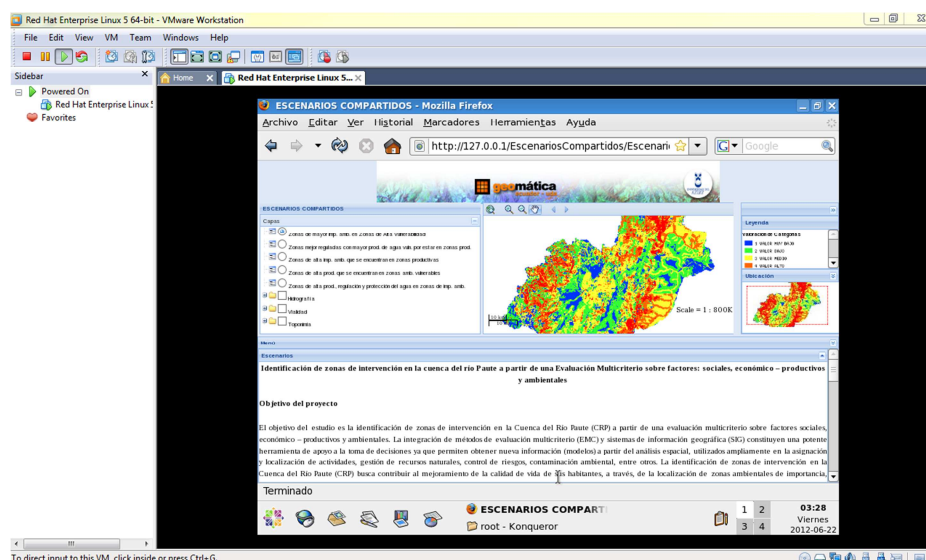


Fig. 6.14 CentOS 5 corriendo en una máquina virtual.

6.6.3 gvSIG

gvSIG es un sistema de información geográfico de código abierto, distribuido bajo licencia GNU GPL *General Public License*. Incluye el manejo de información vectorial y raster y la exportación directa de capas temáticas a archivos .map y bases de datos PostGIS.

En el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizó gvSIG 1.1.2, con el propósito de exportar las capas temáticas a un archivo .map, en función de los colores designados para cada categoría de los escenarios. Este archivo contiene

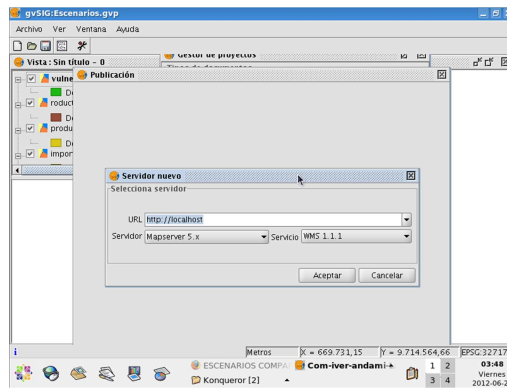


Fig. 6.15 Exportación de capas temáticas en gvSIG.

6.6.4 MapFish

MapFish es un *framework* o marco de trabajo de código abierto que provee soporte para datos espaciales, utilizando como base *JavaScript*. El propósito de esta herramienta es brindar mejoras visuales y funcionales a una página web destinada a la publicación de mapas; entre ellas las de impresión, búsqueda y edición. (Wikipedia, 2012). (MapFish, 2012).

MapFish se encuentra fundamentada en el *framework* *Pylons Python web*, extendiendo su funcionalidad con características geoespaciales como la edición y consulta de objetos geográficos. Incluye herramientas de prueba y compresión en *JavaScript* como *ExtJS*, *OpenLayers* y *GeoExt*. Este *framework* además cumple con los estándares del *Open Geospatial Consortium* en las normas de WMS, WFS, WMC, KML, GML, etc. (MapFish, 2012).

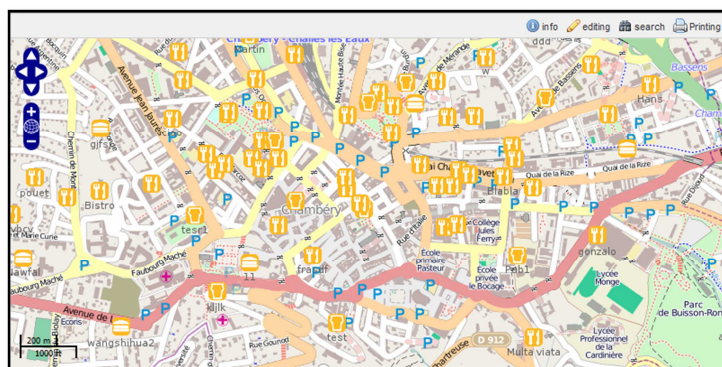


Fig. 6.16 Demostración de una implementación de MapFish en OpenLayers. Fuente: (MapFish, 2012).

Para el desarrollo de la página web, se utilizaron librerías de ejemplo disponibles en el sitio web de MapFish, especialmente para facilitar la implementación de menús que permitan manipular la cartografía disponible en el mapa. Además se incluyeron divisiones que permiten mostrar u ocultar la leyenda e información adicional, permitiendo así al usuario concentrarse únicamente en los mapas.

6.6.5 Programación

El desarrollo de la página web se concentró en la difusión de los resultados de la investigación del Equipo Técnico, de una forma clara, simple y con buena estética desde una perspectiva visual y técnica. Un aspecto clave fue incluir la información de cada escenario, de manera que los usuarios puedan consultar los detalles y criterios bajo los cuales se realizó la EMC y cualquier dato adicional que requieran con respecto al modelo que están visualizando.

Desde el aspecto técnico, para la programación del código HTML, se utilizó el *framework* de *MapFish* y *OpenLayers* en la presentación de los mapas temáticos. Debido a que la publicación de los mapas utilizando *OpenLayers* cumplió con las expectativas de consulta y visualización, no fue necesario generar una base de datos espacial en PostgreSQL como estaba propuesto en el diseño de tesis, ya que ésta implementación añadía mayor latencia al desplazarse en el mapa, mayor tiempo al cargar la página y sobretodo no aportaba elementos nuevos en la visualización del mismo; cabe indicar que esto se fundamenta en el alcance del proyecto de investigación y por lo tanto se ha buscado la mejor forma de presentar los resultados sin afectar el rendimiento durante las consultas, y desde esta perspectiva se considera que las capas en formato shape visualizadas a través de *OpenLayers* cumplen directamente con éste propósito.

Se ha verificado además con otros trabajos de graduación, que el tiempo de procesamiento para mapas publicados desde una base de datos espacial, y visualizados mediante *OpenLayers*, es superior al normal; comprobando así que no es conveniente utilizar este método, al menos desde la perspectiva y alcance de este proyecto, el cual se limita a mostrar los resultados pero no permite la manipulación de los mismos.

6.6.5.1 Componentes

En el diseño de la página web se identifican los siguientes componentes:

- Menú de capas: Este menú se encuentra localizado en la parte central izquierda de la página. Permite la selección del escenario que se desea mostrar, además de las diferentes capas de cobertura base como hidrografía, vialidad y toponimia. Para poder visualizar información sobre el modelo, basta presionar el nombre del mismo de este menú y ésta se visualizará en la zona correspondiente de la página; estos dos aspectos son independientes entre sí, permitiendo así visualizar un modelo mientras se observa información relativa a otro, esto con el propósito de facilitar la comparación en tiempo real.
- Área del mapa: Esta área está localizada en la parte central de la página. Permite la visualización del modelo actualmente seleccionado, además de contar con herramientas para realizar el acercamiento/alejamiento en el mapa.
- Leyenda y Ubicación: Esta zona se encuentra en la parte derecha central de la página. Incluye la leyenda y simbología para cada categoría de los elementos visualizados en el mapa y además una ubicación global de la zona de estudio para identificar el área en donde el usuario se encuentra localizado. Esta parte es plegable al presionar el botón correspondiente, permitiendo así incrementar el tamaño de la zona de visualización del área del mapa.
- Menú y zona de contexto: Este menú ocupa la zona inferior del mapa, incluye la información relativa a cada modelo, así como también detalla la forma en la que se realizó la evaluación multicriterio.

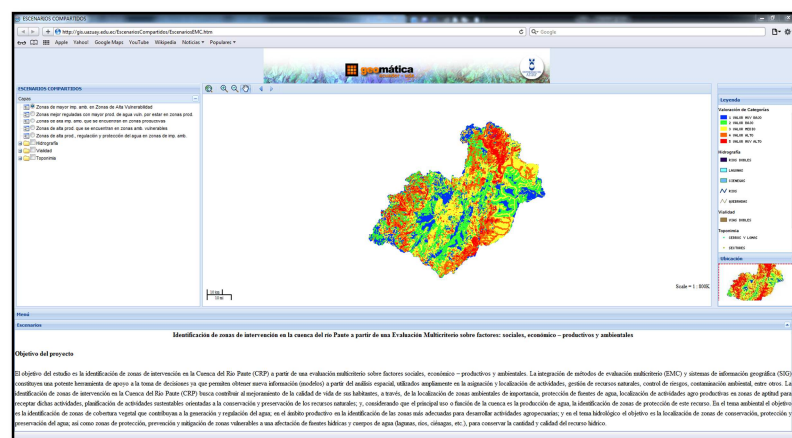


Fig. 6.17 Componentes de la página web.

6.6.6 Publicación

Para la publicación de la página web, se cargaron los datos en el servidor de mapas de la Universidad del Azuay, en la estructura establecida para ello. Debido a que todo el desarrollo fue realizado en una máquina virtual de estructura idéntica al servidor, el único procedimiento que se debió realizar fue cambiar las rutas de acceso locales en la página web original por accesos desde internet en la página web cargada en el servidor. Como detalle importar se debe señalar que los archivos cargados en el Sistema Operativo CentOS son sensibles a cualquier cambio de mayúsculas o minúsculas, por lo que se debe tener un control importante al intercambiar estos archivos entre entornos Windows y Linux.

Los datos correspondientes a mapas temáticos de la página web fueron almacenados localmente en el servidor de mapas, además se incluyó un acceso al dominio de la Universidad del Azuay para permitir el acceso a la página desde cualquier lugar del mundo. Como el resto de trabajos publicados por estudiantes, este trabajo se encuentra localizado bajo el menú “Servicios”, apartado “Otros visualizadores temáticos” dentro de la página web de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Universidad del Azuay.

Página web de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Universidad del Azuay:

<http://gis.uazuay.edu.ec/ide/>

Página web donde esta localizado este trabajo de investigación:

<http://gis.uazuay.edu.ec/EscenariosCompartidos/EscenariosEMC.htm>

6.6.7 Pruebas de uso con la página web

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la página web en los diferentes navegadores web disponibles, se realizó una serie de pruebas para identificar el nivel de compatibilidad con los más utilizados actualmente.

6.6.7.1 Compatibilidad con Mozilla Firefox

Para las pruebas se utilizó la versión 13 de este programa. En general la página web se ejecuta correctamente, aunque ocasionalmente es necesario recargar la página para que se ejecuten correctamente los menús y se carguen los mapas. Una vez que la

página se ha cargado no existen problemas de renderizado o al manipular los menús y mapas, por lo que se puede recomendar este navegador como adecuado para la visualización de esta página web. Como observación se puede comentar que este navegador no es el más rápido al momento de manipular la página web.

6.6.7.2 Compatibilidad con Google Chrome

Para las pruebas se utilizó la versión 19 de este programa. Este navegador funciona correctamente en cualquier momento con la página web, los menús se cargan rápidamente y nunca se observó problemas de renderizado o de carga de datos. El tiempo de carga es el menor de los navegadores probados y la velocidad al manipular los mapas es la más rápida. Este navegador es definitivamente recomendado para visualizar esta página web. Cabe destacar un aspecto importante acerca del uso de este navegador, ya que es el más utilizado de América del Sur, y específicamente de Ecuador. (StatCounter GlobalStats, 2012).

6.6.7.3 Compatibilidad con Safari

Para las pruebas se utilizó la versión 5 de este programa. Este navegador funciona correctamente con la página web y no se observaron problemas al momento de realizar la carga de los mapas y los diferentes elementos presentes en la página. El tiempo de carga es promedio en comparación con el resto de navegadores analizados. Se recomienda el uso de este navegador para la visualización de esta página web.

6.6.7.4 Compatibilidad con Opera

Para las pruebas se utilizó la versión 12 de este programa. Este navegador funciona correctamente con la página web y no se observaron problemas al momento de realizar la carga de los mapas y los diferentes elementos presentes en la página. El tiempo de carga es promedio en comparación con el resto de navegadores analizados. Se recomienda el uso de este navegador para la visualización de esta página web.

6.6.7.5 Compatibilidad con Internet Explorer

Para realizar pruebas de compatibilidad con este programa se utilizaron 2 versiones diferentes: 8 y 9. En ambas versiones se presentaron problemas muy graves al cargar la página, mostrando en forma inutilizable el mismo. Para el caso puntual de la versión 8 se puede observar que la página se carga completamente, pero los

diferentes componentes no reaccionan al momento de ser seleccionados; es decir, las capas no pueden ser seleccionadas. En el caso de la versión 9, solo carga parcialmente la página y tiene problemas para cargar los mapas de *OpenLayers* y el *framework* de MapFish. De acuerdo a mis consideraciones, se ha observado con claridad el hecho de que los navegadores Internet Explorer no cumplen con muchos estándares web, lo cual probablemente puede estar causando inconvenientes al momento de cargar este tipo de tecnologías *JavaScript* en la página web. La recomendación es que se utilice un navegador web alternativo, ya que con cualquier versión de éste se van a producir problemas.

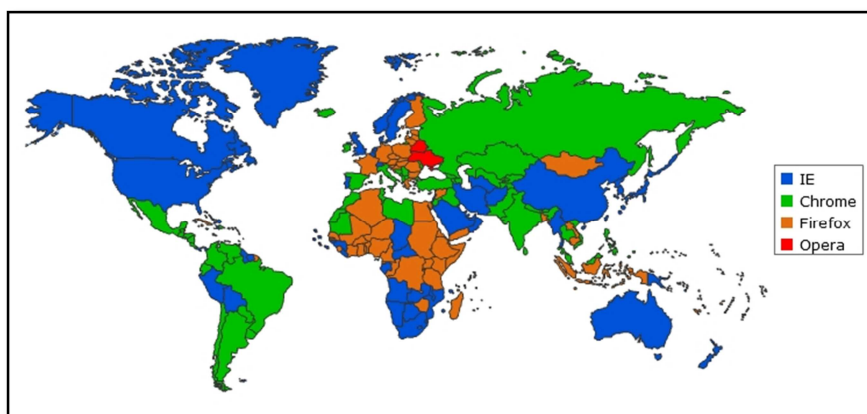


Fig. 6.18 Estadísticas de uso de navegadores Web por País. Fuente: (StatCounter GlobalStats, 2012).

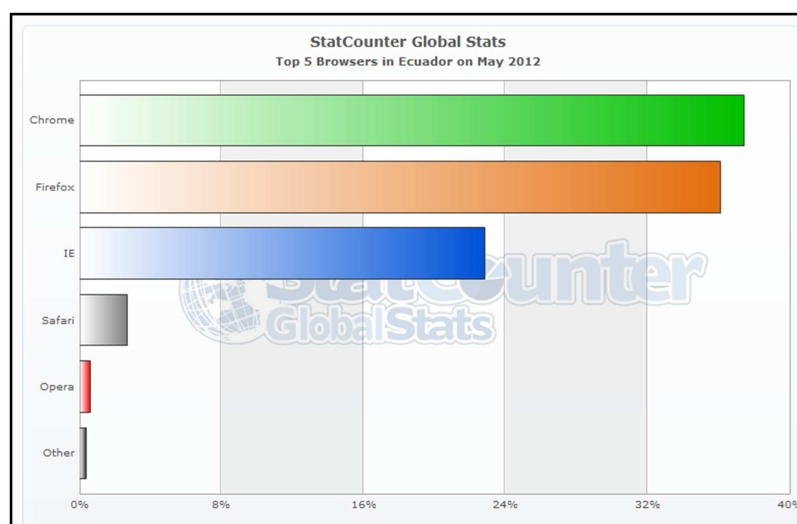


Fig. 6.19 Estadísticas de uso de navegadores Web en Ecuador. Fuente: (StatCounter GlobalStats, 2012).

De las figuras anteriores se desprende que Google Chrome y Mozilla Firefox tienen una presencia mayoritaria a nivel mundial, siendo notables excepciones Norte América y ciertos países de Europa y África en donde la hegemonía de Internet Explorer prevalece. Para el caso de América del Sur y particularmente Ecuador, se puede observar que Google Chrome y Mozilla Firefox gozan de una tasa de uso superior al 65% en el país, mientras que Internet Explorer cuenta con una tasa inferior al 23% que inclusive continua en descenso; esto demuestra que la mayoría de usuarios ecuatorianos utilizan navegadores web modernos y por lo tanto la compatibilidad de la página web desarrollada con todo el resto de navegadores supone una posibilidad de acceso con compatibilidad garantizada superior al 70% de los usuarios de internet en el país, lo cual es una cifra muy buena.

Como un dato adicional, se puede mencionar que se realizaron pruebas desde dispositivos iOS (iPad, iPhone) en donde la página se cargó sin problemas ya que los mismos incluyen como navegador una versión de Safari compatible con *JavaScript*. Sin embargo, no se incluye formalmente un análisis de compatibilidad con los mismos debido a que la página web fue diseñada para ser utilizada con un ratón, y al intentar interactuar con los dedos directamente en la pantalla de estos dispositivos táctiles, resulta en una experiencia de uso muy pobre y confusa. Por esta razón se ha descartado mencionar como recomendados a este tipo de dispositivos.

6.7 Conclusiones

A lo largo de este capítulo se han podido definir los conceptos fundamentales de la arquitectura y las características de un servidor de mapas; se han detallado los componentes de una Infraestructura de Datos Espaciales IDE, *MapServer*, y *OpenLayers*, Se detalló también el procedimiento realizado en la preparación de las capas temáticas, la programación y diseño de la página web detallando las herramientas utilizadas con ese fin. Finalmente, se pudo concretar la publicación de la página web en el servidor de mapas de la Universidad del Azuay, y se realizaron las pruebas de uso correspondientes para identificar posibles problemas de compatibilidad en diferentes navegadores de internet. Se destaca que Internet Explorer, en sus diferentes versiones, presenta posibles problemas graves de compatibilidad para mostrar la página correctamente, lo cual no es un factor de preocupación, considerando las elevadas tasas de uso de navegadores como Google Chrome, en el cual la página puede ser visualizada sin inconvenientes.

La página web está disponible en:

<http://gis.uazuay.edu.ec/EscenariosCompartidos/EscenariosEMC.htm>

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La organización y sistematización de archivos fue clave para el desarrollo correcto del proyecto de investigación. Se pudo además completar los detalles de metadatos para preparar todos los archivos para su posterior procesamiento.
- De los 36 indicadores analizados, luego de pruebas y análisis realizados por el equipo de investigadores, fueron seleccionados 26 para el desarrollo del proyecto. Esto garantiza que la información fue validada por profesionales de cada rama y por lo tanto fue la correcta para la ejecución del mismo.
- Se definieron los conceptos fundamentales de una evaluación multicriterio, indicando su historia como método, así como también determinando el procedimiento necesario para su implementación en SIG.
- Para el modelo matemático, se estableció a la sumatoria lineal ponderada como el mejor mecanismo para la evaluación multicriterio, ya que la asignación de pesos para cada factor permitió identificar con claridad la realidad del territorio de estudio. Se pudo comprobar que los datos procesados eran correctos al volver a ejecutar los modelos utilizando lógica difusa, y finalmente se comprobaron las variables de entrada en la EMC mediante un análisis de sensibilidad.
- Se realizó una comparativa de varios programas COTS para EMC disponibles en el mercado, y mediante la aplicación del estándar ISO 9126-1 se pudo evaluar técnicamente a los mismos, determinando que IDRISI era la opción que mejor se adaptaba a los objetivos del proyecto.
- El estándar ISO 9126-1 resultó ser el adecuado para la evaluación de los programas identificados. El uso de la matriz (Anexo 1) fue una parte fundamental en el análisis y selección del programa para el proyecto.
- La EMC se realizó sin inconvenientes en el programa elegido (IDRISI), demostrándose así que la selección fue correcta. También se comprobó que los modelos matemáticos podían ser aplicados y que se acoplaron al proyecto de investigación en forma adecuada.

- Luego de realizada la EMC, se obtuvieron 5 escenarios compartidos, los cuales contienen las combinaciones propuestas por el equipo de investigadores y permiten identificar las zonas que requieren de intervención en el área de estudio.
- Se ha verificado la potencialidad de EMC en sistemas geográficos, particularmente para el caso en el que se identifiquen varios criterios que no sean necesariamente compatibles entre sí.
- La alta especialización del equipo investigador fue clave para el desarrollo del proyecto, ya que permitió asignar pesos adecuados a cada factor analizado y por lo tanto pudo conducir el desarrollo de la investigación en forma correcta.
- Estas zonas identificadas por el equipo investigador, resultaron ser coincidentes con las zonas en las que actualmente se encuentra trabajando FONAPA, por lo cual la investigación pudo ser validada en su totalidad, garantizando que esas intervenciones se encuentran justificadas.
- Se definieron los conceptos de servidores de mapas e IDE, detallando cada uno de sus componentes, sus funciones y arquitectura.
- Se desarrolló una página web utilizando como *framework* MapFish y como visualizador de mapas OpenLayers. Esta página tiene el objeto de difundir los resultados de la investigación mediante la publicación de los 5 escenarios finales y una explicación de cómo se realizó la EMC en el proyecto para que estos mapas puedan tener una mejor lectura. La página está disponible en: <http://gis.uazuay.edu.ec/EscenariosCompartidos/EscenariosEMC.htm>
- Luego de las pruebas de uso se determinó que Google Chrome, Mozilla Firefox, Safari y Opera son los navegadores con mejor compatibilidad para la visualización de la página web desarrollada. Se consultaron las tasas de uso de navegadores, encontrándose que a mayo del 2012, Google Chrome y Mozilla Firefox son los navegadores más utilizados en Ecuador con una tasa de uso superior al 65%.
- El desarrollo de esta tesis, permitió colaborar en forma directa y dinámica con un equipo multidisciplinario, realizando aportes significativos desde las enseñanzas aprendidas en la carrera de Ingeniería de Sistemas; comprobándose así que el tema elegido fue adecuado como proyecto final de la misma.

Recomendaciones:

- Mejorar la calidad de los datos de entrada, ya que muchos temas estaban incompletos; esto puede generar errores o vacíos en ciertas áreas de la zona de estudio y puede ser mejorado si se obtienen datos actualizados de fuentes de confianza.
- Mejorar las condiciones del servidor de mapas de la Universidad del Azuay, ya que se ha identificado que ciertos problemas de incompatibilidad y lentitud en el acceso a mapas almacenados en el mismo se deben a una arquitectura antigua y a un sistema operativo relativamente desactualizado.
- Ampliar el análisis de factores para la evaluación multicriterio, mediante la inclusión de temas ambientales como la calidad del aire, ruido entre otros.
- Desarrollar un sistema interactivo, que permita cambiar los pesos de los factores para poder visualizar en tiempo real los diferentes cambios que estos producen al realizar la evaluación multicriterio.
- Incorporar mecanismos de participación social activa para la página web, como por ejemplo incluyendo Facebook o Twitter y habilitando comentarios geo posicionados en los mapas.
- Realizar una implementación de esta página web optimizada para dispositivos táctiles, permitiendo así una buena experiencia de uso en dispositivos iOS y Android.

GLOSARIO

Álgebra Booleana: estructura algebraica que esquematiza las operaciones lógicas Y, O, NO y SI (AND, OR, NOT, IF), así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento.

Antrópico: conjunto de procesos de degradación del relieve y del subsuelo causado por la acción del hombre.

Biota: conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada.

Consuntivo: uso del agua que no se devuelve en forma inmediata al ciclo del agua.

Covarianza: medida de dispersión conjunta de dos variables estadísticas.

Heurística: arte, técnica o procedimiento práctico o informal para resolver problemas.

Histograma: representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

Kernel: núcleo, parte esencial de un sistema operativo que provee los servicios más básicos del sistema. Se encarga de gestionar los recursos como el acceso seguro al hardware de la computadora.

Quantiles: puntos tomados a intervalos regulares de la función de distribución acumulativa de una variable.

Virtualización: creación, a través de software, de una versión virtual de algún recurso tecnológico, como puede ser una plataforma de hardware, un sistema operativo, un dispositivo de almacenamiento u otros recursos de red.

BIBLIOGRAFÍA

- Addinsoft. (2004). XLSTAT-PRO User's Manual.
- Anavberokhai, I. O. (Agosto de 2008). Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria. Sweden.
- Ballari, D. (22 de Noviembre de 2011). WMS Servicio de mapas. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Bertoa, M. F., Troya, J. M., & Vallecillo, A. (2008). *Aspectos de Calidad en el Desarrollo de Software Basado en Componentes*. Málaga: Depto. Lenguajes y Ciencias de la Computación. Universidad de Málaga.
- Bosque Sendra, J. (2001). Planificación y Gestión del Territorio. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). *El Campo de las Ciencias y las Artes*, 137-174.
- Botella, P., Burgués, X., Carvallo, J. P., Franch, X., Grau, G., Marco, J., & Quer, C. (200-). ISO/IEC 9126 in practice: what do we need to know? Cataluña, España: Departament d'Enginyeria de Serveis i Sistemes d'Informació ESSI — UPC Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech.
- Briceño Valera, F. (2005). Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. *Revista Geográfica Venezolana*, 35-45.
- Burrough, P. A. (1989). Fuzzy mathematical methods for soll survey and land evaluation. *Journal of Soll Science*, 477-492.
- Burrough, P. A., & McDonnel, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Carver, S. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 321-339.
- Cedillo, N. C., & Vintimilla, G. A. (2010). ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO DE CÓDIGO ABIERTO (GVSIG). Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad del Azuay.
- Celleri, R. (2007). *Rainfall variability and rainfall-runoff dynamics in the Paute River Basin – Southern Ecuadorian Andes*. Lovaina: Katholieke Universiteit Leuven.

- Cellura, M., Beccali, G., & Mistretta, M. (6-11 de Enero de 2002). A Decision Support System Software based on Multi-Criteria Analysis for the Selection of Urban Sustainability Scenarios. Palermo, Italia.
- Chakhar, S., & Mousseau, V. (2008). Multicriteria spatial decision support systems. París, Francia: University of Paris Dauphine.
- Chandra Karnatak, H., Saran, S., Bhatia, K., & Roy, P. S. (2007). Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. *Geoinformatica*, 407-429.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Mc GRAW HILL.
- Clark Labs. (01 de Abril de 2006). IDRISI Andes. *GIS and Image Processing Software*. Worcester USA: Clark University.
- Clark Labs. (04 de Febrero de 2011). *Clark Labs-IDRISI GIS and Image Processing Software*. Recuperado el 10 de 02 de 2011, de <http://www.clarklabs.org/>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 37-46.
- Coloson, G., & De Bruyn, C. (1989). *Models and Methods in Multiple Objective Decision Making*. Londres: Pergamon.
- Consorcio BCEOM-GMI-WSA. (2005). *Plan Intermodal de Transportes del Perú*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones/OGPP.
- Delgado, O. (Noviembre de 2008). Georeferenciación de Información raster, integración de mediciones GPS y análisis espacial de datos geográficos. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Eastman, J. R. (01 de Abril de 2006). IDRISI Andes Tutorial. Worcester USA: Clark University.
- Eastman, J. R. (s.f.). IDRISI Andes. *Guide to GIS and Image Processing*.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A., & Toledano, J. (1993). *Gis and Decision Making*. Ginebra: United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Eldrandaly, k. (2007). GIS software selection: a multi criteria decision making approach. *Applied GIS*, 1-17.
- ESRI. (22 de Marzo de 2011). *ArcGIS Online*. Recuperado el 11 de 04 de 2011, de <http://www.arcgis.com/home/>
- Eugenin, J. C. (2004). Propuesta de ordenación para la subcuenca del estero llancahue, comuna de Valdivia, X región de los lagos. Temuco, Chile.

- FONAPA Fondo del agua para la conservación de la cuenca del río Paute. (17 de Enero de 2011). *FONAPA - Inicio*. Recuperado el 27 de 01 de 2011, de <http://www.fonapa.org.ec/inicio.html>
- Gómez Delgado, M., & Barredo Cano, J. I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio*. Madrid: RA-MA.
- Gómez Orea, D. (2007). *Ordenación territorial*. Madrid: Mundi- Prensa.
- Guarin Salazar, N. (2002). *Estadística descriptiva*. Medellín: LEALON.
- Gurrea, M. T. (2010). *UOC*. Recuperado el 31 de Marzo de 2010, de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf
- Herrmann, J. T. (2006). IDRISI Andes Edition Enhances Modules, Adds Land Change Modeler. *Earth Imaging Journal*.
- IDEE Infraestructura de Datos Espaciales de España. (22 de Mayo de 2012). *Portal IDEE*. Recuperado el 22 de 02 de 2011, de http://www.idee.es/show.do?to=pideep_que_es_IDEE.ES
- ILWIS. (25 de Marzo de 2011). *ILWIS GIS / REMOTE SENSING SOFTWARE*. Recuperado el 13 de 04 de 2011, de <http://www.ilwis.org/>
- INEC Instituto nacional de estadística y censos. (04 de Abril de 2011). *INEC*. Recuperado el 22 de 04 de 2011, de <http://www.inec.gob.ec/home/>
- IVM Institute for Environmental Studies VU University Amsterdam. (10 de Mayo de 2011). *DEFINITITE - Spatial Analysis Decision Support - VU University, Institute for Environmental Studies*. Recuperado el 26 de 05 de 2011, de <http://www.ivm.vu.nl/en/projects/Projects/spatial-analysis/DEFINITE/index.asp>
- Janssen, R., & Rietveld, P. (1990). *Multicriteria Analysis and GIS: An Application to Agricultural Landuse in The Netherlands*. Dordrecht Kluwer.
- Jiménez, A. M. (2006). *Sistemas y análisis de la información geográfica*. España: RA-MA.
- Lodwick, W., Monson, W., & Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographic information systems: suitability analysis. *International Journal of geographical Information Systems*, 413-428.
- López Marrero , T., González Toro, A., Heartsill Scalley, T., & Hermansen Báez, L. A. (s.f.). Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la planificación y la toma de decisiones acerca del uso de terrenos.

- Malczewski, J. (2006). Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *International Journal Environmental Technology and Management*.
- MapFish. (9 de Abril de 2012). *MapFish*. Obtenido de <http://www.mapfish.org/>
- MapServer. (22 de Mayo de 2012). *An Introduction to MapServer*. Obtenido de <http://mapserver.org/introduction.html>
- Mena Frau, C., Gajardo Valenzuela, J., & Ormazábal Rojas, Y. (2006). Modelación Espacial Mediante Geomática y Evaluación Multicriterio para la Ordenación Territorial. *Facultad de Ingeniería de la Universidad Tarapacá*, 81-89.
- Minga, D., Rodas, F., Serrano, F., Verdugo, A., & Zárate, E. (2000). *Diversidad forestal de la cuenca del río Paute*. Universidad del Azuay, Herbario Azuay. Cuenca: Escuela de Biología del Medio Ambiente.
- Morris, A. T. (2007). Revealing the ISO/IEC 9126-1 Clique Tree for COTS. Hampton, Virginia, Estados Unidos: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Natural Capital Project. (03 de Enero de 2011). *Natural Capital Project - InVEST*. Recuperado el 24 de 01 de 2011, de <http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>
- Orán Cáceres, J. P., Gómez Delgado, M., & Bosque Sendra, J. (2010). Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio. (J. Ojeda, M. F. Pita, & I. Vallejo, Edits.) *Tecnologías de la información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, 971-987.
- OSGeo. (22 de Mayo de 2012). *OpenLayers: Free Maps for the Web*. Obtenido de <http://openlayers.org/>
- PACC Proyecto Adaptación al Cambio Climático. (04 de Marzo de 2011). *PaccEcuador - INTRO-PACC*. Recuperado el 21 de 03 de 2011, de http://www.pacc-ecuador.org/index.php?option=com_content&task=view&id=31&Itemid=39
- Paegelow, M., Camacho, O., & Menor Toribio, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica*, 22-44.

- Perveen, F., Nagasawa, R., Uddin, I., & Delowar, H. K. (s.f.). CROP-LAND SUITABILITY ANALYSIS USING A MULTICRITERIA EVALUATION & GIS APPROACH. Japan.
- Pintado, P. (Marzo de 2009). Ingeniería de Software Basada en Componentes. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad del Azuay, Ingeniería de Software II.
- Pintado, P. (Marzo de 2009). Ingeniería Web. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad del Azuay, Ingeniería de Software II.
- Plata, W., Gómez, M., & Bosque, J. (2010). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. *Geofocus*, 103-134.
- Pontificia Universidad Católica de Chile y Centro de Cambio Global. (2009). *Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en Ecuador (PACC)*. Modelación hidrológica y de los Recursos hídricos de la cuenca del río Paute, Santiago de Chile.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Madrid: Alianza.
- Salinero, E. C. (2007). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. España: Editorial Ariel, S.A.
- Santillán, V., Avilés, A., & León, A. (2011). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRIORIZACIÓN DE ZONAS DE INTERVENCIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PAUTE*. Cuenca.
- Serra del Pozo, P. (4 de Julio de 2011). *Mapping Interactivo*. Obtenido de http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=179
- Sharifi, M. A., Van den toorn, W., Rico, A., & Emmanuel, M. (2002). Application of GIS and Multicriteria Evaluation in Locating Sustainable Boundary between the Tunari National Park and Cochabamba City (Bolivia). *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 151-164.
- Siegel, S. (1956). *Nonparametric Statistics for the behavioral sciences*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha.
- Sierra, R. (s.f.). *Vegetación Remanente del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Proyecto INEFAN / GEF y WILDLIFE Conservation Society.

- StatCounter GlobalStats. (25 de Junio de 2012). *Top Browsers Per Country, May 2012*. Obtenido de <http://gs.statcounter.com/#browser-ww-monthly-201205-201205-map>
- Suryn, W., & Abran, A. (3 de Noviembre de 2003). ISO/IEC SQuaRE. The second generation of standards for software product quality. Marina del Rey, California, Estados Unidos: IASTED - SEA.
- Tahh  nn, M., Sánchez, R., Ortega, M., Pérez, M., & Mendoza, L. (2006). Modelo para estimar la calidad en los Sistemas de Información Geográfica. Acapulco, México.
- Universidad Polit  cnica Salesiana. (22 de Mayo de 2012). *Servidores de Mapas*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/56/10/Capitulo4.pdf>
- Valpreda, E. C. (2005). Sistema de Información Geográfica (SIG) - Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC) en un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Londres: Pion.
- Wikipedia. (26 de Abril de 2011). *ISO/IEC 9126 - Wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9126
- Wikipedia. (12 de Julio de 2011). *Matriz de correlación - Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 28 de 07 de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_correlaci%3%B3n
- Wikipedia. (07 de Febrero de 2011). *Multi-criteria decision analysis wikipedia, the free encyclopedia*. Recuperado el 10 de 02 de 2011, de http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-criteria_decision_analysis
- Wikipedia. (19 de Abril de 2011). *Sistema de Coordenadas Universal Transversal de mercator - Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 23 de 05 de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Coordenadas_Universal_Transversal_de_Mercator
- Wikipedia. (05 de Abril de 2011). *Wikipedia*. Recuperado el 11 de 04 de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%3%B3n_Geogr%3BA1fica

- Wikipedia. (9 de Abril de 2012). *MapFish* - Wikipedia. Obtenido de <http://en.wikipedia.org/wiki/MapFish>
- Wikipedia. (22 de Mayo de 2012). *Servidor de mapas en internet* - Wikipedia. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_de_mapas_en_internet
- Wikipedia. (22 de Mayo de 2012). *Web Map Service*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Web_Map_Service
- Y., C., Yu, J., Shahbaz, K., & Xevi, E. (13 de Julio de 2009). A GIS-Based Sensitivity Analysis of Multi-Criteria Weights. Cairns, Australia.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 338-353.

ANEXOS

Anexo 1: Modelo ISO 9126-1

[illegible]