



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

Trabajo Experimental:

**“ESTUDIO DE USO TERRITORIAL A TRAVÉS DEL TIEMPO EN
EL BOSQUE PROTECTOR AGUARONGO EN BASE A SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y MODELOS DE PREDICCIÓN
DE USO DEL SUELO. ZONA DE ESTUDIO: PARROQUIAS
ZHIDMAD, SANTA ANA Y SAN BARTOLOMÉ”**

AUTOR:

DANIEL ESTUARDO ZUMBA ARICHÁVALA

TUTOR:

Ph.D FREDI PORTILLA FARFAN

CUENCA

2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Daniel Estuardo Zumba Arichávala, con documento de identificación N° 0105024996, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “ESTUDIO DE USO TERRITORIAL A TRAVÉS DEL TIEMPO EN EL BOSQUE PROTECTOR AGUARONGO EN BASE A SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y MODELOS DE PREDICCIÓN DE USO DEL SUELO. ZONA DE ESTUDIO: PARROQUIAS ZHIDMAD, SANTA ANA Y SAN BARTOLOMÉ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Daniel Estuardo Zumba Arichávala

Cédula: 0105024996

Junio de 2017

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“Estudio de uso territorial a través del tiempo en el Bosque Protector Aguarongo en base a sistemas de información geográfico y modelos de predicción de uso del suelo. Zona de estudio: parroquias Zhidmad, Santa Ana y San Bartolomé”**, realizado por DANIEL ESTUARDO ZUMBA ARICHÁVALA, obteniendo el “Trabajo Experimental” que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio de 2017.



Ph.D Fredi Portilla Farfán

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Daniel Estuardo Zumba Arichávala con número de cédula: 0105024996 autor del trabajo de titulación “ESTUDIO DE USO TERRITORIAL A TRAVÉS DEL TIEMPO EN EL BOSQUE PROTECTOR AGUARONGO EN BASE A SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y MODELOS DE PREDICCIÓN DE USO DEL SUELO. ZONA DE ESTUDIO: PARROQUIAS ZHIDMAD, SANTA ANA Y SAN BARTOLOMÉ” certifico que el total contenido del Trabajo de Experimental es de mí exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, junio de 2017.



Daniel Estuardo Zumba Arichávala

0105024996

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes que me ayudaron a formarme como profesional durante mi carrera.

Quiero agradecer de forma especial a las siguientes personas:

Dr. Fredi Portilla Farfán, Ph.D.

Mst. Omar Delgado Inga.

Quienes luego de profesores, los considero también amigos.

A mi familia por haberme brindado los medios para cursar mi carrera universitaria y su incondicional apoyo.

A mis compañeros de proyecto:

Vanessa, Pablo, Martha y Paola

RESUMEN

En el presente proyecto investigativo se generó un modelo para analizar el cambio de uso de suelo ocurrido en el área de influencia del Bosque Protector Aguarongo (BPA), para así determinar la injerencia de las actividades antropogénicas en áreas protegidas.

El proyecto se centró en el análisis del movimiento de las coberturas territoriales usando como método de estudio la investigación bibliográfica, el reconocimiento in situ, la aplicación de sistemas de información geográficos (SIG) y el uso de un lenguaje de programación (Python) para realizar el tratamiento de la información y validar los resultados obtenidos. Se partió del análisis temporal de los mapas cartográficos que indicaron las características del terreno desde la década de 1990, hasta la creación de un mapa actualizado empleando como fuente de información las fotografías aéreas digitales de la zona de estudio y sus sectores colindantes, con variables como: pendiente del territorio, tipos de coberturas, áreas de los polígonos y finalmente la capacidad de acogida territorial, que sirvió como variable de salida pues indicó la aptitud del territorio. Se demostró que las actividades antropogénicas ocasionan un impacto directo en el área del bosque protector por cuanto existe un avance de la frontera agrícola, una expansión de redes viales, aumento de la infraestructura civil, etc., acciones que ponen en peligro el equilibrio del ecosistema del bosque; se realizó además mediante el uso de software para el tratamiento de información geográfica, una proyección a futuro del suelo del bosque y su área de influencia mediante un análisis multicriterio que determinó las zonas más propensas a sufrir cambios que alteren su equilibrio.

ABSTRACT

In this research, a model was created to study the land use change that occurred in the area of influence of the Protector Forest Aguarongo (BPA), to verify the impact of anthropogenic activities on protected natural areas or forests.

The work was focused in the study of the movement of territorial coverages using bibliographic research, in situ recognition, the application of geographic information systems (GIS) and the use of a programming language (Python) to perform the treatment of information and validate the results obtained. at the beginning of this project a temporal analysis of the cartographic maps that indicated the characteristics of the terrain from the 1990s was carried out until the creation of an updated map using as an information source the digital aerial photographs of the study area and its neighboring sectors , using data such as: slope of the territory, types of coverages, areas of the polygons and finally the capacity of territorial reception, which served as exit variable as indicated the suitability of the territory. It was demonstrated that anthropogenic activities have a direct impact on the area of the protective forest because there is an advance of the agricultural frontier, an expansion of road networks, an increase in civil infrastructure, etc., actions that endanger the equilibrium of the ecosystem forest; a future projection of the forest floor and its area of influence was carried out through a multicriteria analysis that determined the areas most likely to undergo changes that alter the homeostasis of the forest ecosystem.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Problema	1
Delimitación.....	4
Delimitación Temporal	4
Delimitación Geográfica	5
Delimitación Académica.....	17
Explicación del problema.....	18
Objetivo general	19
Objetivo específico.....	19
Fundamentación Teórica.....	20
Materiales y Métodos	25
Diseño	25
Aplicación de encuestas	25
Mapa de Cobertura Vegetal y uso de Suelo	26
Mapa de Pendientes.....	48
Mapa de Unidades Ambientales	55
Mapa de Capacidad de Acogida.....	59
Evolución temporal del uso y cobertura vegetal del BPA	65
Tratamiento de la Información.....	70
Análisis Multicriterio	78
Resultados y Discusiones	80
Análisis de Encuestas	80
Cobertura vegetal y uso de suelo	83
Pendientes	88
Unidades Ambientales	90
Capacidad de Acogida.....	92
Evolución temporal de la cobertura y uso de suelo.....	95
Tratamiento de la Información.....	109
Conclusiones	111
Recomendaciones.....	114
Referencias.....	116
Anexos	120

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación del BPA y parroquias colindantes.	6
Ilustración 2. Zona de estudio ubicada en el BPA y sus áreas colindantes.....	7
Ilustración 3. Mapa de Gradientes de la parroquia San Bartolomé.....	8
Ilustración 4. Representación de las pendientes en la parroquia Santa Ana.	11
Ilustración 5. Mapa de gradientes de la Parroquia Santa Ana.....	12
Ilustración 6. Mapa de gradientes de la parroquia Zhidmad.....	15
Ilustración 7. Mosaico de ortofotos de las parroquias que integran la zona de estudio.	28
Ilustración 8. Cultivos digitalizados.....	30
Ilustración 9. Cuerpos de agua digitalizados.....	30
Ilustración 10. Cursos de agua digitalizados.....	31
Ilustración 11. Río doble digitalizado.	31
Ilustración 12. Construcciones digitalizadas.....	32
Ilustración 13. Vías digitalizadas.	33
Ilustración 14. Segmentación de la ortofoto.	35
Ilustración 15. Valores de Ratio y Brillo de cada segmento.	36
Ilustración 16. Ejemplo de la regla utilizada en una ortofoto.	36
Ilustración 17. Ortofoto clasificada en las 4 categorías.	37
Ilustración 18. Raster obtenido del software.....	37
Ilustración 19. Aplicación de la herramienta Majority Filter.....	38
Ilustración 20. Utilización de la herramienta Boundary Clean.	39
Ilustración 21. Aplicación de la herramienta Region Group.....	40
Ilustración 22. Aplicación de las herramientas extract by attributes.	41
Ilustración 23. Aplicación de la herramienta Nibble	42
Ilustración 24. Shape final de la ortofoto.	43
Ilustración 25. Vegetación arbustiva y herbácea dentro del BPA y áreas colindantes.....	44
Ilustración 26. Tierra_Agropecuaria_s-t (sin tratamiento).....	45
Ilustración 27. Corrección de bordes en la capa.	45
Ilustración 28. Erase de Tierra Agropecuaria en base a las Construcciones.....	47
Ilustración 29. Tierra Agropecuaria y Construcciones complementadas.....	47
Ilustración 30. Datos de entrada para generar un archivo “TIN”.....	48
Ilustración 31. Creación de un mapa de Elevaciones a partir de curvas de nivel.	49
Ilustración 32. Generación de un MDT de las comunidades aledañas al BPA.....	49
Ilustración 33. Mapa de Pendientes preliminar.....	50
Ilustración 34. Reclasificación de pendientes en 4 clases.....	51
Ilustración 35. Aplicación del filtro Majority Filter.....	52
Ilustración 36. Aplicación del filtro Boundary Clean.	52
Ilustración 37. Aplicación de la herramienta Region Group.....	53
Ilustración 38. Aplicación de la herramienta Extrac by Attributes.....	54
Ilustración 39. Aplicación de la herramienta Nibble	54
Ilustración 40. Mapa de pendientes en formato Shape.	55
Ilustración 41. Uso de la herramienta Select by Attributes.....	58
Ilustración 42. Uso de la herramienta Field Calculator.....	58
Ilustración 43. Ejemplo de puntuación y valor asignado a cada categoría.	63
Ilustración 44. Ejemplo promedio mayor de todas las categorías de ordenación.	64
Ilustración 45. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador – 1990.	67
Ilustración 46. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador – 1990.	68

Ilustración 47. Mapa de Cobertura vegetal y Uso de suelo del BPA y sus áreas colindantes – 2008.....	69
Ilustración 48. Variables exportadas desde Excel.....	70
Ilustración 49. Importaciones realizadas en Python.....	71
Ilustración 50. Variables importadas a Python.	72
Ilustración 51. Determinación de las variables del modelo.	72
Ilustración 52. Entrenamiento del modelo.	73
Ilustración 53. Resultados del modelo de regresión lineal.....	73
Ilustración 54. Resultado del modelo SMV.	74
Ilustración 55. Modelo de árbol de decisiones.....	75
Ilustración 56. Gráfica de dispersión: área - valoración	76
Ilustración 57. Gráfica de dispersión: pendiente - valoración.....	77
Ilustración 58. Gráfica de dispersión: coberturas - valoración	78
Ilustración 59. Gráfica de dispersión: coberturas - valoración	79
Ilustración 60. Gráfico de los métodos para la preparación del suelo en el área de estudio.	80
Ilustración 61. Uso del BPA en el área de estudio.....	81
Ilustración 62. Métodos para evitar la pérdida del suelo en el BPA.	82
Ilustración 63. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo - Nivel I.....	84
Ilustración 64. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo - Nivel II.	87
Ilustración 65. Mapa de pendientes del área de estudio.....	89
Ilustración 66. Mapa de pendientes del área de estudio.....	90
Ilustración 67. Mapa de unidades ambientales del área de estudio.....	91
Ilustración 68. Mapa de capacidad de acogida del área de estudio.....	94
Ilustración 69. Gráfica de la evolución del bosque en el BPA.....	97
Ilustración 70. Gráfica de la evolución de la tierra agropecuaria en el BPA.....	98
Ilustración 71. Gráfica de la evolución de la vegetación arbustiva y herbácea en el BPA.	99
Ilustración 72. Gráfica de la evolución del bosque en las áreas colindantes.	101
Ilustración 73. Gráfica de la evolución de la tierra agropecuaria en las áreas colindantes.....	102
Ilustración 74. Gráfica de la evolución de la hidrografía en las áreas colindantes	103
Ilustración 75. Gráfica de la evolución de la vegetación arbustiva y herbácea en las áreas colindantes.....	104
Ilustración 76. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 1990 - Nivel I.	105
Ilustración 77. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 - Nivel I.	106
Ilustración 78. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2008 - Nivel I.	107
Ilustración 79. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo actual - Nivel I.	108
Ilustración 80. Coberturas territoriales dentro de los límites del BPA.	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Problemas y causas relacionadas con el suelo.	3
Tabla 2. Problemas y causas relacionadas con el agua.	3
Tabla 3. Problemas y causas relacionadas con la cobertura vegetal.	4
Tabla 4. Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.	9
Tabla 5. Inconvenientes y potencialidades de la parroquia San Bartolomé.	10
Tabla 6. Clases de cobertura y porcentaje ocupado en la parroquia Santa Ana.	13
Tabla 7. Clases de coberturas y porcentaje ocupado en la parroquia Santa Ana. .	14
Tabla 8. Incompatibilidad de actividad de acuerdo a la pendiente	16
Tabla 9. Matriz de análisis de cobertura territorial	17
Tabla 10. Categorías de uso y cobertura del suelo.	28
Tabla 11. Parámetros utilizados para la segmentación en el software	35
Tabla 12. Unidad Mínima Cartografiable.	41
Tabla 13. Rango de pendientes y su denominación según el mapa de gradientes.	56
Tabla 14. Tabla de atributos del mapa intersectado.	57
Tabla 15. Valor asignado a la capacidad de acogida y su descripción.	61
Tabla 16. Categorías y subcategorías para el análisis de capacidad de acogida. .	61
Tabla 17. Áreas obtenidas para el nivel I del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.	83
Tabla 18. Áreas obtenidas para el nivel II del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo	85
Tabla 19. Elementos digitalizados en el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.	86
Tabla 20. Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.	88
Tabla 21. Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.	93
Tabla 22. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 1990 en el BPA.	95
Tabla 23. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo en el año 2000 en el BPA	95
Tabla 24. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 2008 en el BPA.	96
Tabla 25. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo actual en el BPA.	96
Tabla 26. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 1990 en las áreas colindantes.	100
Tabla 27. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 en las áreas colindantes.	100
Tabla 28. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo del año 2008 en las áreas colindantes.	100
Tabla 29. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo actual en las áreas colindantes.	101

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BPA: Bosque Protector Aguarongo

CSY: Comma Separated Value

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

INBIAM: Grupo de Investigación en Biotecnología Ambiental.

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

GPS: Sistemas de Posicionamiento Global

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

MDT: Modelo Digital del Terreno.

MRL: Modelo de Regresión Lineal

PANE: Patrimonio de Áreas Naturales del Estado.

PDOT: Plan de Ordenamiento Territorial.

SIG: Sistema de Información Geográfico.

SMV: Máquina de Soporte Vectorial

SNAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS84: World Geodetic System 1984

Introducción

Problema

El Bosque Protector Aguarongo ubicado entre los 2.900 y 3.320 msnm, es un espacio natural en el que se desarrollan plantas y animales nativos de la región andina que dependen del equilibrio en su ecosistema para subsistir, el bosque también aporta agua a las zonas aledañas puesto que posee aproximadamente 300 fuentes de agua y 60 humedales (Rivera Delgado, 2013), por tales motivos el bosque contribuye de diversas maneras a la población, por un lado constituye un hábitat para especies nativas y por otro, al ser una fuente de recurso hídrico, ayuda con el desarrollo de la agricultura cercana que depende del agua para los cultivos; este último aspecto del bosque en el que la frontera agrícola se acerca a la zona protegida, es de suma preocupación por cuanto en la mayoría de casos se toman acciones cuando ya existen daños a la integridad de las zonas preservadas o existen repercusiones directas en los sectores cercanos, cuando lo ideal es tomar acciones anticipadas (Zarrilli, 2008).

El recurso suelo del bosque puede ser afectado por factores como las cambiantes condiciones climáticas y el uso de la tierra, estos provocan un desgaste del suelo que se representa por los sedimentos que se desprenden del campo a cierta pendiente y son arrastrados por la esorrentía; existen áreas que no se predisponen para ciertas actividades como las agrícolas por ejemplo, y la utilización inadecuada genera problemas a largo plazo que repercuten en la calidad del terreno (Gaspari, Delgado, & Denegri, 2009). En éste sentido se asevera que la producción agrícola a pequeña escala efectuada por la población campesina en los países tercermundistas, es inviable, puesto que en América Latina es el sector terciario de la economía el que recibe mayores réditos a diferencia del primario; como ocurre en muchos lugares de Sudamérica, en nuestro país existe un aumento de los terrenos de cultivo y extensiones de pasto para el ganado, producto de un

cambio cultural en la población que necesita abrirse paso en un mercado cada vez más competitivo (Rueda, 2012).

La influencia de las actividades antropogénicas en el suelo de área protegida, puede desembocar en el inminente desgaste de sus funciones, como lo son el enfriamiento y la retención realizadas por la vegetación presente en los mismos, implicando de esta forma, efectos como el incremento de las inundaciones, así como periodos de calor excesivo (Wels & Krellenberg, 2016), efectos que influyen en las actividades agrícolas y ganaderas además de a la problemática del cambio climático. Una herramienta fundamental para gestionar adecuadamente el desarrollo de los pueblos y sus actividades es el ordenamiento territorial, mismo que ha servido de base para el presente estudio, pues facilita la toma de decisiones, la coordinación y la integración de los lineamientos y políticas, para integrar a todos los actores del territorio en la toma de decisiones, así como para su futura aplicación (Zúñiga Igarza & Libys , 2014).

El desplazamiento de la frontera agrícola influye en aspectos que son infravalorados pero que son de vital importancia para el ambiente, como es el caso de las actividades apícolas, puesto que la reducción de áreas naturales y consecuentemente la flora nativa, ocasiona que las abejas disminuyan su capacidad de polinizar, pudiendo perderse especies vegetales endémicas de la zona que dependen de la polinización para sobrevivir (SAGPYA, 2007).

De acuerdo al “Plan de Manejo del Bosque Protector Aguarongo y su Área de Influencia” establecido desde el año 2002 bajo el proyecto de “Manejo y Conservación de los Bosques Nativos Andinos del Sur del Ecuador”, se establecen problemas puntuales con sus respectivas causas, expresados de forma resumida y para efectos del presente proyecto en las siguientes tablas:

Tabla 1. Problemas y causas relacionadas con el suelo.

Problemas	Causas
1. Pérdida de suelo a causa de erosión eólica e hídrica	- Predisposición de ciertas zonas a la erosión
2. Uso de suelo en espacios protegidos para actividades agrícolas	- Potencial agrícola del suelo - Falta de control
3. Minifundios	- Fraccionamiento de terrenos
4. Existencia de áreas degradadas	- Actividades agrícolas intensivas - Actividades ganaderas intensivas
5. Abandono de tierras	- Migración - Cambios de Residencia

Fuente: Plan de Manejo del Bosque Protector 2002.

Tabla 2. Problemas y causas relacionadas con el agua.

Problemas	Causas
1. Degradación de fuentes de agua y vertientes	- Alteración de las condiciones naturales
2. Contaminación de fuentes hídricas	- Falta de control y concientización
3. Disminución del caudal hídrico	- Alteración del suelo y vegetación
4. Escasez de agua en ciertos periodos	- Alteración de las condiciones naturales - Cambio climático
5. Degradación de humedales	- Alteración de las condiciones naturales
6. Conflictos de propiedad	- Comparación tenencia de la fuente y uso de la fuente
7. Falta de Organización en el uso y manejo de las fuentes hídricas	- Fallas en las agrupaciones sociales que administran el recurso

Fuente: Plan de Manejo del Bosque Protector 2002.

Tabla 3. Problemas y causas relacionadas con la cobertura vegetal.

Problemas	Causas
1. Uso indebido del bosque	- Conflictos por el uso del bosque
1.1. Tala del bosque	
1.2. Incendios Forestales	- Presiones en el uso del bosque
1.3. Extracción de madera	
2. Avance de la frontera agrícola	- Expansión agrícola y pecuaria
3. Pérdida de la biodiversidad	
3.1. Falta de conocimientos sobre la dinámica del bosque	- Alteración de las condiciones naturales
3.2. Falta de conocimiento acerca del valor ambiental del bosque	
4. Conflictos de propiedad respecto al bosque	- Divisiones legales respecto a la propiedad y los límites

Fuente: Plan de Manejo del Bosque Protector 2002.

Delimitación

Delimitación Temporal

El proyecto se encuentra delimitado en cuanto a lo temporal, tomando en cuenta el primer mapa de uso del territorio estudiado, correspondiente a 1990, mismo que sirve como referencia para sentar precedentes del estado del suelo en el área de estudio, hasta una última versión generada para el presente proyecto en el que se usaron fotografías aéreas digitales correspondientes al más reciente proyecto de identificación territorial en el año 2010, realizando la generación de mapas actualizados en 2017. Adicionalmente se puede mencionar que la presentación del presente proyecto investigativo tiene un plazo aproximado de 6 meses, comenzando desde mediados del mes de diciembre de 2016, hasta mediados del mes de junio de 2017, recalcando que el proyecto se ha venido gestando desde principios del año 2015, desde la generación de datos, elaboración, aplicación de encuestas y tratamiento de la información.

Delimitación Geográfica

El BPA (Bosque Protector Aguarongo) está situado en la provincia del Azuay, a nivel cantonal se ubica en Gualaceo y se encuentra atravesando las parroquias Jadán, Zhidmad y San Juan, luego en el cantón Cuenca pasa por la parroquia Santa Ana, finalmente en el cantón Sigsig ocupa territorio correspondiente a la parroquia de San Bartolo. El bosque está apostado en la cuenca media del río Paute y presenta las siguientes coordenadas UTM: 744000 – 9682000 y 737000 – 9668000.

Este bosque en particular es de características andinas por estar en un rango altitudinal entre los 2900 y 3320 msnm, posee un relieve que recuerda a una meseta volcánica ondulada compuesta especialmente de rocas piroclásticas ácidas, presenta una precipitación media anual de 820 mm, llegando a un mínimo mensual de 25 mm en estaciones secas y un máximo de 110 mm durante estaciones lluviosas, muestra en el interior de su área protegida y sus zonas de amortiguamiento una temperatura media de entre 11,5 12°; fue declarado como *Área de Bosque y Vegetación Protectora* en agosto del año 1985, en donde se estableció que en un principio se resguardaría un total de 1.758 ha, para alcanzar posteriormente la cifra de 2.080 ha.

La delimitación de la zona de estudio corresponde a las parroquias colindantes al BPA: Zhidmad, Santa Ana y San Bartolomé, recalando que las dos parroquias faltantes (Jadán y San Juan) pertenecen a otro proyecto complementario del grupo de Investigación en Biotecnología y Medioambiente (INBIAM), mientras que las parroquias involucradas, pertenecen a su vez a tres cantones distintos como son: Gualaceo, Cuenca y Sigsig; puesto que el bosque protector pasa a lo largo de diversos territorios, cada uno merece un respectivo análisis. Un factor a considerar es que los márgenes territoriales del bosque están sujetos a los límites de las respectivas parroquias pues como se sabe, es más factible que los límites políticos se ajusten a los naturales y no al contrario (Matteucci, 2006).

Ubicación del Bosque Protector Aguarongo y sus Parroquias Colindantes

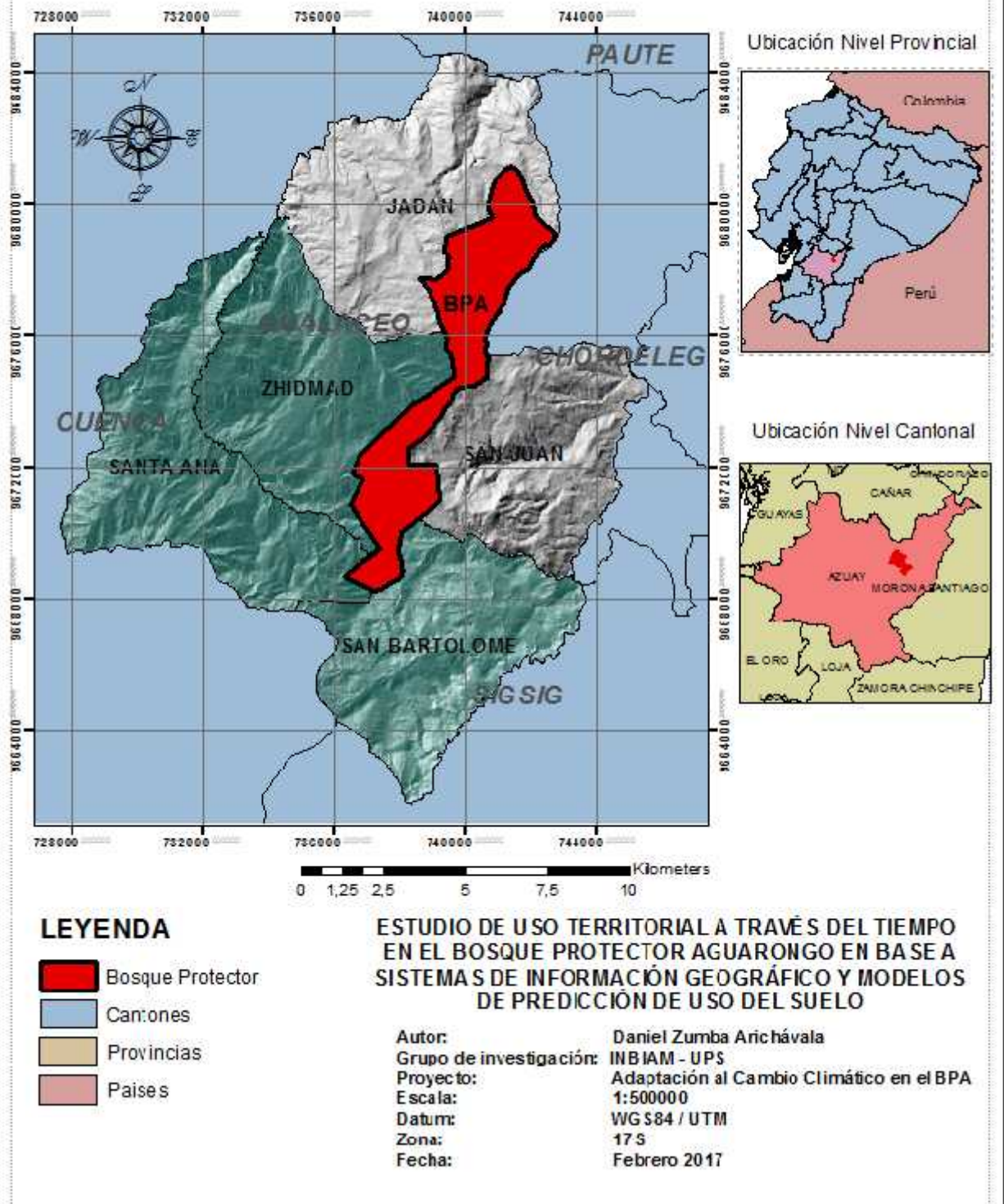


Ilustración 1. Mapa de ubicación del BPA y parroquias colindantes.

Elaborado por: Zumba, D.,2017.



Ilustración 2. Zona de estudio ubicada en el BPA y sus áreas colindantes.

Elaborado por: Zumba, D.,2017.

Parroquia San Bartolomé

La parroquia san Bartolomé pertenece al cantón Sigsig y es parte de a su vez de otras siete parroquias que lo conforman, posee una extensión de 3596,41ha y presenta los siguientes límites:

- Norte: limita con el cantón Gualaceo, y sus parroquias: Zhidmad y San Juan.
- Sur: limita con la parroquia Ludo.
- Este: limita con la parroquia Sigsig.
- Oeste: limita con el cantón Cuenca y las parroquias Santa Ana y Quingeo.

Dentro del Plan de Ordenamiento Territorial de la parroquia, se establece la clasificación del terreno en base a la pendiente, para lo cual se presentan recomendaciones

y se establecen limitantes de acuerdo a la clasificación extraída del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE), sirviendo esta sistematización para desarrollar actividades sobre el territorio.

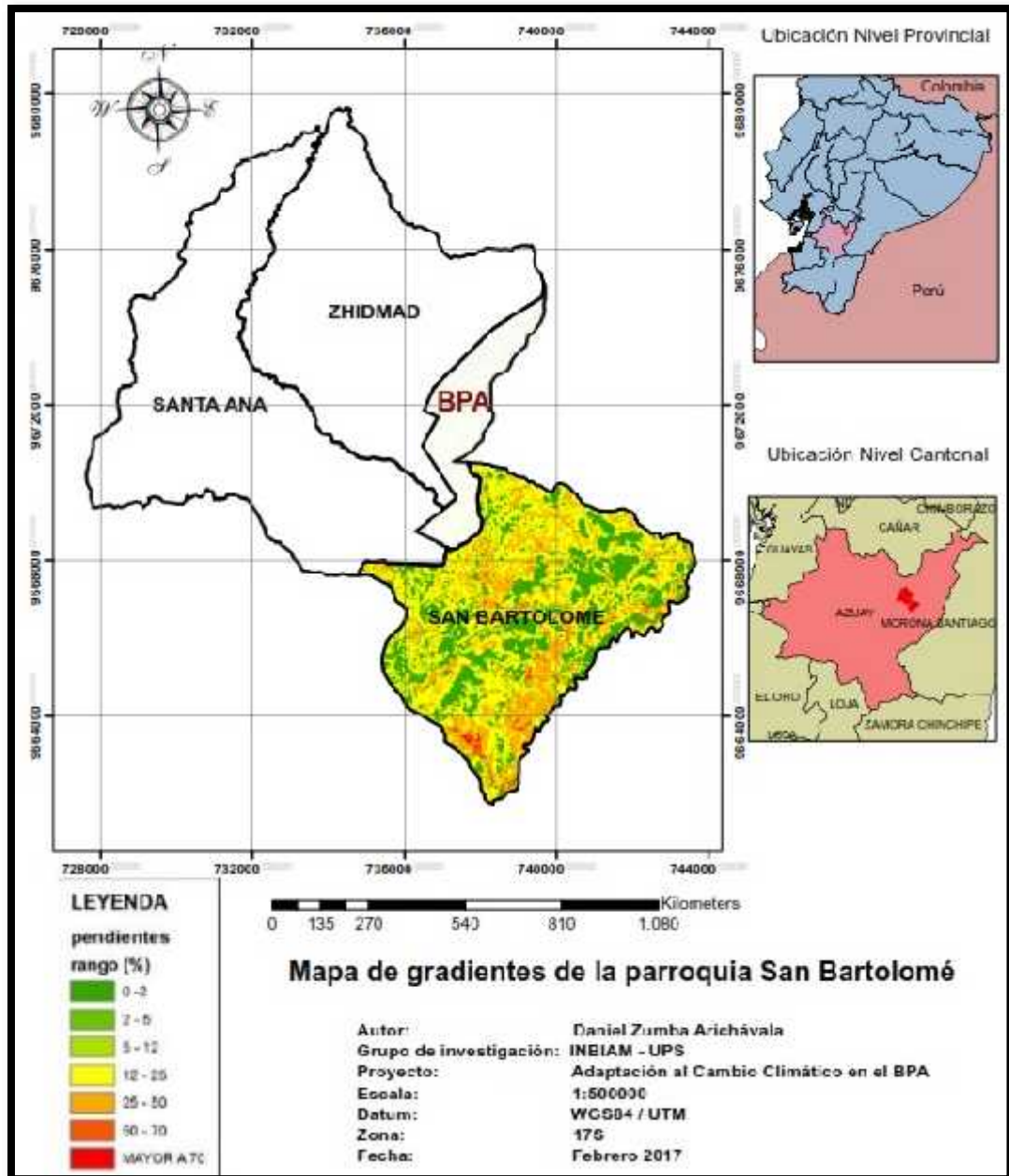


Ilustración 3. Mapa de Gradientes de la parroquia San Bartolomé.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Tabla 4. *Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.*

Pendiente	Condiciones	Uso sugerido
0 al 5% (Pendiente débil)	Buena para operaciones de mecanización, suelos sin piedras muy adecuado para riego	Agricultura sin limitaciones para todo tipo de cultivo
Pendiente suave del 5 al 12% con micro relieve con ondulaciones irregular	La mecanización es posible pero no para todas las operaciones o todos los tipos de máquinas, existen restricciones.	Agricultura sin limitaciones para todo tipo de cultivo
Pendiente regular del 12 al 25 %, o irregular con micro relieve.	La mecanización es posible para algunos tipos de maquinaria, restricciones y dificultades para riego.	Cultivos con obras de conservación, terrazas de formación lenta (hortícola, papas maíz, frutales). Cultivos con obras de conservación de terrazas de banco (frutales maíz, hortalizas) sistemas agroforestales.
Pendiente fuerte 25 % y de menos del 50 %.	Posible mecanizar en algunos lugares, pero dificultad para la mayoría, dificultades para regar, peligro de erosión.	
Pendiente muy fuerte de 50 a 70 %.	Mecanización imposible para todas las operaciones de cultivo hay peligro de erosión y deslizamiento, son suelos mezclados de materiales varios sobre las pendientes, mejor reforestar y conservar.	Solo potreros naturales con sistemas silbo pasturas, y plantaciones forestales.

Elaborado por: GEOLIDAR S.A para el PDOT de San Bartolomé.

De acuerdo al Documento de Diagnóstico Correspondiente a la Actualización del Plan de Ordenamiento de la Parroquia San Bartolomé del Cantón Sigüig, del total de hectáreas (3596,41ha), la cobertura vegetal natural corresponde al 37,45%, otra cobertura a considerar es el pasto cultivado que representa una superficie de 491,47ha que representa el 13,67%, los cultivos más importantes de la parroquia son el maíz y el fréjol que ocupan aproximadamente el 24,93% de la superficie parroquial, las plantaciones forestales también ocupan extensiones considerables de terreno, siendo el pino y el eucalipto especies que ocupan superficies de 45,26 y 118,84 ha respectivamente y son sembrados por lo general en lugares con elevada pendiente (superiores a 35°).

Tabla 5. Inconvenientes y potencialidades de la parroquia San Bartolomé.

Inconvenientes	Potencialidades
No existe una clara delimitación de los límites parroquiales	Existe cartografía detallada de la parroquia, importante para estudios
El 73% del territorio presenta pendientes superiores al 25%	Las zonas de pendientes suaves (14%) son apropiadas para diversas actividades
Posee escasas precipitaciones que bordean los 800mm anuales	Tiene soberanía y seguridad alimentaria debido a su diversidad agrícola
Existen alteraciones de la cobertura vegetal nativa en la zona del BPA	Potencial ganadero si se administra correctamente los pastos
No existen concesiones para el uso de agua potable	Parte de su jurisdicción territorial coincide con el Bosque Protector Aguarongo
Muchas comunidades se encuentran en zonas amenazadas por deslizamientos.	Presenta aptitudes de servicios ambientales por belleza escénica

Elaborado por: Zumba, D.,2017 en base al PDOT de San Bartolomé.

Parroquia Santa Ana

La Parroquia Santa Ana ubicada en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, tiene una extensión de 4731,94 Ha, posee 21 comunidades dentro de sus límites y cuenta con un total de 5366 habitantes según datos del INEC y presenta los siguientes límites:

- Norte: limita con la parroquia Paccha.
- Sur: limita con la parroquia Quingueo.
- Este: limita con el cantón Gualaceo y Sigsig.
- Oeste: limita con la parroquia El Valle.

En lo que respecta a los gradientes, la parroquia presenta en mayor proporción pendientes medianas y fuertes dentro de su limitación territorial, mostrando rangos de pendientes ligeras en una media de 8% en el 7,49% del total del territorio, rangos de pendientes medias desde un 8% hasta un 30% en un 72,76% del total del territorio, comprendiendo la mayor parte de la superficie territorial; finalmente, las pendientes mayores a 30% representan un 19,75% del total de la Parroquia.

Dentro de estas estimaciones el Plan de Ordenamiento Territorial establece las zonas que pueden categorizarse como urbanizables, a las que se encuentren en un rango de pendiente menor al 30%, mientras que las que presenten un gradiente mayor se considerarán no aptas para recibir asentamientos humanos. Como se aprecia en la *Ilustración 4*, el rango de pendientes predominante es de gradientes medios, mientras el resto de la superficie parroquial presenta gradientes bajos y altos.

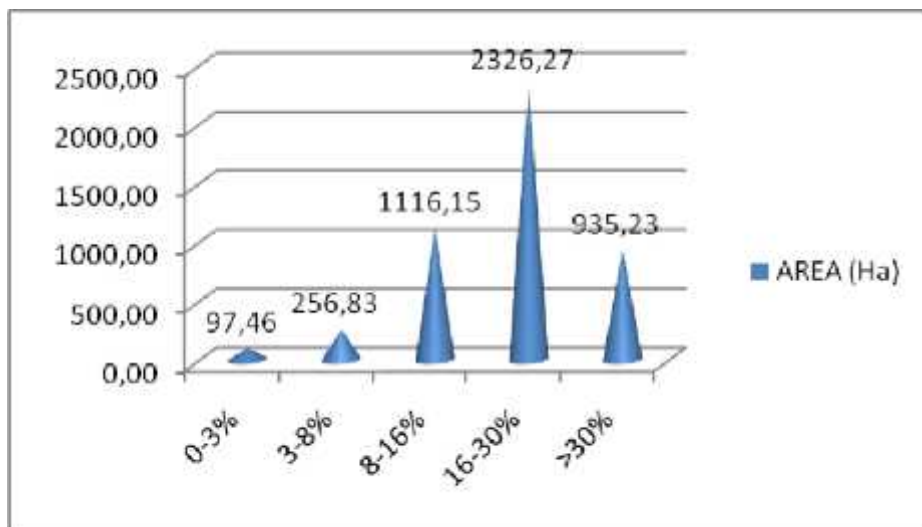


Ilustración 4. Representación de las pendientes en la parroquia Santa Ana.

Fuente: Proyecto SIG Tierras Ecuador.

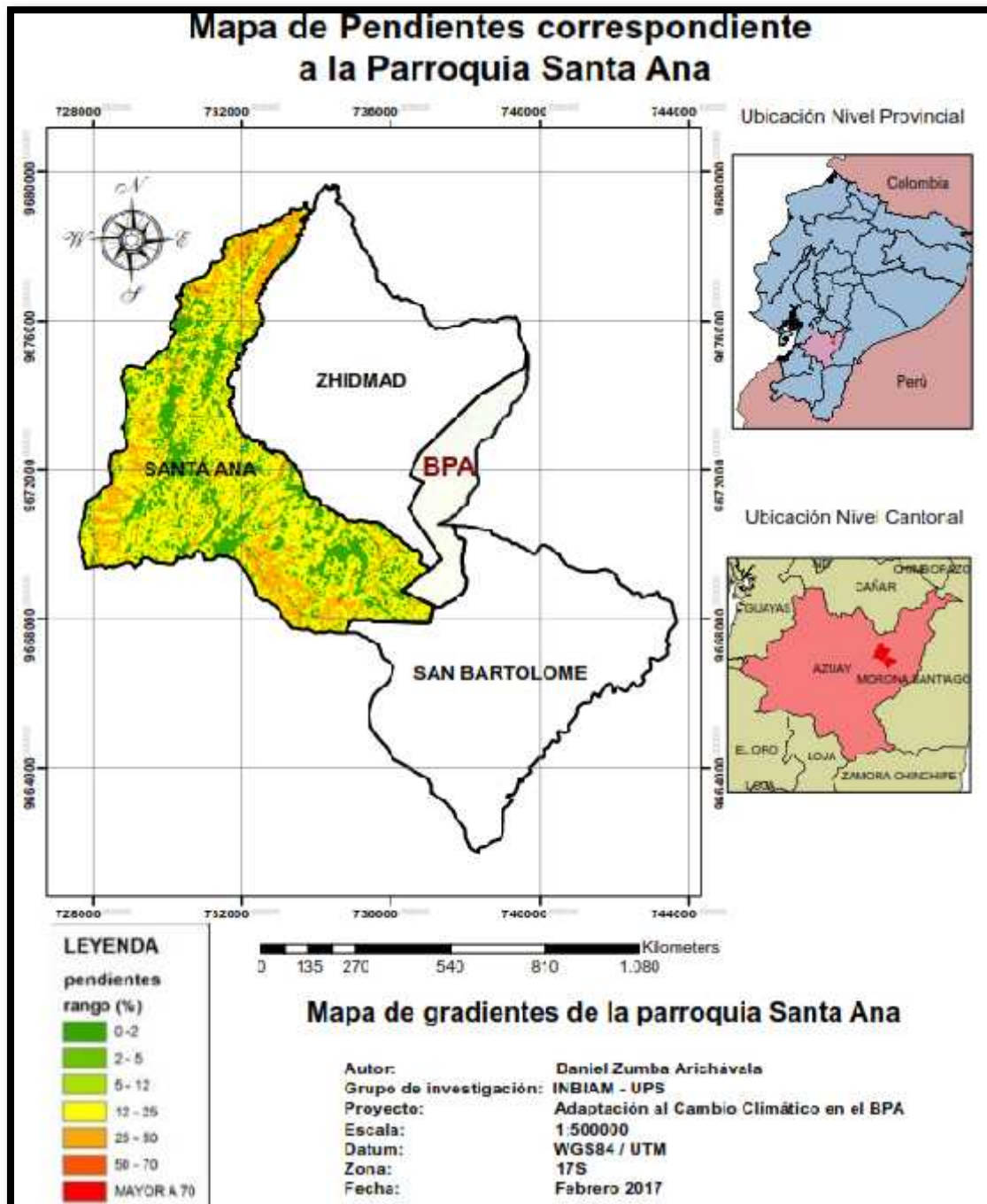


Ilustración 5. Mapa de gradientes de la Parroquia Santa Ana.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Dentro del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Santa Ana, se establecen los distintos tipos de coberturas del suelo y el porcentaje que ocupan cada una en el territorio, indicándose en la *Tabla 6* las superficies identificadas como: plantaciones

forestales, bosques nativos, matorrales, áreas arqueológicas, cultivos de ciclo corto, pasto cultivado, áreas urbanas y suelos degradados.

Tabla 6. Clases de cobertura y porcentaje ocupado en la parroquia Santa Ana.

Cobertura	Área (Ha)	%	Usos Principales	Observaciones
Plantaciones forestales	472,99	9,98	madera, leña	Esta cobertura está reemplazando a la vegetación nativa
Bosques Nativos	773,32	16,32	madera, leña, cercas vivas, medicina	Esta cobertura se encuentra sufriendo cambios
Matorrales	816,74	17,23	maleza, árboles de pequeña altura	Cobertura intervenida por procesos de labranza
Áreas Arqueológicas	29,03	0,61	turismo y recreación	Esta cobertura requiere un mayor mantenimiento
Cultivos de ciclo corto	1610,44	33,98	alimentación	Existe un cambio en el uso del suelo
Pasto Cultivado	974,74	20,57	forraje	Cobertura en crecimiento
Área Urbana	4,2	0,09	alojamiento, movilidad, salud	Cobertura en crecimiento
Suelos Degradados	57,41	1,21	sin uso	Cobertura de difícil recuperación

Elaborado por: Zumba, D., 2017 en base al PDOT de Santa Ana.

Debido al rango altitudinal en el que la parroquia se encuentra posee una escasa diversidad de especies endémicas y el avance de la frontera agrícola ha ocasionado la fragmentación de los bosques, principalmente del Bosque Protector Aguarongo que ocupa una superficie dentro de la parroquia de 176,63 Ha, que representan el 3,73% del total de la superficie, en la Tabla 7 a continuación se exponen los problemas y potencialidades del componente biofísico en el territorio.

Tabla 7. Clases de coberturas y porcentaje ocupado en la parroquia Santa Ana.

Variable	Problemas	Potencialidades
Relieve	Existen cultivos en pendientes elevadas	La mayor parte del territorio está ubicado en pendientes ligeras
Agua en estado natural	Contaminación del agua por actividades agro-ganaderas	El recurso agua se renueva constantemente
Suelos	Inestabilidad y movimientos de superficie	Pisos climáticos adecuados para el desarrollo de cultivos
Cobertura Vegetal	Áreas de alto valor natural sin declaratoria de conservación	Elevada biodiversidad en bosques y páramos de la parte alta, con presencia de especies endémicas
Agua de uso público	Falta de formación para la manipulación y mantenimiento de los sistemas de agua	Amplia zona de recarga de agua en la parte alta de la parroquia

Elaborado por: Zumba, D.,2017 en base al PDOT de Santa Ana

Parroquia Zhidmad

La parroquia Zhidmad tiene como cabecera parroquial al Azuay y pertenece al cantón Gualaceo, muestra una superficie de 44,27 km², se encuentra en un rango altitudinal entre los 2600 y 3000 msnm, posee un clima templado, una precipitación anual de 750 mm y tiene una población de 2.745 habitantes distribuidos en 8 comunidades, sus límites políticos son:

- Norte: limita con el cantón Gualaceo y la Parroquia Jadan
- Sur: limita con la parroquia San Bartolomé y Santa Ana del Cantón Cuenca.
- Este: limita con la parroquia San Juan.
- Oeste: limita con el Cantón Cuenca y la Parroquia Santa Ana.

La descripción del relieve en la parroquia según su Plan de Ordenamiento Territorial describe las pendientes en el territorio y las clasifica en 3 categorías que son: montano, montano alto y montano alto superior. Dentro de la categoría montano se considera una altitud que va desde los 1800 hasta los 2600 msnm, ocupan en la parroquia una extensión de 139,38 ha, representando un 3,15% del territorio parroquial, luego en la categoría

montano alto se considera un rango altitudinal de 2600 hasta 3600 msnm, con una extensión de 41,93 ha, que representan en el total del territorio un 94,75%, finalmente la categoría montano superior se ubica entre los 3300 y 3900 msnm, ocupa una superficie de 93,21 ha, que simboliza el 2,11% del área total del territorio.

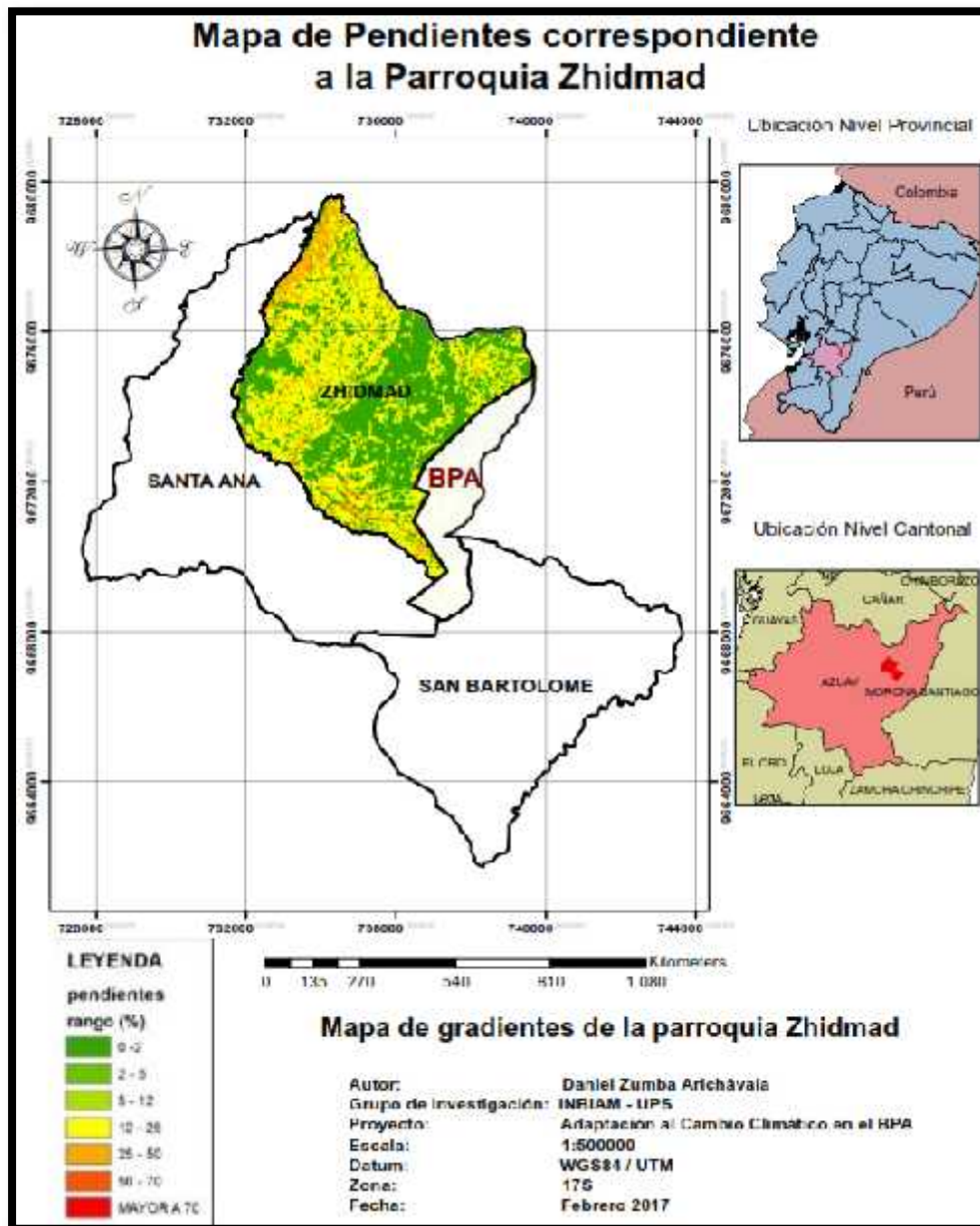


Ilustración 6. Mapa de gradientes de la parroquia Zhidmad

Elaborado por: Zumba, D., 2017

En la Parroquia Zhidmad los procesos de degradación y consecuentemente de erosión son producidos en gran parte por la realización de actividades que son incompatibles con su relieve, por lo que de acuerdo a la inclinación de la pendiente territorial se han detallado las actividades consideradas como incompatibles con el uso del suelo, tal como se expresa en la *Tabla 8*.

Tabla 8. *Incompatibilidad de actividad de acuerdo a la pendiente*

Relieve	Pendiente y Altura	Actividades Incompatibles
Montano	8 – 55 % 1800 – 2600 msnm	Cultivos en pendientes >21%, Plantaciones forestales en pendientes >56%, Pastizales en pendientes >56%
Montano Alto	3 – 20 % 2600 – 3200 msnm	Cultivos en pendientes >21%, Plantaciones forestales en pendientes >56%, Pastizales en pendientes >56%
Montano Alto Superior	3 – 13 % 3200 – 3800 msnm	Cultivos en pendientes >21%, Plantaciones forestales en pendientes >56%, Pastizales en pendientes >56%

Fuente: IGM 2010 y Equipo Consultor PDOT Zhidmad 2015.

Dentro del más reciente Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Zhidmad se establecen los distintos procesos que ocasionan cambios en el uso del suelo, recibiendo mayor atención, las acciones referentes a la fragmentación territorial, puesto que altera las condiciones del suelo y visualmente se nota como parches de vegetación que no armonizan con los alrededores, a continuación en la *Tabla 9*, se muestra una matriz de análisis de la cobertura del suelo en la que constan usos, cambios ocurridos y observaciones pertinentes.

Tabla 9. Matriz de análisis de cobertura territorial

Cobertura	Usos	Alteraciones	Observaciones
Bosque Nativo	Conservación y protección	Disminución del bosque debido al avance de la frontera agrícola	Vestigios de incendios forestales debido a prácticas agrícolas
Pastizales	Ganadería y pastoreo	Aumento de pastizales para usos agropecuarios	Cambio de pastizales naturales por pasto artificial forrajero
Mosaico Agropecuario	Cultivo de Alimentos	Expansión de esta área hacia el bosque nativo	Cultivos sin manejo técnico
Cultivo Anual	Uso Alimentario (Maíz)	Disminución del área de cultivos	Presencia de monocultivos y se efectúa en zonas de pendientes fuertes
Vegetación arbustiva y herbácea	Chaparros y matorrales sin actividad humana	Disminución de su área debido al avance del mosaico agropecuario	Zonas de cárcavas debido a la erosión hídrica
Plantaciones Forestales	Cultivo de bosques artificiales (Eucalipto y Pino)	Aumento de su área hacia zonas del bosque protector	Cobertura en expansión debido a los usos comerciales de la madera

Elaborado por: Zumba, D.,2017 en base al PDOT de Zhidmad.

Delimitación Académica

El trasfondo de la presente investigación, es aportar con material cartográfico y evidencias tangibles acerca de los cambios ocurridos en las inmediaciones al bosque protector para que sea de uso benéfico en planes y proyectos futuros, además de servir como base para futuras investigaciones, puesto que al generar mapas, modelos y presentar las razones sociales del cambio en el uso del territorio, las acciones tomadas por autoridades o entidades que se encuentran a cargo de mantener la integridad de las áreas protegidas, beneficiarían de forma directa a los pobladores de las comunidades cercanas por cuanto estos hacen uso de los servicios del bosque, además de beneficiar indirectamente a todos los pobladores que requieren del recurso hídrico, puesto que en los páramos es en donde se genera el agua que se consume en las ciudades aledañas.

Explicación del problema

La investigación propuesta a través del presente proyecto busca analizar la evolución temporal de la gestión, uso y cobertura del Bosque Protector Aguarongo bajo la influencia del movimiento de sus coberturas territoriales, aspecto que fue analizado mediante la aplicación de encuestas, la elaboración de mapas y un análisis multicriterio. Planteando finalmente la siguiente hipótesis.

¿Las actividades antropogénicas como la agricultura, el pastoreo de ganado e infraestructura ocasionan un impacto en el área correspondiente al Boque Protector Aguarongo?

Relevancia del proyecto

Es necesario mencionar que el presente trabajo fue presentado y disertado en los siguientes eventos internacionales:

“V Congreso Binacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de las Universidades del Sur del Ecuador y el Norte de Perú”. Realizado en la ciudad de Chimbote – Perú, en la Universidad de San Pedro de Chimbote, el 15 y 16 de octubre de 2015.

“FRADEIAR – Foro Regional Andino Para el Dialogo de la Educación en Ingeniería Agropecuaria Y Rural”. Realizado en la ciudad de Guayaquil – Ecuador, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, del 23 al 27 de noviembre de 2015.

“II Jornada Iberoamericana en Saludo al Día del Medio Ambiente”. Realizado en la ciudad de Quito – Ecuador, en la Universidad Central del Ecuador, del 14 al 17 de junio de 2016.

“II Convención Internacional de Ciencias Sociales y Ambientales – II Congreso Internacional de Desarrollo Local”. Realizado en la ciudad de Santiago de Cuba - Cuba, en la Universidad de Oriente, del 16 al 19 de mayo de 2017.

Objetivo general y específico

Objetivo general

- Realizar un estudio de la evolución de la gestión, uso y cobertura vegetal del suelo del Bosque Protector Aguarongo y sectores colindantes.

Objetivo específico

- Efectuar encuestas en las comunidades de Santa Ana, Zhidmad y San Bartolomé, para recoger información del uso histórico y el uso actual del territorio.
- Generación del mapa de uso de suelo y cobertura vegetal a partir de ortofotos.
- Identificación de unidades ambientales en base a la capacidad de acogida del terreno.
- Determinar categorías de ordenación que nos indiquen los sitios ideales para el emplazamiento de las actividades.
- Realizar un análisis temporal del uso y administración del terreno en base a la confrontación de superficies de mapas de los años: 1990, 2000, 2008 y 2010.

Fundamentación Teórica

El bosque Aguarongo fue declarado área de vegetación protectora N° 10, mediante acuerdo Ministerial N° 292, publicado en el registro oficial N° 255 del 22 de agosto de 1985. El bosque Aguarongo representa uno de los pocos fragmentos de Bosque Andino que subsisten en la sierra interandina de la provincia del Azuay, que corresponde Bosque Húmedo Montano Bajo, bhmb3. Constituye un refugio para la fauna y flora característica de estos hábitats. Aunque su diversidad biótica está empobrecida, debido principalmente a la caza de animales, la extracción de plantas y la deforestación, todavía representa una riqueza biológica que merece esfuerzos de conservación (Padilla & Paucar, 2008)

El bosque protector Aguarongo tiene un significado muy importante para las comunidades de las parroquias colindantes como son San Juan, Zhidmad, Jadán, San Bartolomé y Santa Ana, pertenecientes a la provincia del Azuay, Ecuador; pues representa su principal fuente de abastecimiento de agua tanto para riego como para consumo humano, a más de proveerles de otros bienes como forraje para el ganado en épocas de escasez, plantas medicinales y la diversidad de mamíferos menores, aves e insectos que hacen de éste bosque un paraíso biodiverso de riqueza natural invaluable (Minga , Sánchez , & et al, 2002).

Mediante la aplicación de tecnologías informáticas como lo son los SIG's (sistemas de información geográfico) se obtiene la información precisa del territorio con los respectivos datos de mapas cartográficos que brinden información sobre las coberturas territoriales mientras que en los modelos computarizados realizados en lenguaje de programación Python, se pueden realizar análisis y proyecciones en cuanto a los cambios en el uso del territorio que puedan existir (Pérez, Valdéz, Moreno, González, & Valdéz, 2011).

Para poder aplicar las tecnologías mencionadas y emplearlas a la gestión de ecosistemas, es necesario en primer lugar conocer la naturaleza del problema, realizar una comparación con problemas similares para basar la investigación en experiencias previas y poder realizar una proyección acertada; los modelos que se generan mediante la presente metodología, buscan ser un sustento para la toma de decisiones futuras en cuanto a implementación de políticas para proteger ecosistemas (Blanco, 2013).

Es trascendental usar las tecnologías avanzadas para la creación de modelos que caractericen, evalúen y predigan los fenómenos que puedan ocurrir por las prácticas relacionadas con los sistemas agrícolas, debido a que el sector agropecuario es el que está en constante uso del suelo, y los métodos que usen para explotar el potencial del territorio influyen en el destino del área intervenida (Rangel, García, & Hernandez, 2009).

Una herramienta fundamental para gestionar adecuadamente el desarrollo de los pueblos y sus actividades, es el ordenamiento territorial, mismo que ha servido de base para el presente estudio, pues facilita la toma de decisiones, la coordinación y la integración de los lineamientos y políticas tanto sociales como ambientales acorde al potencial o limitaciones del territorio; para todo esto requiere la colaboración de las autoridades locales, las instituciones, las agrupaciones sociales y comunidades, para integrar a todos los actores del territorio en la toma de decisiones así como para su futura aplicación (Zúñiga Igarza & Libys , 2014).

Este cambio en el uso de los territorios producto de las actividades desarrolladas por el hombre, ha ocasionado una disminución en la provisión inicial en cantidad y calidad del terreno, tomando en cuenta que el suelo es un recurso que se encuentra en cantidades finitas y es imposible reproducirlo a voluntad, considerando también que los avances tecnológicos referentes a la agricultura como técnicas industrializadas de arado, siembra y cosecha, contribuyen a la expansión acelerada de la frontera agrícola en los territorios

rurales de las localidades (Trápaga Delfin, 2012).

Un importante aporte para la investigación, es la generación de información digital que servirá para múltiples aplicaciones por parte de investigadores, puesto que el cruce de información generada en los mapas tanto de pendientes, cobertura vegetal, y capacidad de acogida, brindan una visión de la interacción de los asentamientos antropogénicos con los ecosistemas naturales, información trascendental para el análisis del impacto en el área protegida (Guerra & Ochoa, 2006).

La conciencia de esta situación, sumada a los problemas evidentes de disminución de los caudales de agua, llevó a que las comunidades de la zona, especialmente las Juntas Administradoras de Agua Potable, se plantearan la necesidad de iniciar prácticas para conservar, recuperar y usar de manera sustentable los recursos del bosque. Las epífitas pueden llegar a representar más de un tercio de las especies vegetales de un área forestal, por lo que elevan considerablemente la riqueza de los bosques y las selvas, ocupan un lugar muy importante en el ciclo de nutrientes y ejercen fuerte influencia sobre una porción de la fauna, ya que algunas de estas plantas proveen de sitio para vivir a insectos, ácaros, crustáceos, moluscos e incluso pequeños anfibios (Mondragón, 2002); por lo tanto, su presencia contribuye a que animales mayores frecuenten la arboleda, sobre todo aves y reptiles que encuentran agua y alimento en sus hojas.

La planta más representativa de esta zona es el Aguarongo, una especie bromeliácea que da el nombre al Centro de Gestión Ambiental. Se encuentran en el bosque 564 especies de árboles cuyos troncos sobrepasan un diámetro de 10cms, como son los “zarares” y los “chachacos”, muchos de ellos con edades tan avanzadas como los 400 años. Los mismos son un sostén de vida para las asociaciones vegetales de la parte más baja constituida por lo que comúnmente se conoce con el nombre de chaparros (Centro de Gestión Ambiental Aguarongo, 2016).

Los rápidos cambios climáticos que se han registrado durante los últimos 30 años a nivel mundial han provocado numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de las especies, causando ya alteraciones en gran variedad de ecosistemas (Delgado & Suarez D, 2009). Los cambios en la temperatura global ponen en riesgo el desarrollo y supervivencia de ciertas especies animales y vegetales pues limitan la capacidad de estas para movilizarse y ocupar nuevos terrenos habitables, de aquí la importancia de realizar trabajos investigativos y generar modelos que aporten positivamente a planes de conservación de especies dentro de un contexto de cambio climático (Thomas , 2011). De acuerdo al IV Informe del El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), aproximadamente el 20 - 30% de las especies de plantas y animales posiblemente se encontrarán en un aumento de peligro de extinción si la temperatura global media se excede en 1.5 - 2. 5° C. La velocidad del cambio climático varía en escalas geográficas pequeñas y grandes y por lo general aumenta con la distancia desde el ecuador. A nivel local, las velocidades y direcciones del cambio climático varían con la topografía y la proximidad a grandes masas de agua.

Las especies forestales y las comunidades forestales varían en su resistencia y resiliencia al cambio climático y en su capacidad de adaptación (IPCC, 2016). El presente trabajo nace también de la necesidad de considerar la riqueza florística del bosque protector Aguarongo como un ecosistema mega diverso, especies como la *Tillandsia complanata* son de gran importancia para los insectos, animales menores, y el ecosistema en general, ya que alberga gran cantidad de agua que proporciona las condiciones necesarias para su desarrollo (Mondragón D. , 2002).

El tráfico vehicular, las industrias, y otras actividades antropogénicas han elevado la contaminación atmosférica, el cambio en el uso de suelo, deforestación, y avance de la frontera agrícola, también aportan al cambio climático. Frente a esta situación es

necesario el estudio de especies importantes como las bromelias, que transformen CO₂, aporten agua, eviten la erosión del suelo y presenten condiciones para que se desarrolle la vida (Miranda, y otros, 2007).

En el presente proyecto, también se hace uso de la Geomática, la cual esencialmente es la combinación de tecnologías como la Teledetección desde el aire y el espacio, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), usados como instrumentos para la gestión y el uso de bases de datos geográficas y del territorio, en donde la finalidad ha sido generar mapas que muestren la realidad actual de los territorios dándonos una visión general de la situación en la que se encuentran (Ponvert Delisles, Kelly, & Reyes, 2012).

Dado que el objetivo principal del presente trabajo es realizar un análisis temporal del uso del suelo, y que en el desarrollo del proyecto se realizó una retrospectiva a la zona de estudio para analizar los mapas correspondientes a los años 1900, 2000 y 2008, además de efectuar un mapa actualizado para estudiar las presentes coberturas territoriales, es necesario efectuar también una estimación a futuro para que mediante un mapa que muestre las áreas más propensas a sufrir impactos antropogénicos, saber los lugares en los que deban focalizarse los planes de acción pertinentes. En este sentido la Evaluación Multicriterio al ser un conjunto de métodos orientados a asistir en los procesos de toma de decisiones conjuntamente con los Sistemas de Información Geográficos, busca dar soluciones a los potenciales problemas que se puedan originar en los territorios (Gómez & Barredo, 2005).

Materiales y Métodos

Diseño

Para el desarrollo de este proyecto se inició con la aplicación de encuestas con el fin de conocer la evolución temporal de la gestión del suelo tanto en el bosque como en sus áreas colindantes. Seguidamente, se realizó el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo a partir de ortofotos del proyecto “SIGTIERRAS” ejecutado por Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Dicho mapa fue realizado por 4 integrantes del grupo de Investigación en Biotecnología Ambiental (INBIAM), en el BPA y sus comunidades colindantes, es decir, en el área total del proyecto, sin embargo, posteriormente se dividió en zonas específicas para cada integrante. Además, se realizaron los mapas de pendientes, unidades ambientales y capacidad de acogida.

Posteriormente, en base al mapa de cobertura vegetal y uso de suelo se ejecutó un análisis temporal para los años 1990, 2000, 2008 y el obtenido en este proyecto con ortofotos del 2010. Finalmente haciendo uso de un lenguaje de programación (Python) y los sistemas de información geográfico (SIG) se ejecutó un modelo de predicción que nos permitió estimar los posibles escenarios.

A continuación, se detallará cada uno de los puntos que incluyen la metodología:

Aplicación de encuestas

Como preámbulo para indagar acerca del uso del suelo, se partió de la aplicación de encuestas dirigidas a la población adulta de Santa Ana, San Bartolomé y Zhidmad, puesto que los habitantes más antiguos de los sectores colindantes, son capaces de proporcionarnos datos puntuales en cuanto al manejo que se le solía dar al territorio. Un cuestionario de este tipo, admite la recopilación y tratamiento de la información de aquellos estados de opinión de los actores principales del territorio, sustentando las preguntas en temas que sean del dominio de los encuestados y que proporcionen datos

válidos y confiables, teniendo en cuenta la homogeneidad de la temática, la duración de su aplicación y el entrenamiento de los entrevistadores (Cabrera, 2010), todo esto con el fin de obtener resultados concluyentes.

La encuesta se encaminó a la averiguación de tradiciones, métodos y tecnologías de cultivo, acciones culturales y de cosecha a nivel histórico y actual, con el fin de realizar una comparación de los cambios experimentados a lo largo del tiempo y determinar posibles acciones que influyeron en el cambio de uso del suelo, teniendo en cuenta siempre que pueden existir dificultades al momento de recopilar la información y tratarla posteriormente, pero dicha problemática puede ser superada con la adecuada capacitación de los encuestadores y la experiencia de los tabuladores que a fin de cuentas pueden brindar datos certeros para la investigación (Núñez Villuendas, 2005)

Se realizaron interrogantes con respuestas cerradas para facilitar su posterior tabulación y obtener contestaciones concretas, el número de encuestas elaboradas fueron 50 por cada parroquia, mismas que se efectuaron con el apoyo de estudiantes pertenecientes a la carrera de Medicina Veterinaria de la Universidad Politécnica Salesiana y fueron tabuladas por los integrantes del Grupo de Investigación INBIAM - Adaptación al cambio climático del BPA, para posteriormente generar gráficos apoyados en el software SPSS, los mismo que nos permiten analizar el cambio a lo largo del tiempo.

Mapa de Cobertura Vegetal y uso de Suelo

Generar un mapa de uso y cobertura de suelo nos ayuda en la identificación de cambio de uso de suelo y análisis de cobertura vegetal mediante el procesamiento y manejo de ortofotos y polígonos digitales que representan las distintas coberturas, si bien es cierto actualmente existen mapas de uso y cobertura de suelo generados por el MAE en coordinación con el MAGAP donde las coberturas se dividen por niveles llegando así al nivel 4 sumamente desglosado, sin embargo, estos mapas están generados a una escala

regional 1:100.000, es decir, un mapa muy general para poder utilizarlo en nuestro trabajo experimental.

Un importante aporte de la investigación, es la generación de información digital que servirá para múltiples aplicaciones por parte de investigadores y actores políticos en la toma de decisiones, puesto que el cruce de información con los mapas de cobertura vegetal, brindan una visión de la interacción de los asentamientos antropogénicos con los ecosistemas naturales, información trascendental para el análisis del impacto en el área protegida (Guerra & Ochoa, 2006). Para la obtención del mapa se empleó el software ArcGIS 10.1 que presenta un conjunto de aplicaciones integradas: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

El planteamiento que se ha propuesto es la generación de un nuevo mapa de cobertura y uso de suelo basándonos en las coberturas ya definidas por el mapa del MAE y a una escala regional 1: 5.000 para el nivel 1 y en coordenadas UTM con el dátum WGS84. Este mapa será un importante insumo para una adecuada planificación, toma de decisiones y formulación de planes y programas a nivel de gobiernos autónomos descentralizados parroquiales colindantes del Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo.

Digitalización Manual

La digitalización manual de coberturas comprende el trabajo de “calcar” cada una de las coberturas como construcciones, vías, cultivos, cuerpos de agua y otras coberturas que una clasificación digital no podría diferenciar con tal exactitud.

Las coberturas se digitalizaron con ayuda del software ArcMap 10.1 de la siguiente manera:

Una vez cargado el mosaico compuesto por 59 ortofotos que contienen al Bosque Protector Aguarongo y sus áreas colindantes, se creó un nuevo *shape* ya sea de tipo

	Cursos de agua
	Río doble
Zona antrópica	Construcciones
	Vías
Otras tierras	Suelo descubierto

Elaborado por: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2017.

Para iniciar la digitalización manual es recomendable situarse a una escala de 1:800 en el software, ya que esta es la escala máxima a la que se puede realizar el proceso. Posteriormente se definió las coberturas a tomarse en cuenta, las mismas que a continuación se muestran:

Tierra Agropecuaria

Dentro de esta clasificación se encuentran los cultivos, pasto con riego y pasto sin riego. Los cultivos fueron digitalizados y las dos últimas coberturas se obtuvieron mediante una clasificación digital.

- Cultivos

Los cultivos son la parte más importante de este trabajo experimental ya que al digitalizarlos podemos inferir directamente hacia donde se expanden, cuál es el área que ocupan en la zona de estudio y la pendiente a la que estos se encuentran, con esto podríamos determinar el avance de la frontera agrícola, identificar los lugares donde hay mayor incidencia de cultivos y analizar la capacidad de acogida de ese territorio.

La digitalización de los cultivos se realizó con shapets de tipo polígono una escala 1:800, generalmente estos cultivos se encuentran cerca de una casa o una vía que permite el ingreso.

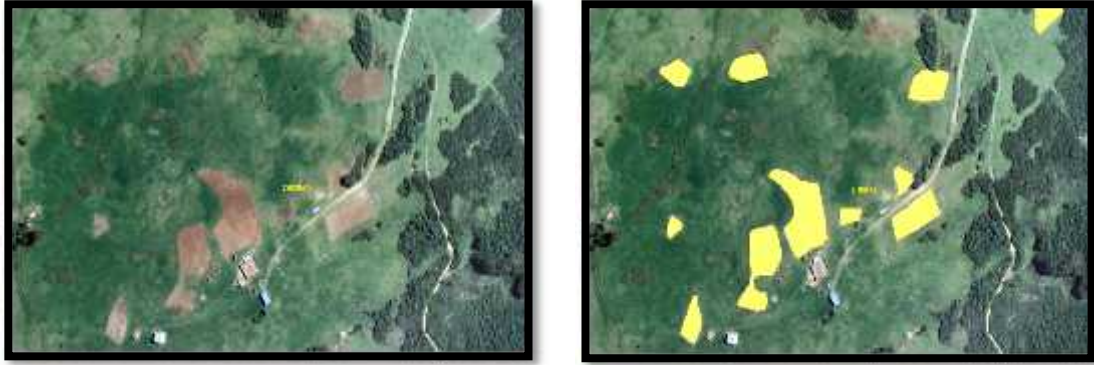


Ilustración 8. Cultivos digitalizados.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

Hidrografía

Dentro de la hidrografía se digitalizaron los cuerpos de aguas naturales y artificiales, los ríos dobles y cursos de agua.

- Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua contienen lagunas naturales y artificiales que son construidas para el abastecimiento de agua para comunidades y zonas pobladas, así como parte de sistemas de riego de cultivos y pastos. Estos cuerpos de agua fueron digitalizados con shapes de tipo polígono a una escala 1:800.



Ilustración 9. Cuerpos de agua digitalizados.

Fuente: Proyecto: Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

- Cursos de agua

Los cursos de agua contienen las quebradas y ríos pequeños que pueden observarse a una escala 1:800 en la interfaz del software, cabe destacar que aquellos ríos que no son detectables por el ojo humano a esa escala no están digitalizados, estos cursos de agua fueron digitalizados con shapes de tipo línea.



Ilustración 10. Cursos de agua digitalizados.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Río doble

El río doble comprende aquellos ríos de gran longitud y anchura lo cual nos permite calcular el área que ocupan dentro de la zona de estudio, así como su perímetro. Este tipo de elemento fue digitalizado con shape de tipo polígono a la misma escala.



Ilustración 11. Río doble digitalizado.

Fuente: Proyecto: Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Construcciones

Las construcciones se sitúan dentro de la clasificación de “zona antrópica” nombrada en la tabla de leyenda temática Nivel I del MAE, la digitalización de las construcciones nos informa con exactitud la posición de las construcciones como casas, invernaderos, canchas deportivas y plantas de tratamiento de agua, el área que ocupan y su ubicación con lo que podríamos inferir el crecimiento de la zona urbana y rural.

Dichas construcciones se digitalizaron en forma de polígono tratando siempre de mantener la perpendicularidad sobre todo al digitalizar las casas.

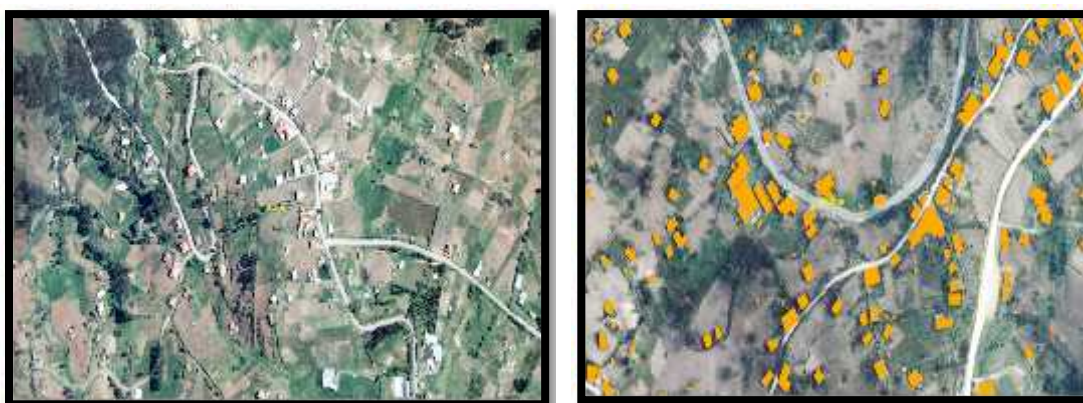


Ilustración 12. Construcciones digitalizadas.

Fuente: Proyecto: Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Vías

Las vías situadas en el Bosque Protector Aguarongo y sus áreas colindantes se sitúan dentro de la clasificación de “zona antrópica” nombrada en la tabla de leyenda temática Nivel I del MAE,

En esta clase de cobertura de suelo se digitalizaron manualmente las vías principales y secundarias a escala 1:800, esto se realizó en un shape de tipo polilínea para que posteriormente puedan ser convertidas en polígonos y poder calcular el perímetro, área y otros parámetros de interés.

Al digitalizar esta cobertura del suelo se puede conocer la continuidad de estas en la zona de estudio al permitir la comunicación entre comunidades aledañas y el acceso a lugares en los que se realizan actividades de tipo agropecuario.



Ilustración 13. Vías digitalizadas.

Fuente: Proyecto: Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Clasificación digital

A continuación, se realizó una clasificación digital para obtener las coberturas faltantes que son:

Tierra Agropecuaria

- Pasto con riego
- Pasto sin riego

Vegetación leñosa

- Bosque nativo

Vegetación

- Vegetación Arbustiva y Herbácea

Otras tierras

- Suelo descubierto

Obtención de bosque nativo, pasto con riego, pasto sin riego, suelo descubierto.

Para este procedimiento se utilizó el programa Ecognition Delover que es un software que combina todo tipo de datos geospaciales para realizar diversos análisis y comparaciones. Permitiendo la detección de cambios, extracción de características del terreno, mapas temáticos, identificación de vegetación, etc.

Para realizar las funciones ya mencionadas el software utiliza análisis basado en objetos, es decir, agrupa píxeles de imágenes con características similares de acuerdo a una parametrización dada (GeoToolBox Ibérica, 2017).

En este proceso se obtuvo las coberturas de Suelo descubierto, Pasto sin riego, Pasto con riego, Bosque nativo. A continuación se indica el proceso ejecutado en el Ecognition Delover utilizado para cada una de las 59 ortofotos correspondiente al BPA y sus áreas colindantes.

Segmentación

En este proceso se realizó una segmentación de cada ortofoto con el fin de que la imagen se fraccione dependiendo de las características espectrales de cada píxel minimizando para un número dado de objetos en la imagen, la media de la heterogeneidad y producir objetos altamente homogéneos (Definiens, 2007). El proceso de segmentación sirve para generar una imagen de objetos como primer paso para una clasificación posterior u otro procesamiento (Baatz & Schäpe, 2000). Para ellos se tomó en cuenta ciertos parámetros que a continuación se indican:

Tabla 11. Parámetros utilizados para la segmentación en el software

Parámetro	Valor
Image Layer weights	
Blue	1
Green	1
NIR	2
Red	1
Thematic Layer usage	
Scale Parameter	10
Composition of homogeneity criterion	
Shape	0,3
Compactness	0,5

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.



Ilustración 14. Segmentación de la ortofoto.

Fuente: Proyecto: Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

Criterios de clasificación

Para la aplicación de algoritmos en busca de la obtención de las coberturas se tomo en cuenta dos criterios que son, el NVI que se obtiene a partir de la división de la media de la banda del NIR sobre la media de la banda RED (Mean NIR/Mean Red) y el otro que es el Brillo que se obtuvo del promedio de las medias de las bandas del RED, BLUE y GREEN $[(\text{mean red} + \text{mean blue} + \text{mean green}) / 3]$. Cada segmento obtenido tiene un valor de NVI y Brillo.



Ilustración 15. Valores de Ratio y Brillo de cada segmento.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Clasificación

Posteriormente se realizó una clasificación aplicando algoritmos en los que se utilizó los criterios obtenidos anteriormente. Buscando que las coberturas ya mencionadas calcen correctamente con la foto. Cabe recalcar que para cada ortofoto el algoritmo aplicado difiere, debido a que las características de las ortofotos.

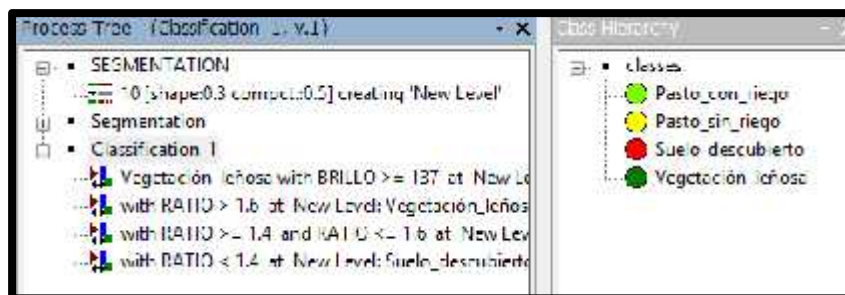


Ilustración 16. Ejemplo de la regla utilizada en una ortofoto.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Al aplicarse el algoritmo, lo que se obtuvo es la clasificación de la ortofoto en las 4 categorías que se buscaban.

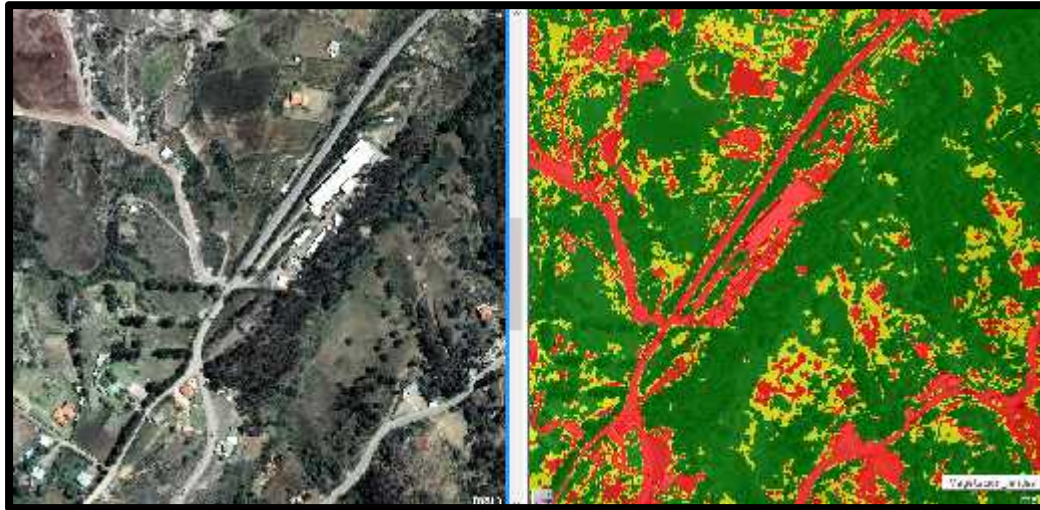


Ilustración 17. Ortofoto clasificada en las 4 categorías.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Obtención de raster

Cuando se comprobó que el resultado obtenido del paso anterior fue correcto se exporto las fotos a formato raster (.img), para poder trabajar en el programa Arc Map 10.1. Se realizó la exportación de las 4 categorías, obteniendo una capa con las 4 categorías para cada ortofoto.



Ilustración 18. Raster obtenido del software.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Procesos de mejora

A partir de los raster anteriores se realizó un proceso de mejora con el fin de optimizar el resultado cuando los raster sean convertidos a polígono.

- Majority Filter

Se inició aplicando el comando Majority Filter con el fin de reemplazar las celdas en el raster según la mayoría de sus celdas vecinas contigua; la herramienta tiene dos criterios a satisfacer antes de que ocurra un reemplazo. Primero, el número de celdas vecinas con el mismo valor debe ser lo suficientemente grande para ser el valor mayoritario, o al menos la mitad de las celdas deben tener el mismo valor (según el parámetro especificado). El segundo criterio que concierne a la conectividad espacial de las celdas minimiza la corrupción de patrones espaciales celulares. Si no se cumple con estos criterios, el reemplazo no ocurre y la celda mantiene su valor.

Para la aplicación de la herramienta se utilizó como número de vecinos 8, es decir que el programa requiere que al menos la mitad de los valores (cuatro de ocho celdas) tengan el mismo valor antes de cambiar el valor de la celda, lo que provoca un efecto suavizado. La herramienta fue ejecutada 50 veces por cada raster, mediante un modelo.



Ilustración 19. Aplicación de la herramienta Majority Filter.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- **Boundary Clean**

A continuación, se ejecuta el comando Boundary Clean, con la finalidad de suavizar los bordes irregulares entre las zonas. Esta herramienta utiliza un método que expande y encoge para refinar los límites en una escala relativamente grande. Al principio, las zonas de mayor prioridad invaden las zonas vecinas o de menor prioridad por una celda en todas las ocho direcciones. Después se encogen hacia aquellas celdas que no están completamente rodeadas por las celdas del mismo valor. Se ingresaron los datos obtenidos en el paso anterior.

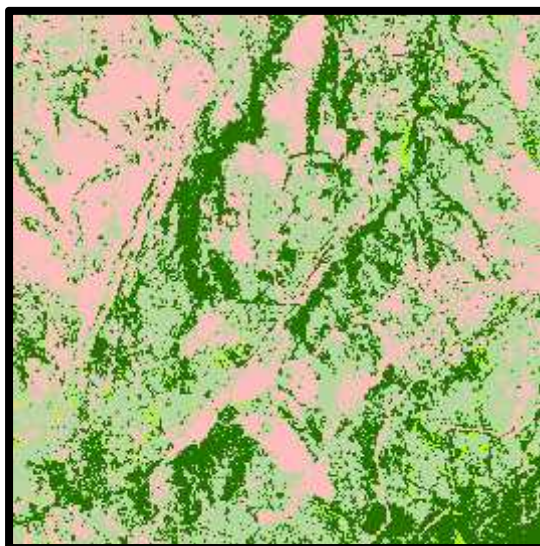


Ilustración 20. Utilización de la herramienta Boundary Clean.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- **Region Group**

Este comando permite hacer grupos, registrando la identidad de la región a la que pertenece una celda. El proceso se dio mediante un escaneo en donde la primera región escaneada recibe el valor uno, la segunda el dos, y así sucesivamente, hasta que se asigna un valor a todas las regiones. El escaneo se desplaza de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo. Por otro lado, de manera predeterminada, la opción (**ADD_LINK** en Python) está habilitada. Esto creará un elemento denominado **LINK** en la tabla de

atributos del raster de salida, que conserva el valor original para cada celda desde el raster de entrada. El dato de entrada es el derivado de la etapa anterior.



Ilustración 21. Aplicación de la herramienta Region Group.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

○ **Obtención de áreas**

Es necesario calcular el área, añadiendo un campo en la tabla de atributos de los raster obtenido anteriormente. En el nuevo campo procedemos a calcular el área tomando en cuenta que su valor se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{COUNT} * 0,3 * 0,3$$

- **Extract by attributes**

Con esta herramienta lo que se busca es eliminar las áreas menores a la “Unidad Mínima Cartográfica” que es el tamaño de área mínimo que debe aparecer en un mapa temático, permitiendo lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso. Según la tabla de Salitechev 1979 para este caso la Unidad Mínima Cartográfica es de 400 m² ya que el producto final se representó en una escala a 1:5000 (ver tabla 6). Se ingresó como dato de entrada los raster resultado del proceso de *Region Group*.

Tabla 12. Unidad Mínima Cartografiable.

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4 x 4 mm)	
	m	km	m	km	m ²	km ²
1:500	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1,000	10	0.01	1	0.001	16	0.000016
1:2,000	20	0.02	2	0.002	64	0.000064
1:5,000	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
1:10,000	100	0.1	10	0.01	1,600	0.0016
1:20,000	200	0.2	20	0.02	6,400	0.0064
1:25,000	250	0.25	25	0.025	10,000	0.01
1:50,000	500	0.5	50	0.05	40,000	0.04
1:100,000	1,000	1	100	0.1	160,000	0.16
1:250,000	2,500	2.5	250	0.25	1,000,000	1
1:500,000	5,000	5	500	0.5	4,000,000	4
1:1,000,000	10,000	10	1000	1	16,000,000	16
1:6,000,000	60,000	60	6000	6	576,000,000	576

Fuente: Salitchev, 1979.

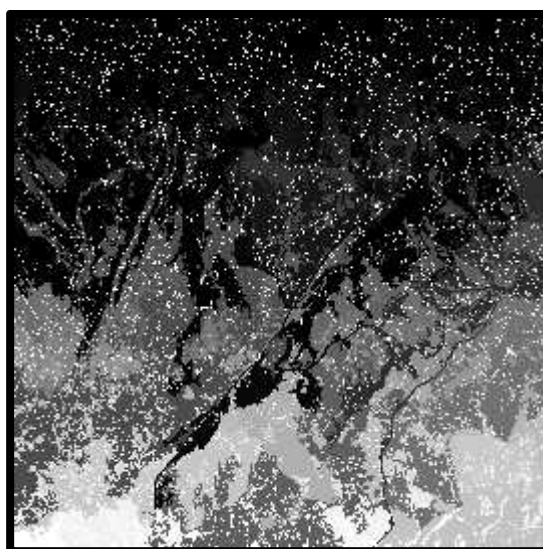


Ilustración 22. Aplicación de las herramientas *extract by attributes*.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Nibble

Se ejecutó esta herramienta con el fin de reemplazar las celdas de un raster con los valores de los vecinos más cercanos. Para ello se ingresó como raster de entrada el correspondiente al resultado del *Región Group* y como raster máscara el que se obtuvo del *Extract by Attributes*, dando que la herramienta *Nibble* reasigne los valores del raster entrada más cercanos a las celdas que se encuentren en el raster máscara como NoData,

de esta formara se obtendrá un raster completo con polígonos mayores a los 400 m². El resultado se representó con simbología *Unique Value*.



Ilustración 23. *Aplicación de la herramienta Nibble*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- **Join**

A continuación, es necesario realizar una unión de las características de la tabla de atributos del *Region group* y *Nibble*, empleando el campo *value*. Adicionalmente una vez realizado el join, se exportó el resultado en formato .img.

Obtención de polígono

Como paso final se convirtió el raster anterior a polígono con la herramienta *Raster to Polygon*, tomando en cuenta que el campo en donde se encuentran las características de las coberturas es el LINK que se creó durante la ejecución del *Region Group*.



Ilustración 24. *Shape final de la ortofoto.*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Correcciones manuales

Una vez realizado los pasos anteriores, se ejecutó una corrección manual entre las uniones de las ortofotos mediante la herramienta *Cut Polygons Tool*, en este caso se tomó en cuenta que exista continuidad entre las coberturas y realizando una comprobación en la concordancia entre la ortofoto y las coberturas. Cabe mencionar que antes de ejecutar el proceso se realizó una unión de los polígonos mediante la herramienta *Merge*.

Obtención de Vegetación Arbustiva y Herbácea

Para la obtención de esta cobertura se realizó de forma manual, es decir, identificando en las ortofotos dicha cobertura y cambiándole su característica de identificación por una nueva correspondiente a la vegetación arbustiva y herbácea en la tabla de atributos del polígono que se obtuvo de las correcciones manuales.

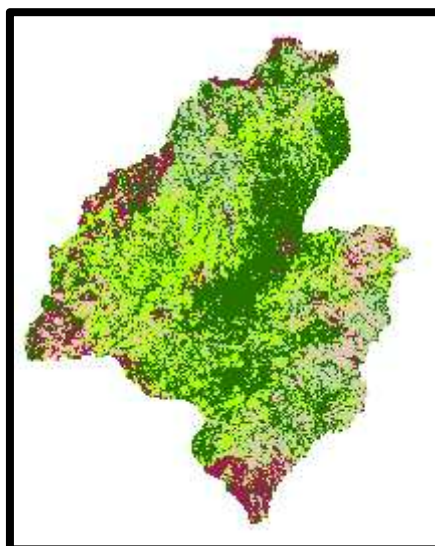


Ilustración 25. Vegetación arbustiva y herbácea dentro del BPA y áreas colindantes

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Corrección de los elementos digitalizados manualmente

En ciertas coberturas de elevada relevancia en el proyecto como es el caso de la Tierra Agropecuaria, se realizaron correcciones para suavizar los bordes y obtener de esta forma una capa más adecuada estéticamente hablando. Algunos de los elementos digitalizados pueden también presentar inconvenientes al momento de realizar cálculos de área por el hecho de haber sido realizados individualmente y haber tomado en cuenta cada parámetro sin considerar el anterior, provocando de esta manera un posible cruce o superposición de shapes, lo cual se debe corregir antes de unificar los parámetros.

Suavizado de Polígonos

Para esta sección se empezó con el mejoramiento de la calidad estética de la cobertura de Tierra Agropecuaria, en la cual se obtuvo una capa digitalizada a escala 1:800 que asegura calidad en cuanto a detalles de márgenes o bordes de terrenos agrícolas, sin embargo, se busca dar a la capa un acabado superior, para lo cual se hizo uso de la herramienta “Smooth Polygon”.



Ilustración 26. *Tierra_Agropecuaria_s-t (sin tratamiento)*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En la figura se puede apreciar cierta predominancia de bordes rectos y aristas puntiagudas, producto normal de la digitalización manual y que en ciertas ocasiones responde a las características propias de los terrenos que tienen formas variadas, pero el objetivo de esta etapa es mejorar los bordes al usar una de las herramientas que posee el Software *ArcMap*.



Ilustración 27. *Corrección de bordes en la capa.*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Luego de haber aplicado el filtro se puede notar la diferencia estética que existe en el shape, pues se obtiene un acabado uniforme y totalmente apegado a la realidad, dado que el redondear ligeramente los márgenes de los polígonos no se afecta al área de los mismos, sino que únicamente se corrige.

Corrección de áreas

El siguiente procedimiento tiene como objetivo corregir las superficies de los elementos digitalizados manualmente como: vías, cuerpos de agua, tierra agropecuaria, construcciones, etc. Con el fin de evitar que existan áreas superpuestas y tener una superficie total libre de errores.

En primer lugar, se tomó en cuenta los elementos de mayor jerarquía dentro de la digitalización para que sobre los mismos no existan errores, como es el caso de la tierra agropecuaria, en la cual se optó por crear polígonos siguiendo el margen de los cultivos o suelos arados, sin tomar en cuenta que dentro de estos existan elementos como construcciones, pues no influyen posteriormente debido a la extracción que se tiene planeada.

A continuación, se realizó un corte en la capa de Tierra Agropecuaria en base a las construcciones, con lo cual se eliminó la superficie excedente producto del cruce de las dos capas. De esta forma generamos un Shape con orificios en los que se ubican las construcciones.



Ilustración 28. Erase de Tierra Agropecuaria en base a las Construcciones

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

Finalmente, al momento de cargar las coberturas de Tierra Agropecuaria y Construcciones, éstas se complementan sin existir cruce de capas, logrando así una correcta cobertura total sin superficies sobrepuestas, asegurando de esta forma la calidad de la información generada.



Ilustración 29. Tierra Agropecuaria y Construcciones complementadas.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

El mencionado procedimiento se realizó en el resto de coberturas digitalizadas para asegurar la calidad de la información generada y proporcionar datos reales en cuanto a extensiones de terreno.

Como paso final para la obtención del Mapa de Cobertura Vegetal y uso de Suelo se realizó la unión del polígono que se obtuvo de la corrección manual para obtener la vegetación arbustiva y herbácea y los elementos digitalizados que fueron suavizados y corregidos el área.

Mapa de Pendientes

Para la generación del mapa de pendientes fue necesario partir de un modelo digital del terreno (MDT) de las parroquias aledañas al BPA (Jadán, Zhidmad, San Juan, San Ana y San Bartolomé), el cual se creó a partir de los datos de curvas de nivel para obtener un relieve digital:

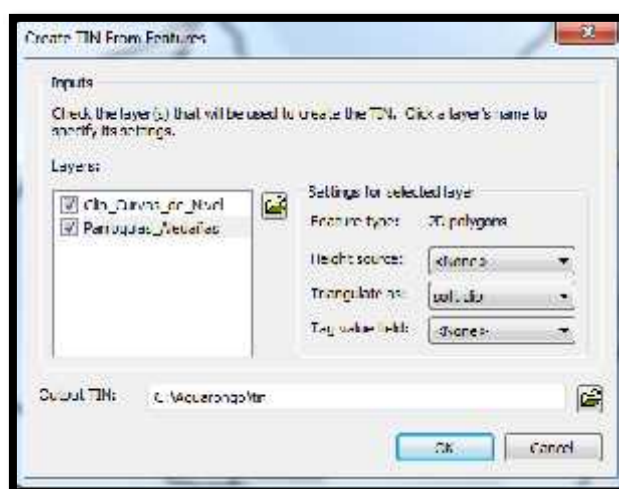


Ilustración 30. Datos de entrada para generar un archivo "TIN".

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Para empezar, se realizó un mapa de elevaciones tomando como entrada los datos de las cotas en cuanto a las curvas de nivel y delimitando esta información dentro del territorio de las comunidades aledañas, esta acción nos permitió crear el archivo *TIN* a partir de las características del territorio.

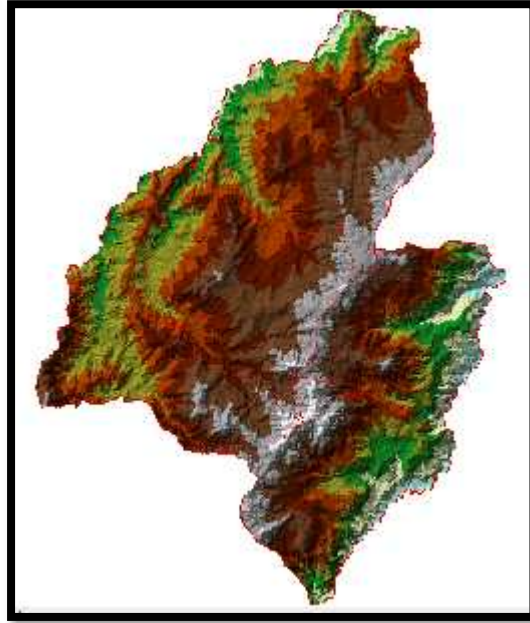


Ilustración 31. Creación de un mapa de Elevaciones a partir de curvas de nivel.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Al obtener un archivo *TIN* con las características deseadas se procedió a elaborar un Modelo de Elevación Digital, el cual sirvió como base para la posterior realización del mapa. Una característica esencial del mapa es que fue generado a partir de un tamaño de pixel de 0,3 * 0,3 lo cual asegura la calidad en cuanto a datos y escala.

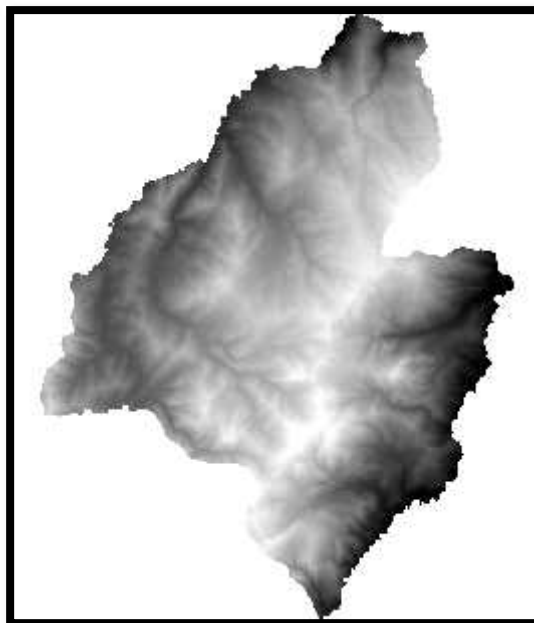


Ilustración 32. Generación de un MDT de las comunidades aledañas al BPA.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Realizado el Modelo de Elevación Digital del Terreno, se puede hacer un mapa que indique las pendientes del mismo y nos brinde datos del grado de pendientes que existan en el territorio.

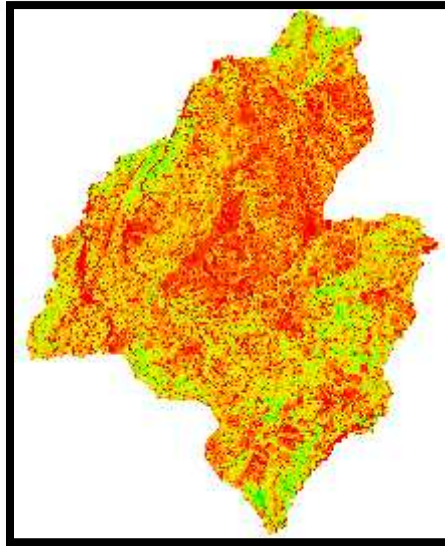


Ilustración 33. Mapa de Pendientes preliminar

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Pendiente en Porcentaje

Haciendo uso del software *ArcMap* generamos el mapa de pendientes en porcentaje con la herramienta “*Slope*” en donde creamos un archivo Raster de salida con las características buscadas.

Seguidamente se debió reclasificar la Pendiente para poder obtener cuatro categorías de pendientes según el porcentaje de inclinación que de acuerdo a la metodología seguida debe ser en rangos que van desde: 0 – 15 %, 15 – 30%, 30 – 50% y >50%.

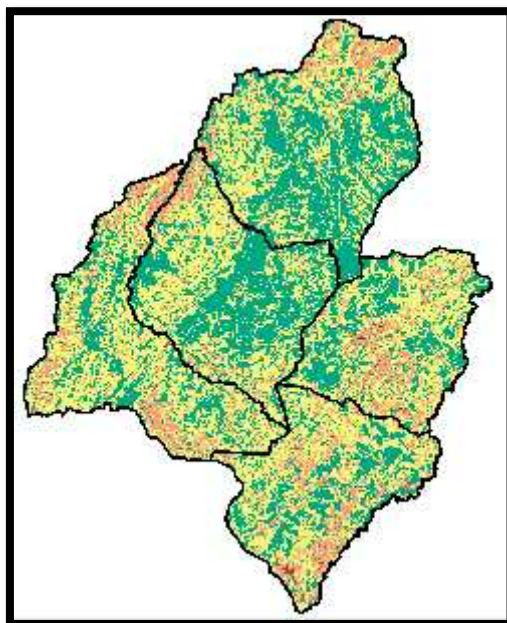


Ilustración 34. Reclasificación de pendientes en 4 clases.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Para la Reclasificación de Pendientes se usó la herramienta *Reclass* con el objetivo de generar cuatro rangos específicos que nos indiquen porcentajes de inclinación del terreno, los cuales son indispensables para la generación del mapa de gradientes.

Procesos de mejora

A continuación, se procedió a aplicar filtros con el fin de depurar la información y generar un mapa en el que los datos estén procesados. Cabe recalcar que es el mismo proceso indicado en la depuración del Mapa de Cobertura y uso del suelo.

- Majority Filter

En primer lugar, se aplicó el filtro Majority Filter que sustituye a las celdas del raster en base de la mayoría de celdas vecinas contiguas, en breves rasgos ayuda a homogenizar píxeles sueltos dentro del raster.

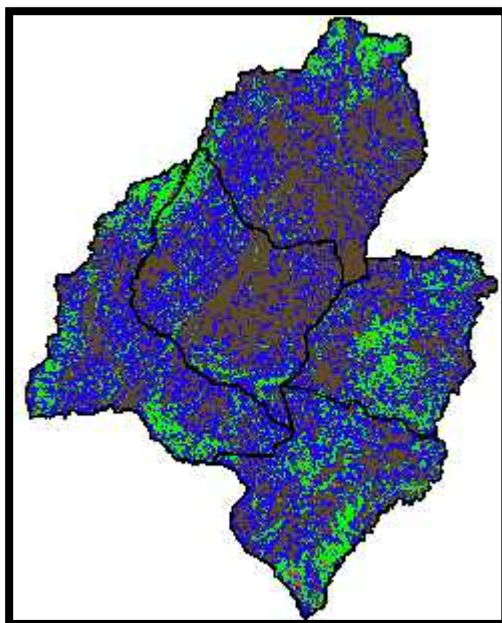


Ilustración 35. Aplicación del filtro Majority Filter.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

- Boundary clean

Seguidamente aplicamos el filtro *Boundary Clean* para suavizar los límites entre las zonas, mediante la expansión y la contracción de los bordes de cada parámetro.

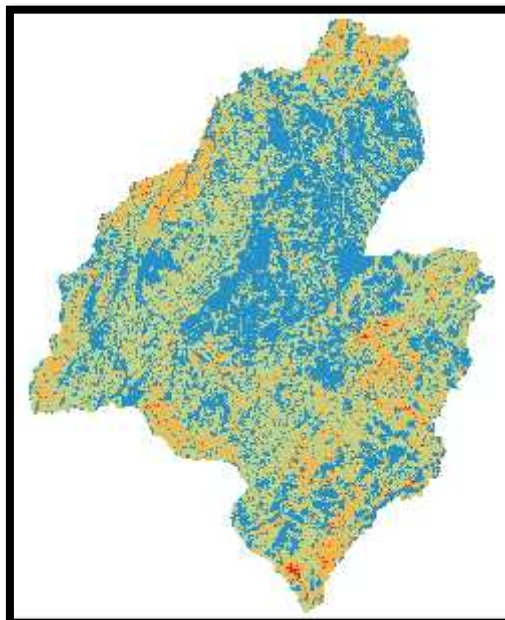


Ilustración 36. Aplicación del filtro Boundary Clean.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo.
Zumba, D. et al, 2016.

Aplicamos este instrumento digital con el fin de afinar las demarcaciones entre zonas del límite, lo cual nos permite evitar inconvenientes posteriores.

- Region Group

Mediante el uso de *Region Group* buscamos conseguir una agrupación de píxeles que integren a los que pueden contrastar en el mapa, tomando en cuenta el uso de ocho vecinos al momento de formar las regiones lo cual asegura la homogeneidad del mapa.

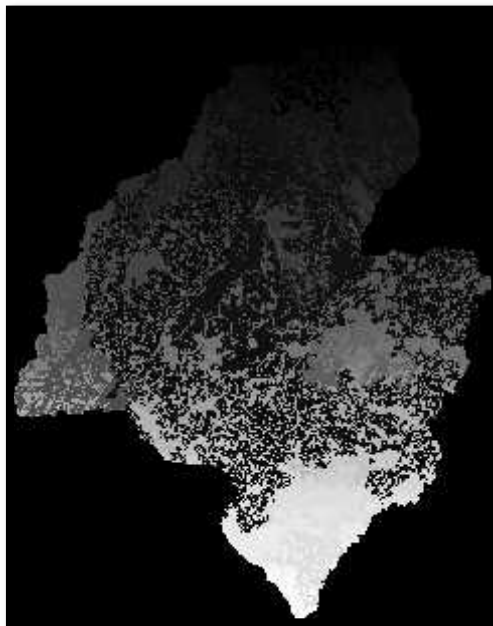


Ilustración 37. Aplicación de la herramienta Region Group.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Extract by attributes

Con esta herramienta buscamos encontrar las áreas mayores a $9m^2$ y descartar las de menor tamaño con el fin de crear zonas específicas con un área de relevancia para su posterior estudio.

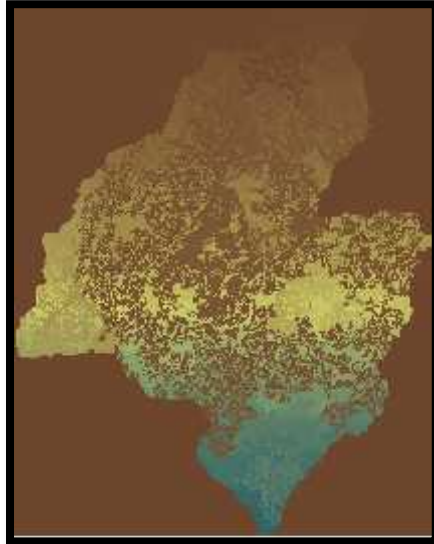


Ilustración 38. Aplicación de la herramienta *Extract by Attributes*.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Nibble

Usamos la herramienta Nibble para seleccionar los valores que necesitamos para la generación del mapa de pendientes, para lo cual seleccionamos dentro de la opción *Symbology* la Opción de *Value* en la que están los valores que requerimos.

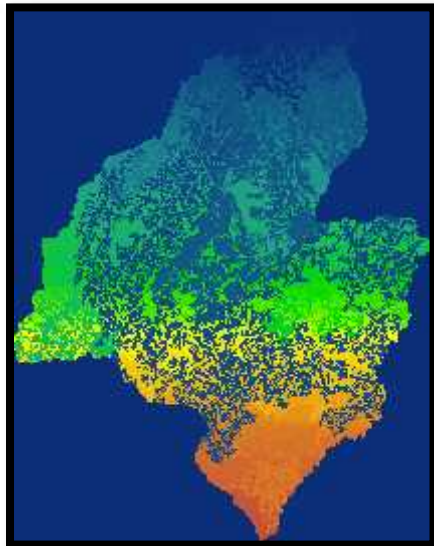


Ilustración 39. Aplicación de la herramienta *Nibble*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

- Join

Luego de obtener este último mapa realizamos una unión de sus atributos desde archivo, juntándolo con nuestro mapa raster, el cual obtuvimos al usar la herramienta *Region Group*, para posteriormente generar un archivo de formato img.

Finalmente convertimos el archivo generado a formato shape, haciendo uso de la herramienta *Raster to Polygon* y obtenemos el Mapa de Pendientes depurado en el que figuran los rangos de pendientes y se encuentran caracterizados por una barra de colores que indica en porcentaje la inclinación del terreno y nos servirá posteriormente para el cruce de información y conseguir el mapa de Unidades Ambientales.

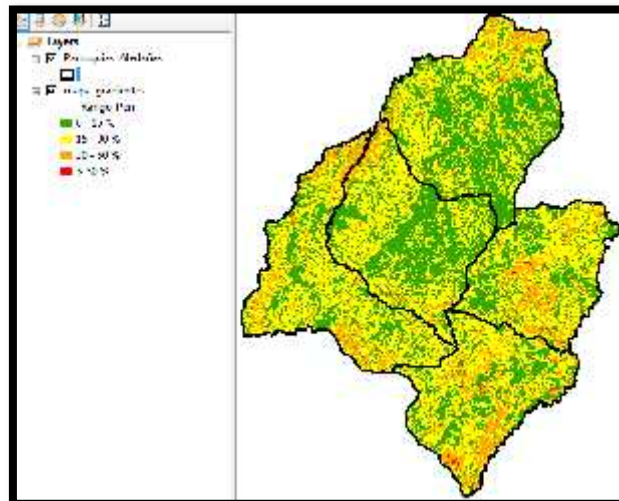


Ilustración 40. Mapa de pendientes en formato Shape.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Mapa de Unidades Ambientales

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Gualaceo las unidades ambientales son sectores o porciones del territorio identificadas y cartografiadas a partir de los análisis sectoriales realizados. Tales unidades se consideran, y tratan, como ecosistemas. Su interés estriba en que la potencialidad del medio no depende de los factores o recursos ambientales considerados aisladamente, por importantes que sean, sino de su interacción en forma de sistemas.

En este concepto, las unidades ambientales permiten tratar la información de forma integrada, así rompiendo la aproximación por factores para pasar a una a aproximación por sistemas. Sobre las unidades ambientales se valorarán los méritos o valores de conservación del territorio, las amenazas derivadas de actividades expectantes incompatibles con el mantenimiento de la calidad ambiental, la vocación natural del medio e incluso las degradaciones e impactos que le afectan.

La definición de unidades ambientales se basa en el criterio de las pendientes en el territorio, es decir, se basa en la intersección entre el mapa de gradientes y el mapa de uso y cobertura de suelo; con la intersección de estos dos mapas se pueden establecer unidades ambientales dependiendo del tipo de cobertura de suelo y la pendiente a la que se encuentra, para esto se tomó en cuenta el siguiente rango de pendientes y las coberturas del nivel 1 y 2 definidas anteriormente para el mapa de uso y cobertura de suelo.

Tabla 13. Rango de pendientes y su denominación según el mapa de gradientes.

Rango de Pendiente (%)	Denominación
0 – 15	Plano o ligeramente inclinado
15 – 30	Inclinada
30 – 50	Escarpada (muy inclinada)
> 50	Fuerte

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En la tabla de atributos del mapa de intersección se pueden observar las coberturas por niveles, la pendiente a la que se encuentra cada polígono de cobertura y su denominación, existen algunas herramientas que pueden realizar esta intersección entre dos mapas, una de ellas es la herramienta *Spatial Join* la cual arroja muy buenos resultados para la selección y clasificación de unidades ambientales u otros parámetros a considerar.

Tabla 14. Tabla de atributos del mapa intersectado.

Nivel 1	Nivel 2	Rango Pen	Denominaci
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Otras tierras	Suelo descubierto	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Otras tierras	Suelo descubierto	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Bosque	Bosque Nativo	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Vegetación	Vegetación arbustiv	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	15 - 30 %	Inclinado
Bosque	Bosque Nativo	15 - 30 %	Inclinado
Otras tierras	Suelo descubierto	15 - 30 %	Inclinado
Tierra agropecuaria	Pasto sin riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)
Tierra agropecuaria	Pasto con riego	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Generación del Mapa de Unidades Ambientales

El mapa de unidades ambientales se generó a partir de la intersección del mapa de gradientes y el mapa de uso y cobertura de suelo. En la tabla de atributos se creó una nueva columna de tipo *texto* con la herramienta *Add file* llamada *UNID-AMB* que representa las unidades ambientales definidas, hecho esto, se realiza una selección por atributos de los polígonos de la siguiente manera.

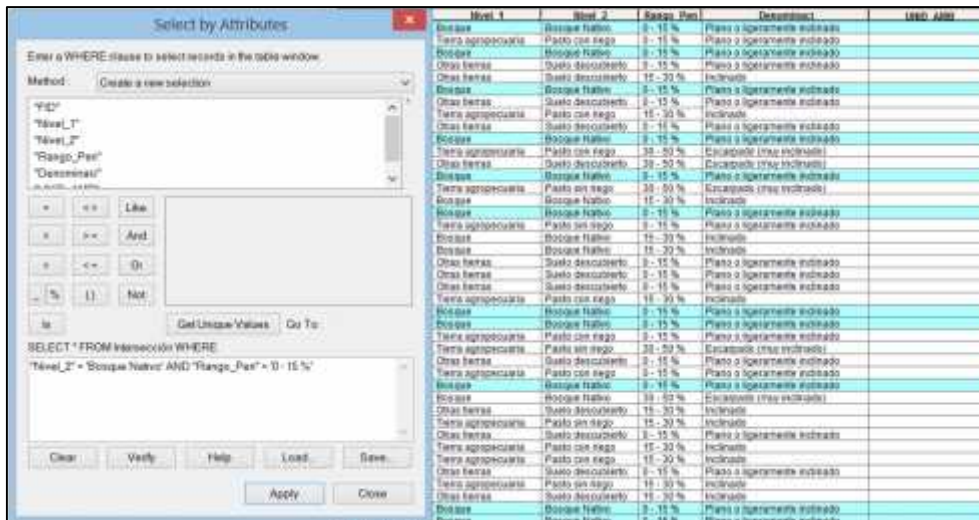


Ilustración 41. Uso de la herramienta *Select by Attributes*.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Una vez seleccionados los polígonos por cobertura y pendiente, dentro de la columna de UNID-AMB se utiliza la herramienta *Field calculator* y se define el nombre de la unidad como se muestra en la ilustración.

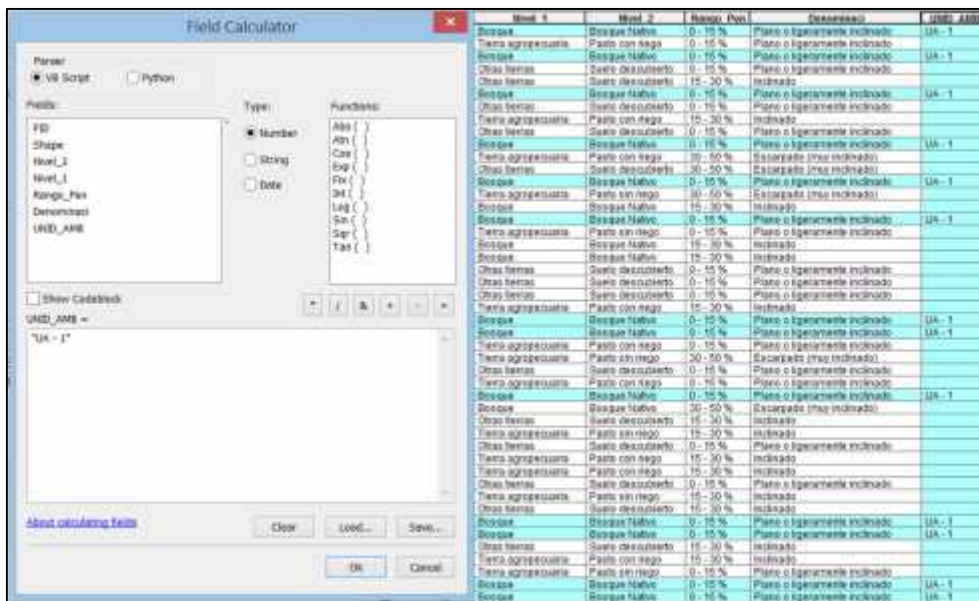


Ilustración 42. Uso de la herramienta *Field Calculator*.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Se realizaron los mismos pasos para ingresar los datos obtenidos mediante el análisis de las unidades ambientales a definir, en los resultados se puede observar el número de

unidades definidas en base al tipo de cobertura y pendientes del terreno, así como el mapa de unidades ambientales generado.

Mapa de Capacidad de Acogida

La Capacidad de Acogida constituye la relación del medio físico con las actividades humanas y se refiere al grado de idoneidad, al uso que puede darse al medio considerando su fragilidad y su potencialidad. Expresa la concertación entre la posición que valora tal relación desde el medio en términos de impacto y la posición que la evalúa desde la actividad en términos de aptitud o potencial de un territorio determinado. La capacidad de acogida también puede ser vista desde el lado de oferta y demanda. La Capacidad de acogida representa la “oferta” de territorio para las actividades, las cuales “demandan” un lugar para su emplazamiento, según se expresa en el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca.

El análisis de la capacidad de acogida del territorio se realizó mediante categorías de ordenación y subcategorías definidas por el PDOT del Cantón Cuenca, también se tomó en cuenta el criterio de los autores y se generó una matriz que permita la obtención de esta capacidad de acogida mediante un puntaje de 1 a 5 asignado a cada subcategoría.

Actividad incompatible

Una actividad incompatible indica que de ubicarse en el área a que se aplica, se produciría grave quebranto de sus características y valores ecológicos, productivos y paisajísticos, como ejemplo tenemos el emplazamiento industrial dentro del área de Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo, es una actividad incompatible con el uso y cobertura que posee.

Actividad compatible con limitaciones

Significa que solo es aceptable en ciertas condiciones definidas por informes, dictámenes o licencias favorables de los organismos responsables de la administración, como ejemplo tenemos la actividad agropecuaria en zonas cercanas al BPA, son actividades compatibles con el uso de suelo ya que posee un suelo fértil para dicha actividad, sin embargo, no debería llevarse a cabo.

Una actividad compatible con limitaciones también se refiere a ciertas actividades como la asignación de un área protectora en una zona determinada pero que tiene limitaciones de tipo política, social o cultural que se niegan a ceder para la definición de esta área protectora.

Actividad compatible sin limitaciones

Representado por el código 4 indica que es compatible con las características de la unidad a que se aplica, aunque no vocacional, por ejemplo, la actividad agropecuaria dentro de una zona con pendiente del 0 – 30%, es una actividad compatible si no existen limitaciones como su ubicación dentro del territorio en zonas muy cercanas a un cauce utilizado para el abastecimiento de agua, de no existir el cauce la actividad sería compatible sin limitaciones.

Actividad vocacional

Indica que el área a que se asigna se está utilizando racionalmente en la actualidad, son actividades para las que son mejor valoradas, por ejemplo, la conservación y regeneración del ecosistema en zonas con pendientes superiores al 50%, es una actividad propicia para el desarrollo del ecosistema y que tiene una actitud vocacional frente a otras categorías.

Tabla 15. Valor asignado a la capacidad de acogida y su descripción.

Valor	Descripción
1 - 2	Actividad incompatible
2,1 - 3	Actividad compatible con limitaciones
3,1 - 4	Actividad compatible sin limitaciones
4,1 - 5	Actividad vocacional

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Donde 5 es el mayor valor, es decir lugares donde la capacidad de acogida es *muy alta o vocacional*, son zonas excelentes para realizar una actividad y 1 es el valor más bajo, es decir, lugares donde la capacidad de acogida es *nula o incompatible* con el uso de suelo y que ocasiona daños al medio donde se está desarrollando.

Una vez asignado el puntaje se calculó el promedio para cada categoría y se tomó el mayor valor del promedio de todas las categorías definidas para cada unidad ambiental, a continuación, se presenta una tabla resumen de las categorías y subcategorías tomadas del PDOT del Cantón Cuenca.

Tabla 16. Categorías y subcategorías para el análisis de capacidad de acogida.

Categoría	Subcategoría
CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Preservación estricta
	Conservación Activa
	Regeneración del ecosistema
	Actividades científico culturales
	Repoblación forestal
ESPARCIMIENTO Y DEPORTES AL AIRE LIBRE	Excursionismo y contemplación
	Recreo concentrado
	Camping
	Baño y actividades náuticas
	Caza
	Pesca
	Motocross, trial

	<p>Circulación campo a través con vehículos todo terreno</p> <p>Agricultura extensiva de secano</p> <p>Agricultura de regadío</p> <p>Huertos familiares y/o metropolitanos</p> <p>Agricultura industrial: invernaderos</p> <p>Pascicultura</p> <p>Pastoreo</p> <p>Edificaciones ganaderas</p> <p>Repoblación forestal: bosque productor</p> <p>Edificaciones asociadas a la explotación agraria</p> <p>Vivienda rural</p>
ACTIVIDADES AGRARIAS	
	<p>Polígonos industriales</p> <p>Industria pesada aislada</p> <p>Industria limpia</p> <p>Industria extractiva</p>
ACTIVIDADES INDUSTRIALES	
	<p>Autopistas</p> <p>Autovías</p> <p>Carreteras</p> <p>Ferrocarriles</p> <p>Pistas forestales</p> <p>Líneas aéreas de conducción eléctrica o telefónica</p> <p>Oleoductos, gaseoductos, etc.</p> <p>Embalses</p> <p>Canales hidráulicos</p> <p>Antenas para telefonía móvil, televisión y otras instalaciones puntuales de comunicación</p>
INFRAESTRUCTURAS	
	<p>Vertederos de residuos inertes.</p> <p>Escombreras</p> <p>Vertedero de residuos urbanos</p> <p>Vertedero de residuos tóxicos</p> <p>Cementerios</p>
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	

Fuente: Gómez, D. & Gómez, A, 2013.

El mapa de capacidad de acogida del territorio se generó a partir del mapa de unidades ambientales y el análisis de las categorías de ordenación; para tener un shape de capacidad de acogida primero se realizó una adecuación de los datos para que puedan ser adicionados a la tabla de atributos mediante la herramienta *Join*. A continuación, se presenta un ejemplo de los pasos realizados para el análisis y la confección del mapa de capacidad de acogida del territorio.

- *Asignación de puntos y promedio de la categoría por unidad ambiental.*

La asignación de puntos se refiere al valor determinado para cada subcategoría como se puede ver en la ilustración, los valores van desde 1 a 5 con base a la descripción de la capacidad de acogida si la actividad es incompatible, compatible con limitaciones, compatible sin limitaciones o vocacional.

DESCRIPCIÓN	PENDIENTES	UNIDAD AMBIENTAL	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN					PROMEDIO I	DESCRIPCIÓN
			Preservación estriata	Conservación Activa de las actividades que se desarrollan	Regeneración del ecosistema	Actividades científicas culturales	Reposición forestal		
Bosque Nativo	0 - 15	UA - 1	4	2	3	3	4	3,20	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30								
	30 - 50	UA - 2	5	2	5	4	5	4,20	Actividad vocacional
Vegetación Arbustiva y Herbácea	0 - 15	UA - 3	2	2	4	2	1	2,20	Actividad compatible con limitaciones
	15 - 30								
	30 - 50	UA - 4	5	3	5	3	5	4,20	Actividad vocacional
Tierra Agropecuaria - Pasto con riego y sin riego	0 - 15	UA - 5	2	3	4	5	4	3,60	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30								
	30 - 50	UA - 6	3	3	4	5	4	3,80	Actividad compatible sin limitaciones
Tierra Agropecuaria - Cultivos	0 - 15	UA - 7	5	3	5	3	4	4,00	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30	UA - 8	2	5	3	2	1	2,60	Actividad compatible con limitaciones
	30 - 50	UA - 9	2	4	3	2	2	2,60	Actividad compatible con limitaciones
Zona antrópica	0 - 15	UA - 10	3	4	5	2	3	3,40	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30	UA - 11	4	2	5	3	5	3,80	Actividad compatible sin limitaciones
	30 - 50	UA - 12	2	5	3	2	1	2,60	Actividad compatible con limitaciones
Suelo descubierto	0 - 15	UA - 13	2	5	3	3	2	3,00	Actividad compatible con limitaciones
	15 - 30	UA - 14	3	3	4	3	4	3,40	Actividad compatible sin limitaciones
	30 - 50	UA - 15	4	3	5	3	5	4,00	Actividad compatible sin limitaciones
Suelo descubierto	0 - 15	UA - 16	2	2	4	3	5	3,20	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30								
	30 - 50	UA - 17	2	2	4	3	5	3,20	Actividad compatible sin limitaciones
	> 50	UA - 18	4	2	5	4	5	4,00	Actividad compatible sin limitaciones

Ilustración 43. Ejemplo de puntuación y valor asignado a cada categoría.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Donde la columna de *Promedio I* es la capacidad de acogida de Conservación y Regeneración para cada unidad ambiental, por ejemplo, el *Bosque Nativo* en una pendiente de 0 – 30 % que es la *Unidad ambiental 1* tiene un valor de 3,20 de capacidad de acogida, lo que significa que es una actividad compatible sin limitaciones.

- Promedio mayor de todas las categorías.

El promedio mayor tomado de cada categoría nos da un valor de capacidad de acogida que puede ser sugerido para el uso de suelo de cada unidad ambiental, es decir la categoría que mayor puntaje obtuvo es la más ideal para el uso de esa zona.

DESCRIPCIÓN	PENDIENTES	UNIDAD AMBIENTAL	PROM EDIO 1	PROM EDIO 2	PROM EDIO 3	PROM EDIO 4	PROM EDIO 5	PROM EDIO 6	VALOR MÁXIMO	CAPACIDAD DE ACOGIDA	DESCRIPCIÓN
Bosque Nativo	0 - 15	UA - 1	3,20	2,11	1,80	1,00	1,70	1,25	3,20	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30										
	30 - 50	UA - 2	4,20	1,63	1,40	1,00	1,20	1,00	4,20	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad vocacional
Vegetación Arbustiva y Herbácea	0 - 15	UA - 3	2,20	2,63	2,80	2,25	3,10	2,75	3,10	INFRAESTRUCTURAS	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30										
	> 50	UA - 4	4,20	3,13	2,50	1,75	2,40	2,00	4,20	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad vocacional
Tierra Agropecuaria - Pasto con riego y sin riego	0 - 15	UA - 5	3,80	3,88	4,50	2,50	3,80	3,25	4,50	ACTIVIDADES AGRARIAS	Actividad vocacional
	15 - 30										
	30 - 50	UA - 6	3,80	4,00	3,80	2,50	3,60	3,25	4,00	ESPARCIMIENTO Y DEPOSITOS AL AIRE LIBRE	Actividad compatible sin limitaciones
	> 50	UA - 7	4,00	3,38	1,60	1,00	2,20	1,75	4,00	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones
Tierra Agropecuaria - Cultivos	0 - 15	UA - 8	2,60	1,88	4,20	1,25	2,40	1,50	4,20	ACTIVIDADES AGRARIAS	Actividad vocacional
	15 - 30	UA - 9	2,60	1,63	4,00	1,25	2,50	1,50	4,00	ACTIVIDADES AGRARIAS	Actividad compatible sin limitaciones
	30 - 50	UA - 10	3,40	1,63	3,80	1,00	1,80	1,25	3,80	ACTIVIDADES AGRARIAS	Actividad compatible sin limitaciones
	> 50	UA - 11	3,80	1,50	2,00	1,00	1,70	1,00	3,80	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones
Zona arbolada	0 - 15	UA - 12	2,60	2,25	1,90	3,50	3,80	2,50	3,80	ACTIVIDADES AGRARIAS	Actividad compatible sin limitaciones
	15 - 30	UA - 13	3,00	2,75	1,60	3,50	3,80	2,50	3,80	INFRAESTRUCTURAS	Actividad compatible sin limitaciones
	30 - 50	UA - 14	3,40	2,88	2,90	2,25	2,50	1,50	3,40	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones
	> 50	UA - 15	4,00	2,50	2,00	1,00	1,30	1,00	4,00	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones
Suelo descubierto	0 - 15										
	15 - 30	UA - 16	3,20	3,88	3,50	4,00	3,90	3,75	4,00	ACTIVIDADES INDUSTRIALES	Actividad compatible sin limitaciones
	30 - 50	UA - 17	3,20	2,88	1,90	2,75	3,00	3,25	3,25	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	Actividad compatible sin limitaciones
> 50	UA - 18	4,00	3,38	2,60	1,75	2,00	1,75	4,00	CONSERVACIÓN Y REGENERACIÓN	Actividad compatible sin limitaciones	

Ilustración 44. Ejemplo promedio mayor de todas las categorías de ordenación.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Por ejemplo, el *Bosque Nativo* a una pendiente de 30 – 50% que forma la *unidad ambiental 2* tiene un promedio mayor o valor máximo de 4,20 en la capacidad de acogida, lo que significa que es una actividad vocacional en la categoría de Conservación y Regeneración y este valor sugiere ser la mejor categoría en comparación a las demás categorías de infraestructura, agricultura, esparcimiento, emplazamiento de industrial o disposición de residuos.

El análisis de capacidad de acogida de un territorio debe realizarse con ayuda de personal con alto criterio para valorar cada subcategoría, también se puede incluir el criterio de los representantes de la población que conocen la situación actual de su territorio y que pueden servir para este análisis. La capacidad de acogida ayuda con la toma de decisiones y manejo adecuado de las zonas de protección.

Evolución temporal del uso y cobertura vegetal del BPA

Para caracterizar la cobertura del terreno, el uso del suelo y las transformaciones espacio – temporales, es primordial pronosticar la dinámica de los ecosistemas, para de éste modo poder diseñar mejores estrategias de conservación y políticas que beneficien a la naturaleza y lograr un manejo sostenible del territorio (Ramírez, García, & Villalpando, 2013), a continuación, se realizó un análisis de la evolución temporal de la cobertura y uso del suelo en el BPA y sus áreas colindantes, en base a los mapas históricos de los años 1990, 2000 y 2008, los mismos que fueron elaborados por el Ministerio del Ambiente del Ecuador y el proyecto SIG TIERRAS, a una escala regional 1: 5.000 para el nivel 1 y en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) con el datum WGS84 y el mapa obtenido en este proyecto.

Para ello fue necesario calcular las áreas de cada una de las coberturas de los 4 mapas, con el fin de evaluar los cambios en la ocupación del terreno, realizando cálculos por año, así como gráficos en donde se muestra la evolución temporal, teniendo siempre en cuenta que las personas tienen derecho a hacer uso de sus terrenos en el marco de lo legal, pero también considerando y teniendo muy en cuenta a las áreas naturales (Molina Ruiz & Tudela Serrano, 2010). Además, para tener una mejor apreciación de los resultados, se dividió el territorio en dos zonas, la primera zona corresponde al Bosque Protector Aguarongo que se encuentra dentro de las parroquias de Zhidmad, San Bartolomé y Santa Ana y la segunda que corresponde al área restante de las parroquias mencionadas, es decir la que no se encuentra dentro del BPA. Cabe recalcar que la clasificación analizada fue la correspondiente al *nivel 1* según la nomenclatura del MAE.

Por otro lado, cabe mencionar que para el caso del mapa del uso actual se obvió la clase antrópica (construcciones y vías) debido a que los mapas anteriores no poseen dicha clase y no existe un punto de comparación. Del mismo modo se debe expresar que los

mapas en análisis tienen diferentes escalas, por lo que existe un desfase entre los valores del periodo 1990 al 2008 y los valores del mapa generado en el presente proyecto, que fue realizado a mayor detalle y de manera específica.

Características de los mapas

Los mapas de 1990, 2000 y 2008 poseen las seis clases del IPCC para el nivel 1 y las 16 clases definidas por MAE-CLIRSEN-SINAGAP para el nivel 2.

En términos generales según el Ministerio del Ambiente los mapas tienen las siguientes características:

En el año 1990 la cobertura de vegetación natural fue de 15'519.590 ha, que representa el 62% del territorio nacional dividida entre bosques nativos 12'896.224 ha, páramos 1'440.093 ha, vegetación arbustiva 946.567 ha y vegetación herbácea 236.706 ha. El mayor porcentaje de cobertura natural se encuentra en la región amazónica.

Para el año 2000 la cobertura de vegetación natural fue de 14'503.682 ha, que representa el 58% del territorio nacional, lo que significó una reducción de 1'015.908 ha de cobertura vegetal en relación al año 1990. De este total 11'816.204 ha corresponde a bosque nativo, 1'400.873 ha a páramos, 1'046.364 ha a vegetación arbustiva y 240.240 ha a vegetación herbácea.

En el año 2008 la cobertura de vegetación natural fue de 14'123.637 ha, que representa el 57% del territorio nacional, lo que significa una reducción de 380.045 ha con relación a la cobertura del año 2000. La vegetación natural se divide en bosque nativo 11'307.627 ha, páramos 1'380.755 ha, vegetación arbustiva 1'175.423 ha y vegetación herbácea 259.832 ha.

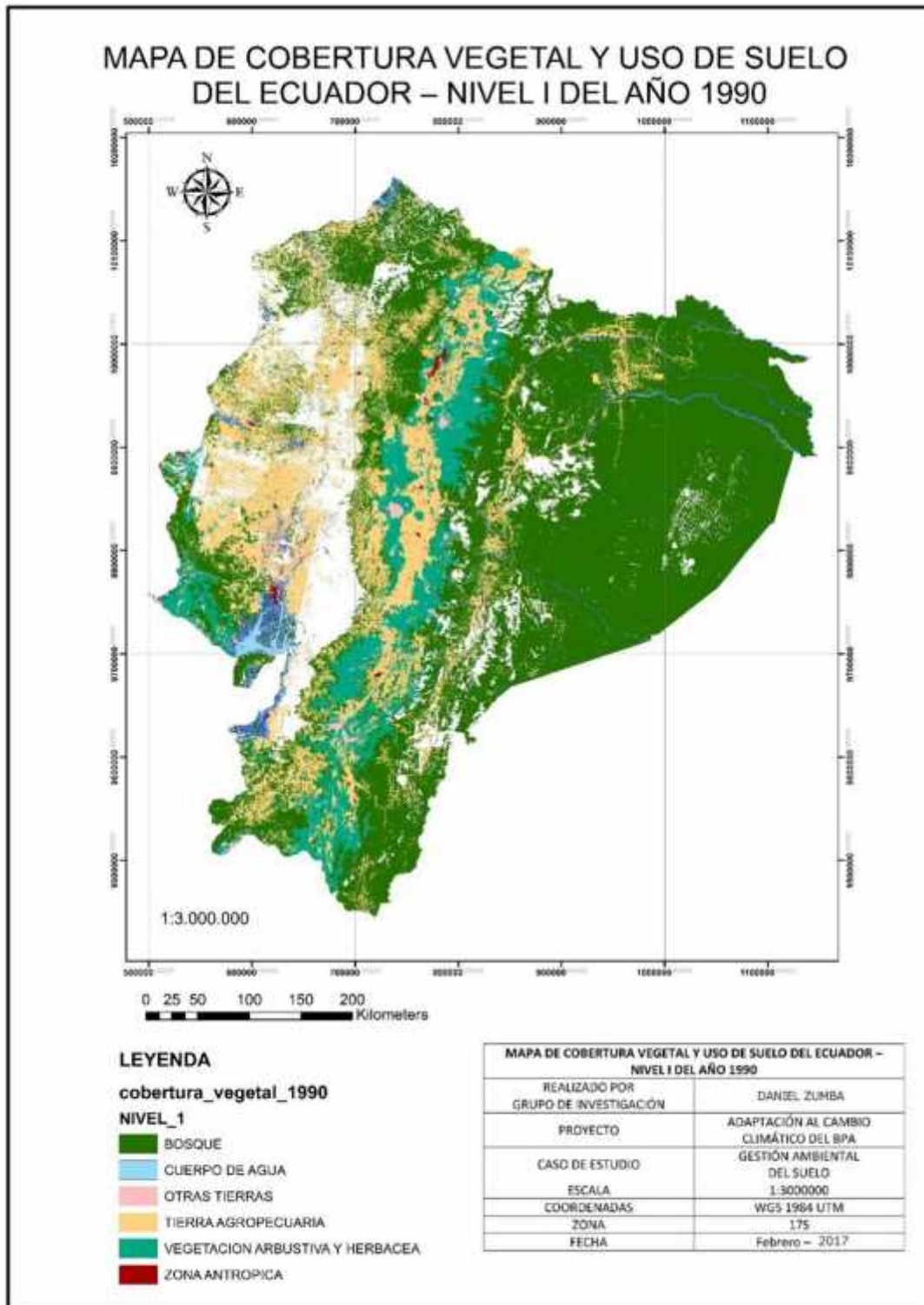


Ilustración 45. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador – 1990.

Elaborado por: Zumba, D., en base a cartografía del Ministerio del Ambiente.

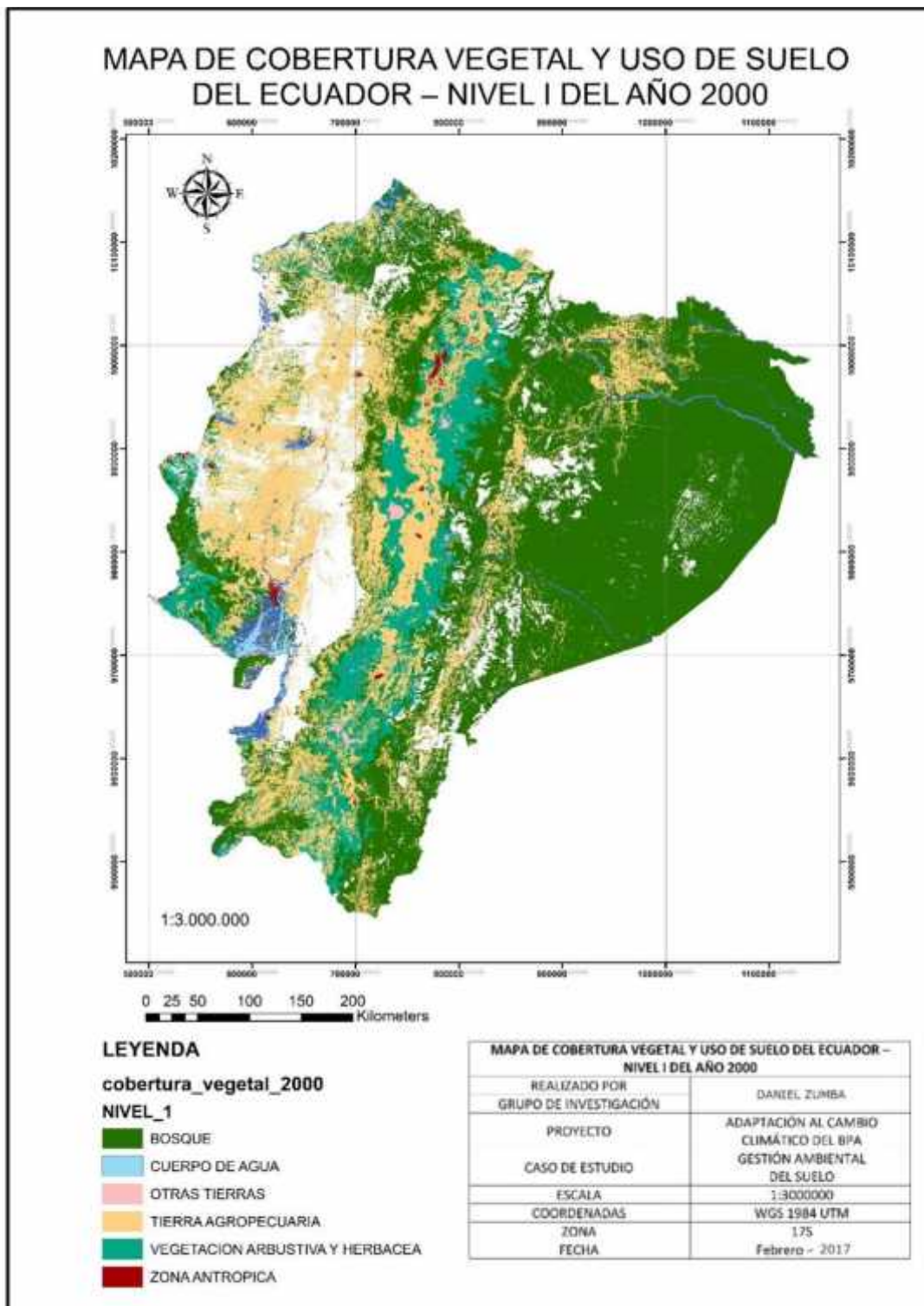


Ilustración 46. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador – 1990.

Fuente: Zumba, D., en base a cartografía del Ministerio del Ambiente.

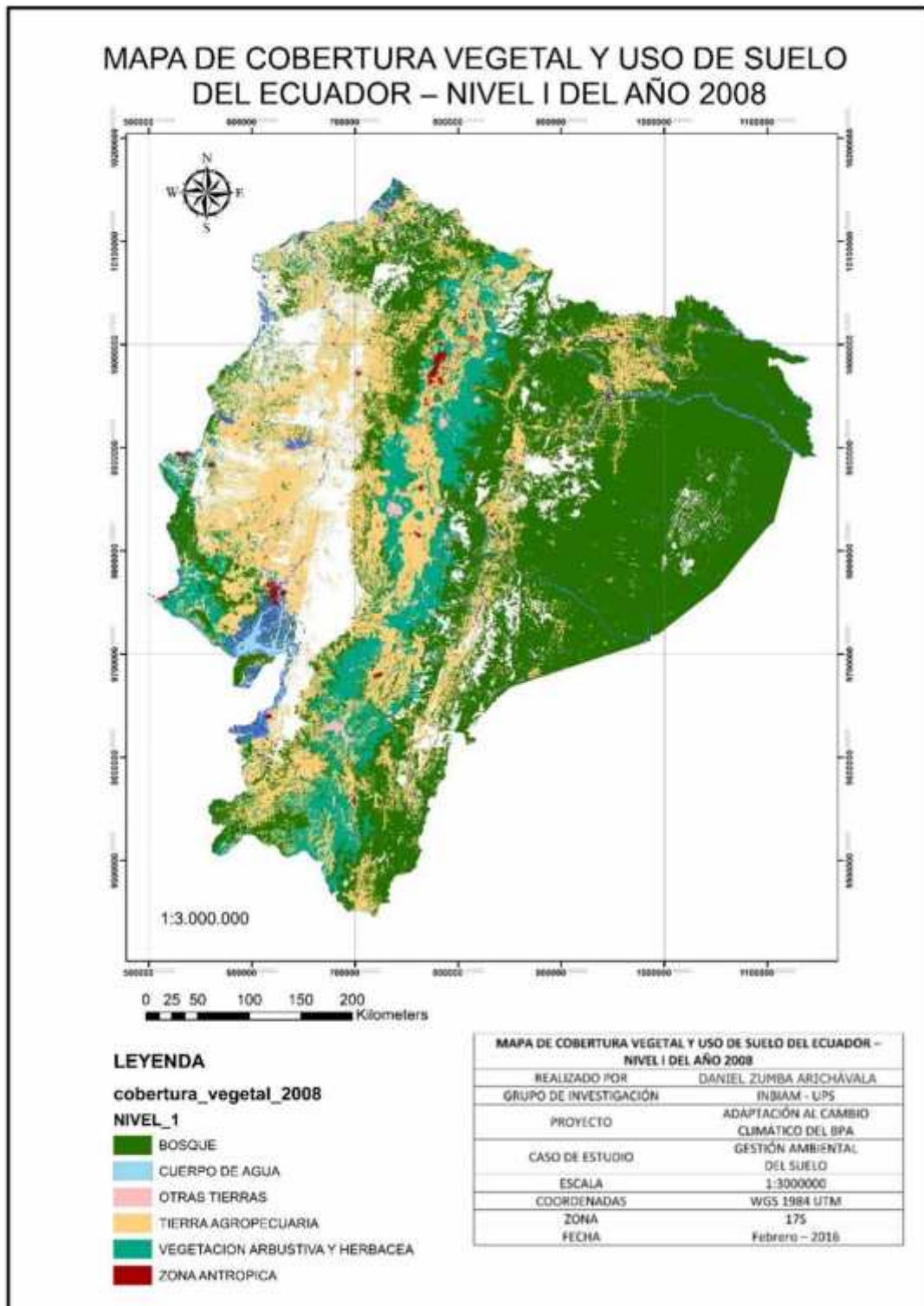


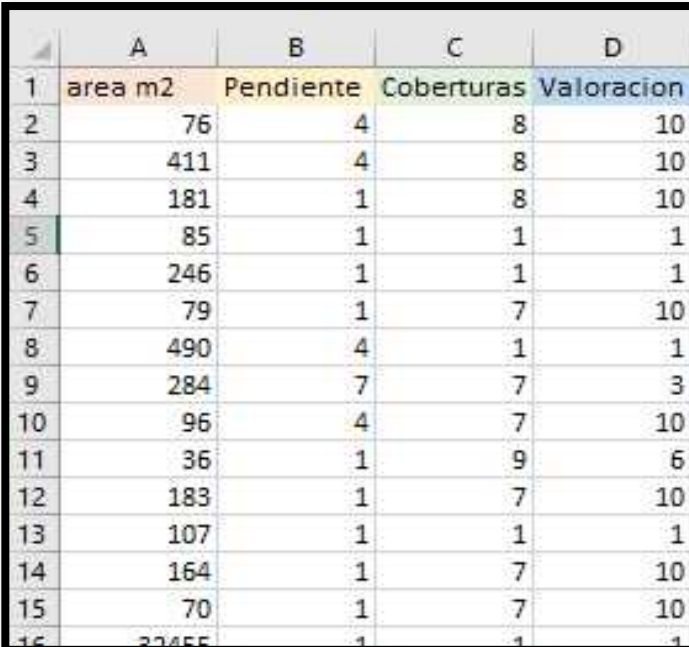
Ilustración 47. Mapa de Cobertura vegetal y Uso de suelo del BPA y sus áreas colindantes – 2008.

Elaborado por: Zumba, D., en base a cartografía del Ministerio del Ambiente.

Tratamiento de la Información

Uso de Python

Luego de obtener los datos del SIG, se procedió a realizar el tratamiento de la información para generar un modelo haciendo uso de un lenguaje de programación para poder manejar la gran cantidad de datos generados (73111), y determinar la relación existente entre las variables de entrada y la de salida, para lo cual se procedió a iniciar con una exportación de los datos desde Arc.Map hacia Excel como se muestra en la *ilustración 48*.



	A	B	C	D
1	area m2	Pendiente	Coberturas	Valoracion
2	76	4	8	10
3	411	4	8	10
4	181	1	8	10
5	85	1	1	1
6	246	1	1	1
7	79	1	7	10
8	490	4	1	1
9	284	7	7	3
10	96	4	7	10
11	36	1	9	6
12	183	1	7	10
13	107	1	1	1
14	164	1	7	10
15	70	1	7	10
16	32455	1	1	1

Ilustración 48. Variables exportadas desde Excel

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Como se puede apreciar, para la tabla de Excel se han colocado en primer lugar las variables de entrada como: área en metros cuadrados, pendiente, coberturas; mientras que la variable de “valoración” que representa al mapa de capacidad de acogida, se lo considera como variable de salida. La acción de realizar una valoración a cada variable exceptuando al área, está basada en un modelo para alcanzar una adecuada ordenación

territorial (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013), en el que se facilita la interpretación de datos de carácter cualificable a datos de carácter cuantificable.

Construcción de Modelos

Interpretación de Datos

Antes de construir cualquier modelo, se recurrió a ciertos directorios para el tratamiento de los datos, tales como *numpy*, *sklearn* o *pandas*, como se observa en la *ilustración 49*.

```
In [27]: # Importaciones realizadas:
         from sklearn import linear_model
         import numpy as np
         import pandas as pd
         import matplotlib.pyplot as plt
         %matplotlib inline
```

Ilustración 49. Importaciones realizadas en Python

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Para utilizar los datos de la tabla de Excel fue necesario exportar la información hacia Python y así empezar con la aplicación de un modelo. La tabla fue guardada en formato “*Comma Separated Value*” (csv) para facilitar su tratamiento en el software como se ve en la *ilustración 50*.

```
In [35]: 4. Parity de Datos:
          5. df.read_csv('C:/Python/learn/SINUS/WORK/Tabla de Datos/Tabla de Datos/Tabla de Datos.csv', sep=';', na_values='-',
          6. )
```

Out[35]:

	area	Pendiente	Coberturas	Valoracion
0	18	1	0	10
1	11	1	0	10
2	101	1	0	10
3	85	1		1
4	74	1		1
5	79	1	7	10
6	180	1	+	1
7	20	7	7	3
8	28	1	7	10
9	36	1	9	5
10	185	1	7	10
11	10	1		1
12	18	1	7	10
13	70	1	7	10
14	30475	1	+	1
15	145	1	8	10
16	77	4	7	10

Ilustración 50. Variables importadas a Python.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Modelo de Regresión Lineal

El modelo de regresión lineal (MRL) o ajuste lineal se usa generalmente para aproximar la relación de dependencia de una forma matemática entre una variable dependiente y varias variables independientes, para nuestro caso en particular se tomó a las variables independientes como “x” y a la variable dependiente como “y”, como se muestra en la siguiente *ilustración 51*.

```
In [36]: df_x = np.array(df[["Pendiente", "Coberturas", "area"]])
          df_y = np.array(df["Valoracion"])
          df_x
```

Out[36]: array([[4, 8, 76],
 [4, 8, 11],
 [1, 8, 181],
 ...,
 [1, 0, 138879],
 [10, 5, 1383855],
 [7, 6, 34]], dtype=int64)

Ilustración 51. Determinación de las variables del modelo.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Seguidamente se procedió a entrenar el modelo utilizando el 70% de los datos para el entrenamiento y el 30% restante para probarlo.

```
In [37]: df_x_train = df_x[:51386]
df_x_test = df_x[51386:]
df_y_train = df_y[:51386]
df_y_test = df_y[51386:]
```

Ilustración 52. Entrenamiento del modelo.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Luego de esto se aplicó el modelo de regresión lineal para determinar si el modelo es válido para los datos ingresados como se puede ver en la *ilustración 53*, en donde se obtuvo un valor poco favorable por lo que se pasó a la aplicación de otro modelo.

```
In [39]: regr = Linear_model.LinearRegression()
In [40]: regr.fit(df_x_train,df_y_train)
Out[39]: LinearRegression(copy_X=True, fit_intercept=True, n_jobs=1, normalize=False)
In [40]: regr.coef_
Out[40]: array([ 6.47372221e 01,  9.03719937e 01,  7.90004670e 07])
In [41]: regr.intercept
Out[41]: 2.7879645532093556
```

Ilustración 53. Resultados del modelo de regresión lineal.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Modelo de Máquina de Soporte Vectorial

Para la aplicación de este modelo se realizaron los mismos pasos que en el modelo anterior, por lo menos hasta la etapa del entrenamiento del modelo, con la diferencia de las métricas y funciones específicas. Dado que el método de máquina de soporte vectorial (SMV), es básicamente un modelo predictor para las clases de una nueva muestra, separa

las clases a dos espacios lo más amplios posibles mediante un hiperplano de separación, por lo que el actual modelo de tres variables independientes de entrada puede no ser el indicado para realizar la simulación, aun así, se procedió a testar los resultados con el modelo como se ve en la *ilustración 54*.

```

In [7]: from sklearn import svm
        clf = svm.SVC(gamma=0.001, C=100.)

In [8]: clf.fit(df_x_train, df_y_train)

Out[8]: SVC(C=100.0, cache_size=200, coef_0=0.0, degree=1, epsilon=0.1, gamma=0.001,
kernel='rbf', max_iter=1, shrinking=True, tol=0.001, verbose=False)

In [9]: covarianza = np.cov(clf.predict(train), out)
        covarianza

Out[9]: array([[ 12.93446787,  11.94077987],
               [ 11.94077987,  14.61887891]])

In [9]: error = np.mean((clf.predict(df_x_test)-df_y_test)**2)
        error

Out[9]: 4.293490487981068

In [10]: np.std(df)

Out[10]: area          46999.717196
        Pendiente      2.367596
        Cohesión        2.976179
        Matricación     4.822744
        dtype: float64

```

Ilustración 54. Resultado del modelo SMV.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Pese al resultado negativo obtenido en el modelo de SMV se decidió correr las métricas de covarianza, desviación estándar y error medio cuadrático como se aprecia en la *ilustración 54*, únicamente para despejar ciertas dudas acerca de la aplicación del modelo respecto a los datos ingresados, de todos modos, se procedió a aplicar otro modelo.

Modelo de Árbol de Decisiones

En el siguiente modelo, dado el conjunto de datos se fabrican diagramas de construcciones lógicas, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva para la resolución del problema, por tal motivo se intuye que el modelo de árbol de decisiones es el más idóneo para el tratamiento de los datos

actuales.

Para este modelo, de la misma manera que para el anterior, se procedió a tomar los datos para entrenamiento (70%) y para su respectiva prueba (30%), luego se procedió a correr el modelo como se observa en la *ilustración 55*, obteniendo una derivación totalmente favorable al llegar al resultado de cero que significa una correspondencia de los datos ingresados con respecto a la variable de salida.

```
In [43]: from sklearn import tree
In [44]: modelo = tree.DecisionTreeRegressor()
In [45]: modelo.fit(df_x_train, df_y_train)
Out[45]: DecisionTreeRegressor(criterion='mse', max_depth=None, max_features=None,
max_leaf_nodes=None, min_samples_leaf=1, min_samples_split=2,
min_weight_fraction_leaf=0.0, presort=False, random_state=None,
splitter='best')
In [46]: np.mean((modelo.predict(df_x_test)-df_y_test)**2)
Out[46]: 0.0
```

Ilustración 55. Modelo de árbol de decisiones.

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Dispersión de puntos

A continuación, y luego de haber determinado que el modelo de dispersión de puntos es aquel que más se ajusta al tipo de datos disponibles, se realizaron gráficas en las que se muestra la dispersión de puntos para cada una de las variables independientes respecto a la dependiente, para de esta forma determinar cuanta influencia poseen las variables de acuerdo a las entradas y salidas.

Es de hacer notar que las variables no fueron graficadas según el modelo de regresión lineal, ni según el modelo de máquina de soporte vectorial, puesto que la característica de los datos ingresados como por ejemplo el área los polígonos, presentaba una gran variedad en cuanto a cifras expresadas en metros cuadrados, y esto producía que los modelos no se ajusten a la información ostentada.

Área Respecto a la Valoración

En la *ilustración 56* en la que se realiza el diagrama de dispersión del área de los polígonos correspondientes a las coberturas (área), respecto a la variable de salida (valoración), se observa la tendencia de los datos hacia el cero, como se manifestó en la aplicación del árbol de decisiones

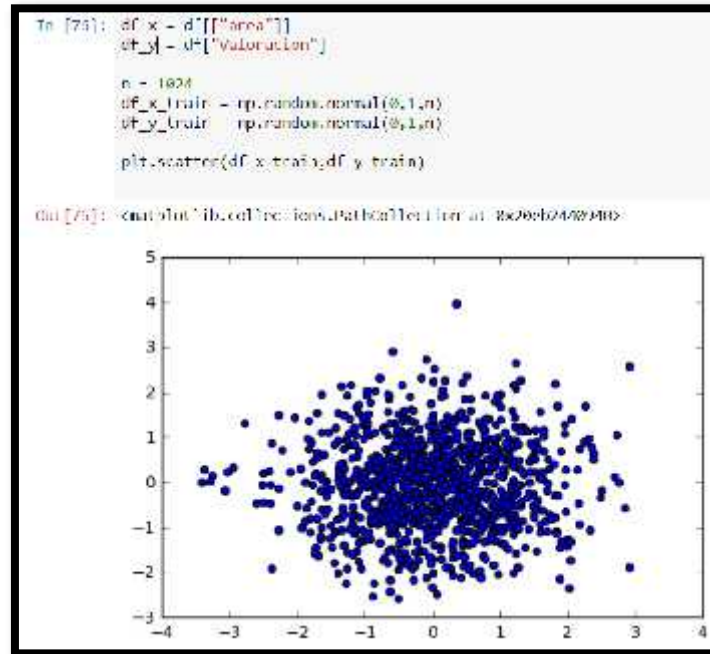


Ilustración 56. Gráfica de dispersión: área - valoración

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Pendiente Respecto a la Valoración

En la siguiente *ilustración 57*, se muestra la relación de la variable de entrada “Pendiente” con respecto a la variable de salida “Valoración”, en la que se confirma la tendencia de los datos hacia el cero, como se demostró en el modelo del árbol de decisiones previamente realizado.

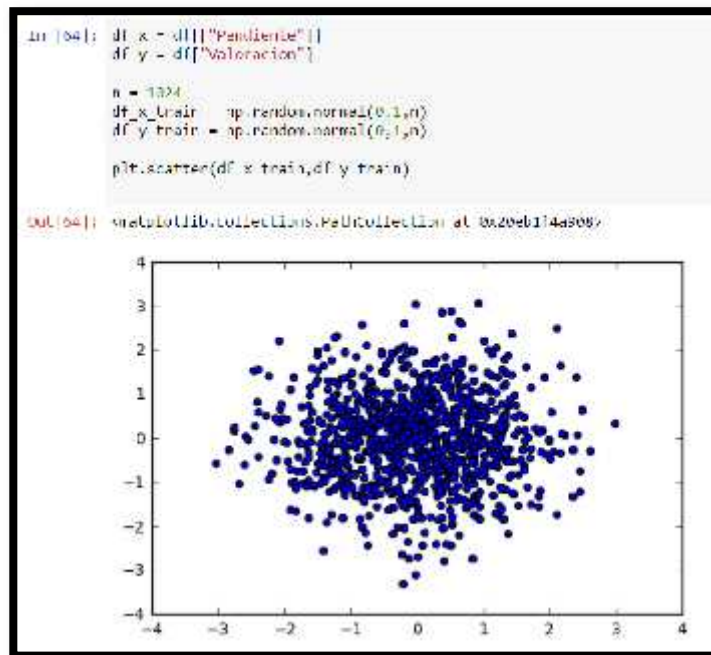


Ilustración 57. Gráfica de dispersión: pendiente - valoración

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Coberturas Respecto a la Valoración

El último aspecto a analizar de acuerdo a la dispersión de puntos, es la *ilustración 58*, en la que se muestra la relación de la variable de entrada “coberturas” correspondiente a los datos de ingreso, con respecto a la variable de salida “valoración”, correspondiente a los datos de salida. En el gráfico también se aprecia la tendencia existente hacia el cero, corroborando lo expresado en el modelo de árbol de decisiones, ejecutado previamente, en donde el resultado expresó la influencia de los datos de entrada, sobre la variable de salida.

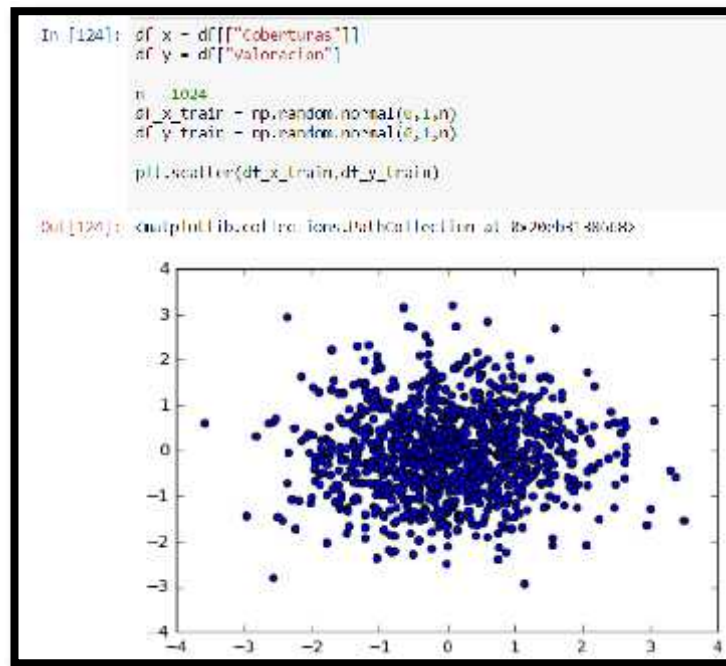


Ilustración 58. Gráfica de dispersión: coberturas - valoración

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Análisis Multicriterio

Para la elaboración de un mapa que muestre las zonas del BPA más propensas a sufrir futuras alteraciones, o dicho en otros términos un mapa que revele los lugares en donde las actividades humanas ocasionen un impacto a la integridad del bosque protector, se precisó de los datos utilizados en la generación del modelo de árbol de decisiones, pues para la evaluación multicriterio se requiere asignar una valoración a cada variable o parámetro de acuerdo criterio que para efectos del proyecto se ha desarrollado, de esta manera se consideran a las coberturas antropogénicas como: cultivos, suelo descubierto, construcciones y vialidad (siempre y cuando se encuentren dentro de los límites del bosque), como factores que afectan a la integridad del área protegida, y se establecen las zonas en las que la tendencia del avance es más posible. Este proceso nos ayuda a evidenciar que el área protegida tiene problemas a resolver, pues la intromisión de

coberturas dentro del bosque, significa una incompatibilidad en el uso del territorio además de la pérdida de flora y fauna nativa del sector.

Como se aprecia en la *Imagen 59*, a partir de las coberturas relacionadas con actividades antropogénicas se realiza una proyección de las zonas más susceptibles a sufrir alteraciones en su uso y disposición del suelo.

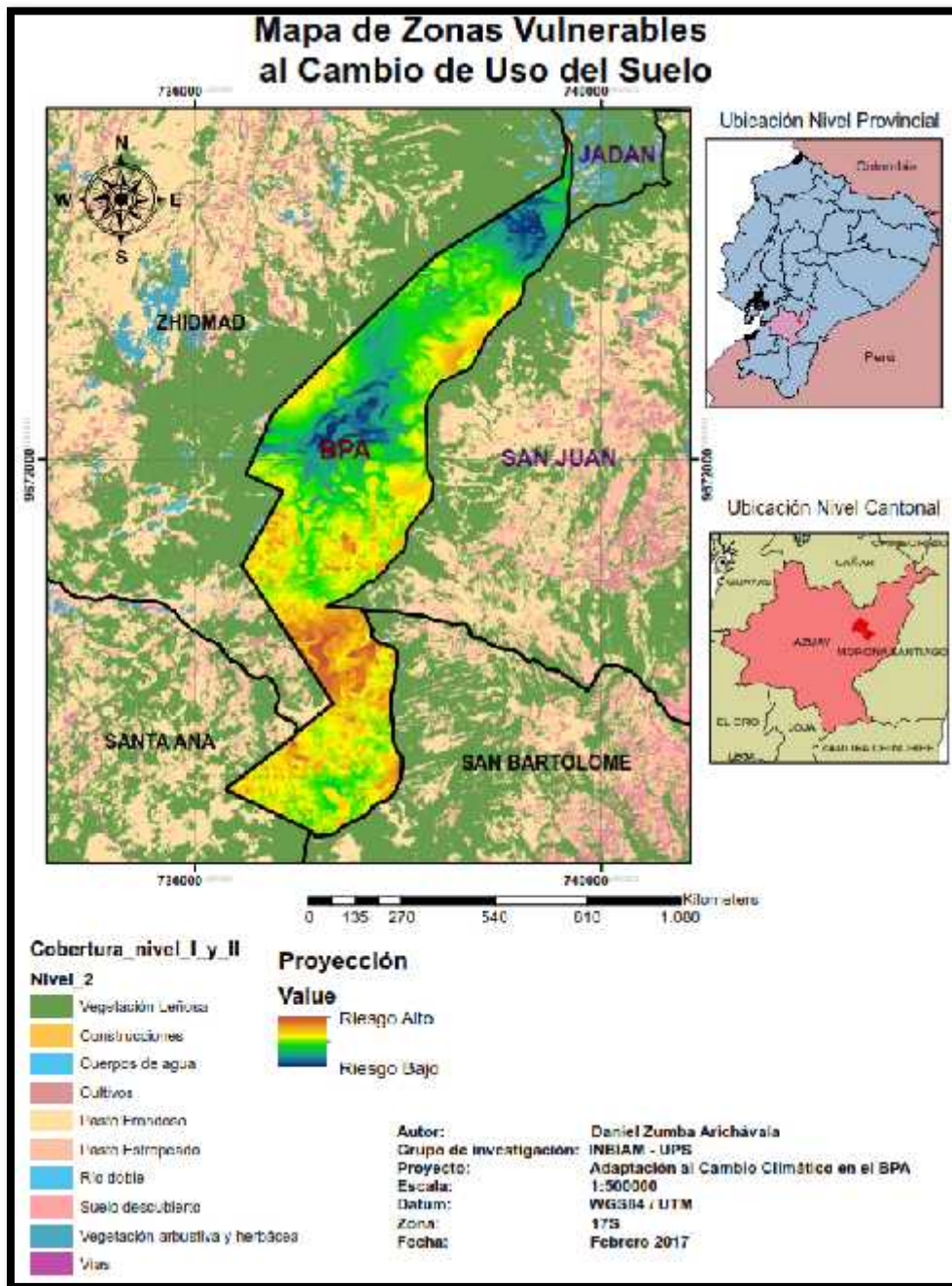


Ilustración 59. Gráfica de dispersión: coberturas - valoración

Elaborado por: Zumba, D., 2017

Resultados y Discusiones

Análisis de Encuestas

Una de las actividades previas a la siembra, es la preparación de la tierra con el fin de que el terreno tenga las condiciones óptimas para el desarrollo de la vegetación, para esta actividad existen varios métodos, siendo el más utilizado en la antigüedad, la cruzada, que es el volteo de la tierra de forma diagonal y superficial, además se utilizaba el arado superficial que es similar a la cruzada con la diferencia de que es horizontal, también se recurría en menor proporción a la quema y al desbrozado así como el arado profundo que son no son técnicas amigables con el suelo, ya que provocan pérdida de nutrientes y a largo plazo la erosión.

En la actualidad el arado de tipo cruzado sigue siendo la técnica más utilizada, sin embargo, poco a poco esta técnica ha sido remplazada por el desbrozado y la quema, que tiene consecuencias negativas, seguido del arado superficial y el uso de mata malezas que es una técnica que no se utilizaba en la antigüedad. Por último, en menor proporción el arado profundo indica un cambio positivo al disminuir el uso de esta técnica y el espeque que es una técnica poco utilizada tanto históricamente como actualmente.

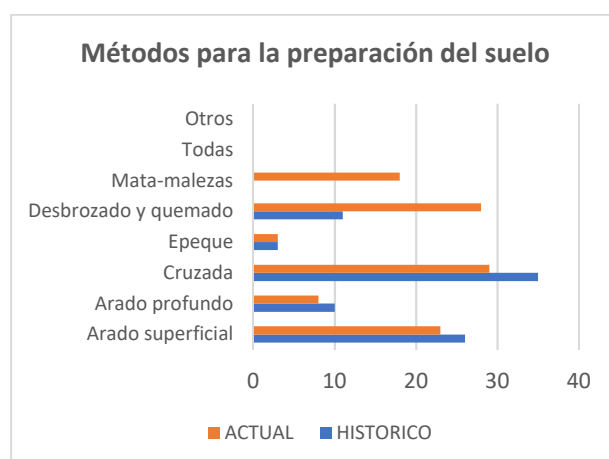


Ilustración 60. Gráfico de los métodos para la preparación del suelo en el área de estudio.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En cuanto al uso del bosque, en base al análisis de la gráfica se puede evidenciar que el mayor uso estaba dado por la extracción de la madera y el pastoreo del ganado, que son las principales ocupaciones de la población aledaña al bosque, quienes veían al bosque como la principal fuente de recursos; en menor proporción se realizaba actividades de agricultura y extracción de plantas medicinales, actividades que causaban desbalance del bosque, y en último lugar se veía al bosque como un lugar de conservación ya que como ya se mencionó el bosque es la fuente de recursos.

Para el momento el pastoreo de ganado y la extracción de madera siguen siendo las principales actividades que se dan en el bosque, sin embargo, estas han disminuido ya que han sido reemplazadas por el turismo y la conservación, siendo las principales actividades por las cuales las autoridades encargadas del bosque dedican su gestión. En la actualidad la agricultura y la extracción de plantas medicinales siguen siendo actividades que se desarrollan dentro del bosque, las mismas que son incompatibles con un bosque protector, no obstante, a diferencia de años anteriores estas han disminuido.

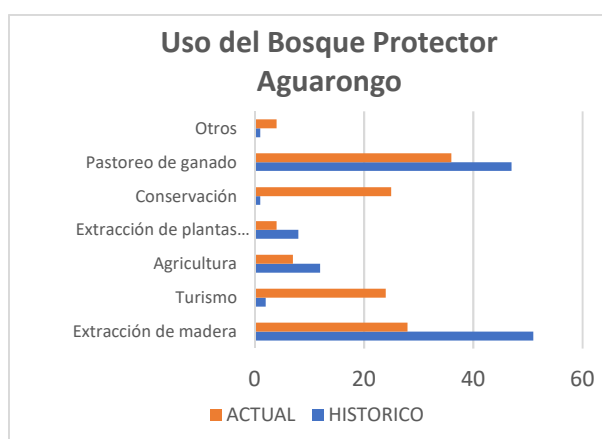


Ilustración 61. *Uso del BPA en el área de estudio.*

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

El último parámetro analizado son los métodos para evitar la pérdida del suelo, los cuales, en años pasados, el principal fue la siembra de barreras vivas seguido del cultivo

en franjas, así como la construcción de muros de contención y en menor proporción la implementación de surcos y el arado en contra pendiente y por último la construcción de terrazas, todo esto con el fin de preservar la calidad y cantidad de suelo en donde se desarrollaba la agricultura.

En cuanto los datos actuales se ha dado un aumento en el porcentaje de personas que utilizan la siembra de barreras vivas, a continuación tenemos el cultivo en franjas el mismo que ha disminuido a diferencia de los años anteriores, seguido esta la implementación de surcos, método que ha tenido una evolución contraria, ya que esta aumentado; posteriormente se encuentra la implementación de muros de contención, arar contra pendiente y la construcción de terrazas como métodos de preservación, lo que indica la variedad de técnicas utilizadas por la población.

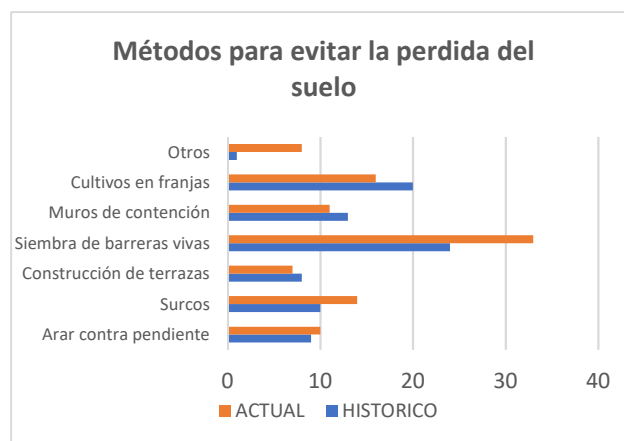


Ilustración 62. Métodos para evitar la pérdida del suelo en el BPA.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Cobertura vegetal y uso de suelo

Para la obtención del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del BPA y sus áreas colindantes se utilizó dos niveles de clasificación tomando en cuenta como referencia el sistema de clasificación del MAE – MAGAP 2015, como ya se mencionó en la metodología, obteniendo como resultado 6 coberturas para el nivel I y 10 coberturas para el nivel II.

En la *Tabla 17* se puede apreciar las coberturas y usos del suelo obtenidos para el nivel I, junto con la superficie que ocupa y porcentaje que representa.

Tabla 17. Áreas obtenidas para el nivel I del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

Tipo de cobertura Nivel I	Área (ha)	%
Bosque	4.636,74	37,31
Tierra agropecuaria	5.290,26	42,57
Vegetación	1.339,47	10,78
Hidrografía	8,61	0,07
Zona antrópica	214,10	1,73
Otras tierras	937,04	7,54
Total	12.426,22	100

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Como podemos observar la mayor ocupación dentro del área de estudio para el nivel I, está dada por la tierra agropecuaria con el 42,57%, seguido por el bosque con un 37,31% indicando que el espacio destinado a actividades agropecuarias ocupa mayor espacio que el bosque. A continuación, se encuentra la vegetación con un 10,78%, seguido por otras tierras con un 7,54% y las zonas antrópicas con un 1,73% y finalmente la hidrografía que tiene menor ocupación con el 0,07%.

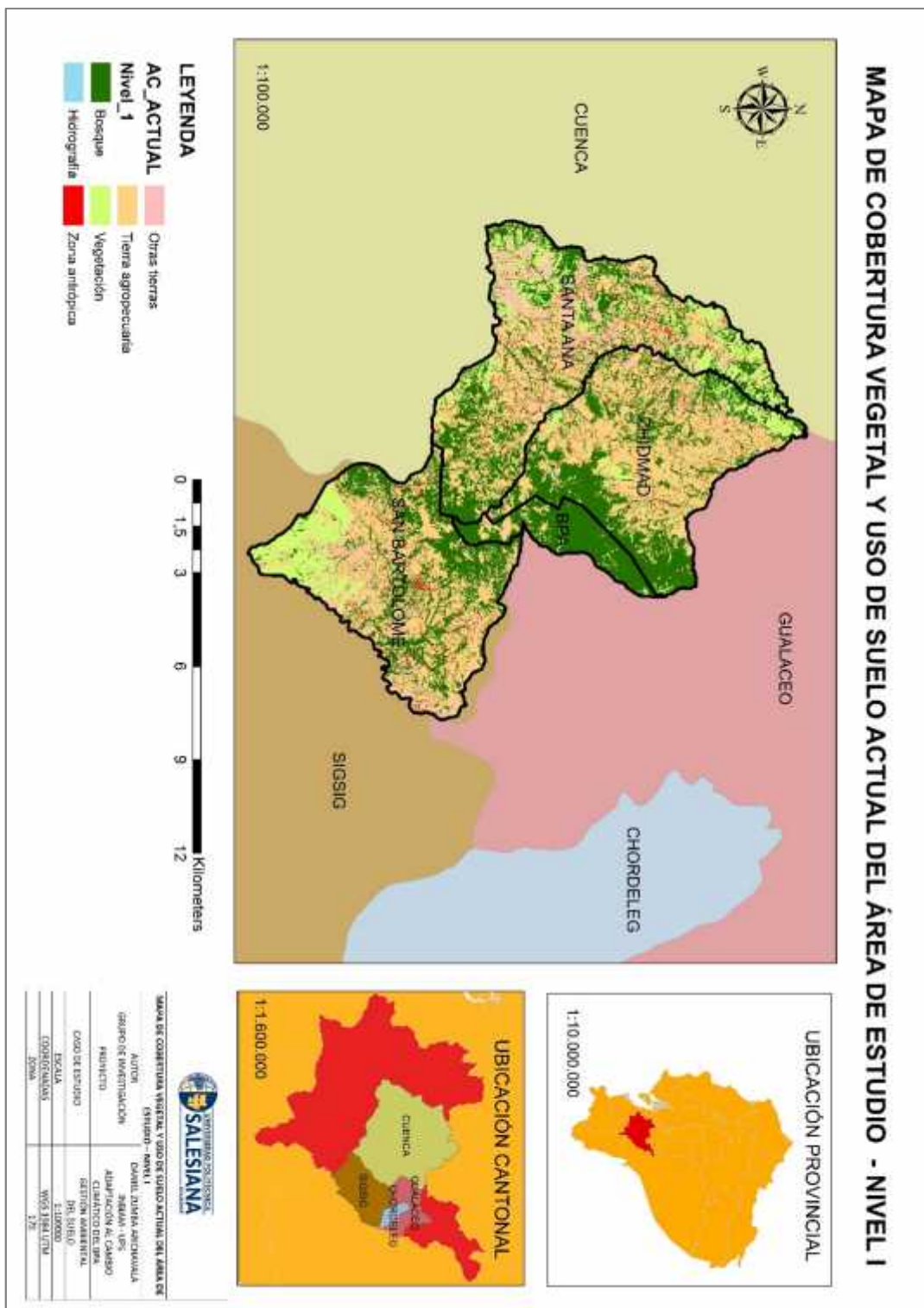


Ilustración 63. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo - Nivel I

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Para el caso del Nivel II el uso y la cobertura del suelo fue clasificado en 10 coberturas, más específicas que el nivel I como se puede apreciar en la *Tabla 18* junto con su área y el porcentaje que ocupa.

Tabla 18. Áreas obtenidas para el nivel II del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo

Tipo de Cobertura		Área (ha)	%
Nivel I	Nivel II		
Bosque	Bosque Nativo	4.636,74	37,31
Tierra agropecuaria	Cultivos	803,63	6,47
	Pasto sin riego	1.124,61	9,05
	Pasto con riego	3.362,02	27,06
Vegetación	Vegetación arbustiva y herbácea	1.339,47	10,78
Hidrografía	Cuerpos de agua	4,68	0,04
	Río doble	3,93	0,03
Zona antrópica	Construcciones	76,02	0,61
	Vías	138,08	1,11
Otras tierras	Suelo descubierto	937,04	7,54
Total		12.426,22	100

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En lo referente al nivel II, se observa que el mayor espacio dentro del área de estudio, está ocupado por el bosque nativo con un 37,31% que se concentra principalmente en el Bosque Protector Aguarongo, seguido por el pasto con riego con un 27,06 %, que es el que mayor porcentaje ocupa dentro de la tierra agropecuaria, lo que se traduce como que el mayor valor en el Nivel I este dado por este tipo de cobertura. Posteriormente tenemos la vegetación arbustiva y herbácea con un 10,78%. A continuación, tenemos las zonas antrópicas que incluyen las construcciones y vías con un 0,61% y 1,11% respectivamente. Finalmente tenemos la hidrografía con el menor porcentaje, y dentro de esta se incluye

los cuerpos de agua con un 0,04% y los ríos dobles con un 0,03%, en cuanto a este tipo de cobertura es necesario indicar que para el caso del río Gualaceo y el río Pamar Charin, que son límites en el área de estudio, se tomó en cuenta toda la superficie del río, tomando en cuenta que estos cursos de agua, representan un aporte hídrico dentro del bosque y sus áreas colindantes.

Por otro lado, como ya se mencionó en el apartado de materiales y métodos para la obtención del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, se realizó una digitalización manual en donde se obtuvo varios elementos que tienen una superficie baja, por lo que no es posible obtenerlos mediante una clasificación digital, además que constituyen un factor de importancia en el análisis de este proyecto, siendo necesaria una alta precisión tanto de su área como ubicación. A continuación, en la Tabla 19 se muestra el número de elementos digitalizados.

Tabla 19. Elementos digitalizados en el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

Nivel I	Nivel II	Unidades
Zona antrópica	Construcciones	9196
Tierra		
Agropecuaria	Cultivos	5644
Hidrografía	Cursos de agua	255

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

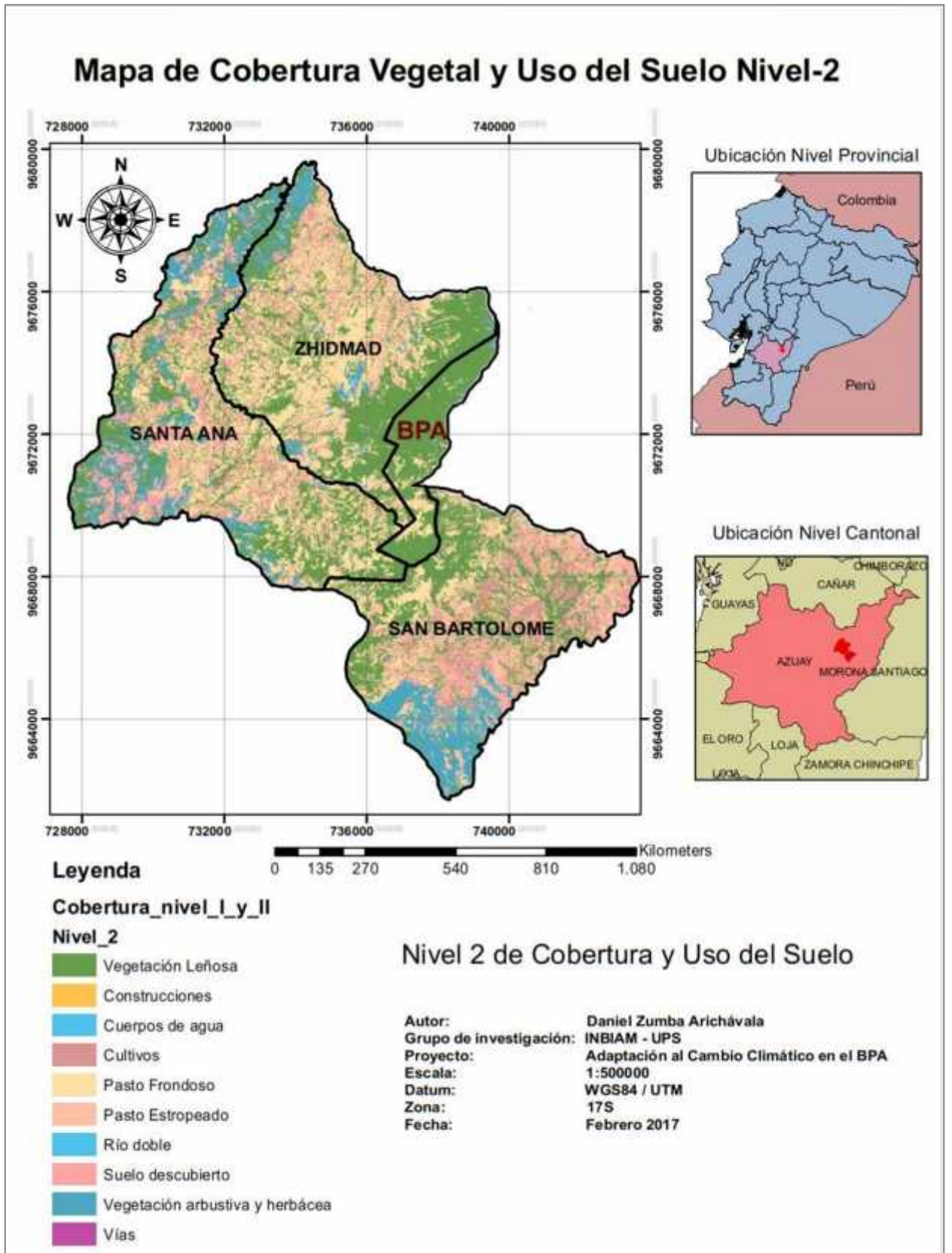


Ilustración 64. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo - Nivel II.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Pendientes

Debido a las características de la región andina, el relieve del territorio correspondiente al área de estudio es muy variado y muestra zonas que pasan de una pendiente ligera a una fuerte en distancias cortas; como se puede apreciar en la *Tabla #* se ha establecido 4 clases de gradientes para la elaboración de los mapas, estableciendo en orden descendente los rangos de inclinación del terreno, yendo de una pendiente plana o ligeramente inclinada (1 – 15 %), a una considerada como inclinada (15 – 30 %), pasando por una pendiente denominada como empinada (30 – 50 %), hasta una pendiente con una inclinación muy pronunciada llamada fuerte (>50 %).

Tabla 20. *Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.*

Rango de Gradiente	Descripción
1 – 15 %	Plana / Ligeramente inclinada
15 – 30 %	Inclinada
30 – 50 %	Empinada
>50 %	Fuerte

Elaborado por: Zumba, D.,2017

Las pendientes del área de estudio nos ayudan a la generación de diversos mapas en los que se debe considerar la inclinación del terreno para decidir las actividades que puedan desarrollarse sobre el mismo, el mapa de gradientes también nos ayuda a determinar las zonas en las que se ha estado desarrollando actividades incompatibles de acuerdo con la inclinación territorial, como se puede observar en el mapa de gradientes, la parroquia Zhidmad presenta mayor cobertura de superficies planas, mientras que el resto de la zona de estudio, muestra una diversa distribución de las pendientes.

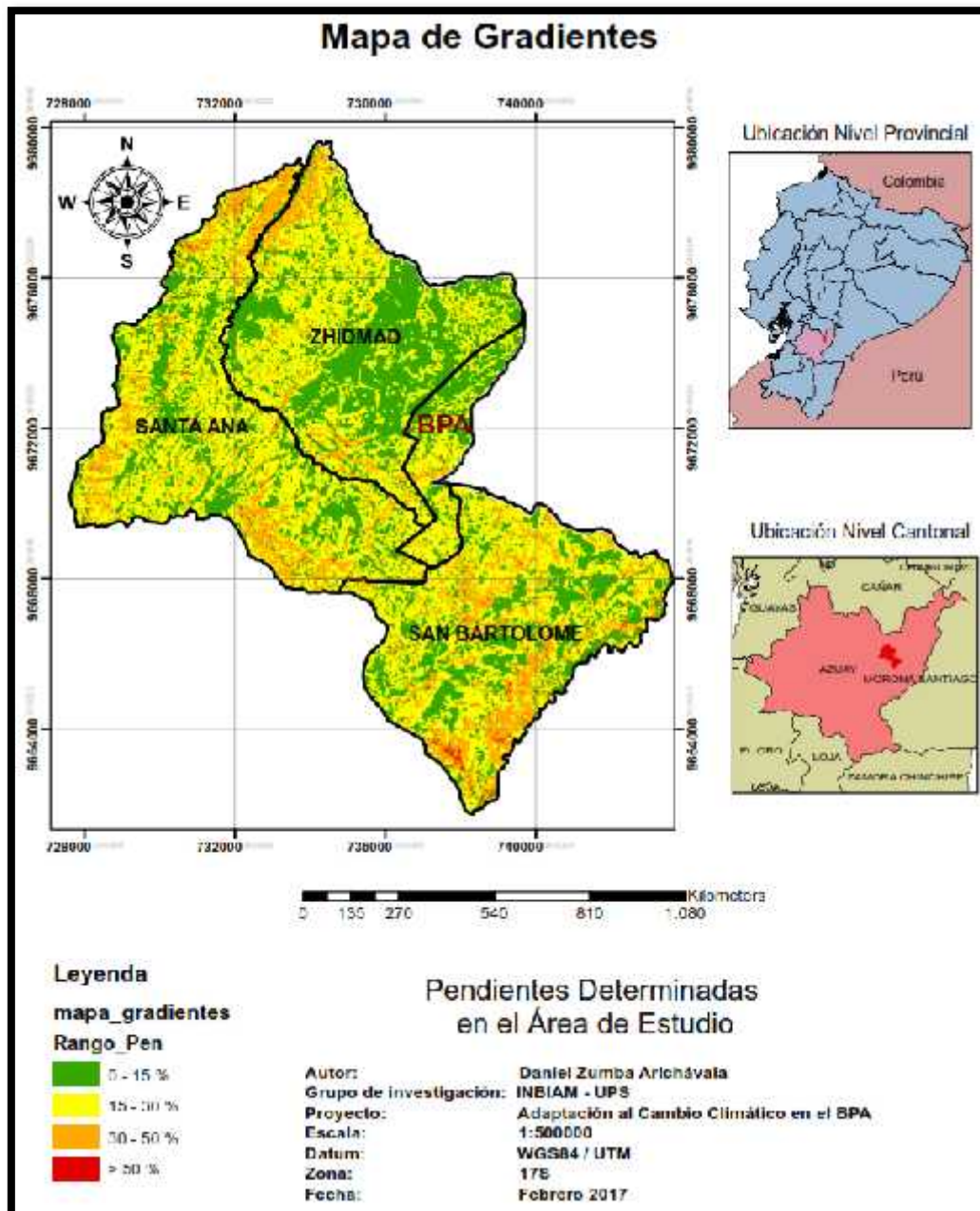


Ilustración 65. Mapa de pendientes del área de estudio.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Unidades Ambientales

El tratamiento e integración de la información de la digitalización permitió establecer niveles territoriales dentro de los mapas de coberturas para así englobar en ciertas categorías a las coberturas identificadas, al realizar un cruce de información entre el mapa de gradientes y el mapa de coberturas clasificado en el nivel 2, se determinan las zonas del territorio con sus coberturas y el rango de pendiente a la que se encuentra, para de esta manera establecer unidades ambientales y categorizarlas numéricamente.

HU	Shape*	Nivel 2	Nivel 1	Rango Pen	Denominaci	UNID AMB
0	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
1	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
2	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
3	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
4	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
5	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
6	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
7	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
8	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
9	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)	JA - 5
10	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 1
11	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 1
12	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
13	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
14	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 16
15	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
16	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
17	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
18	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
19	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
20	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
21	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	30 - 50 %	Escarpado (muy inclinado)	JA - 5
22	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
23	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
24	Polygon	Bosque Nativo	Bosque	15 - 30 %	Inclinado	JA - 1
25	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
26	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
27	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
28	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
29	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
30	Polygon	Pasto sin riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
31	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
32	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	15 - 30 %	Inclinado	JA - 5
33	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
34	Polygon	Pasto con riego	Tierra agropacuara	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 5
35	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	0 - 15 %	Plano o ligeramente inclinado	JA - 16
36	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
37	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16
38	Polygon	Suelo descubierta	Otras tierras	15 - 30 %	Inclinado	JA - 16

Ilustración 66. Mapa de pendientes del área de estudio.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

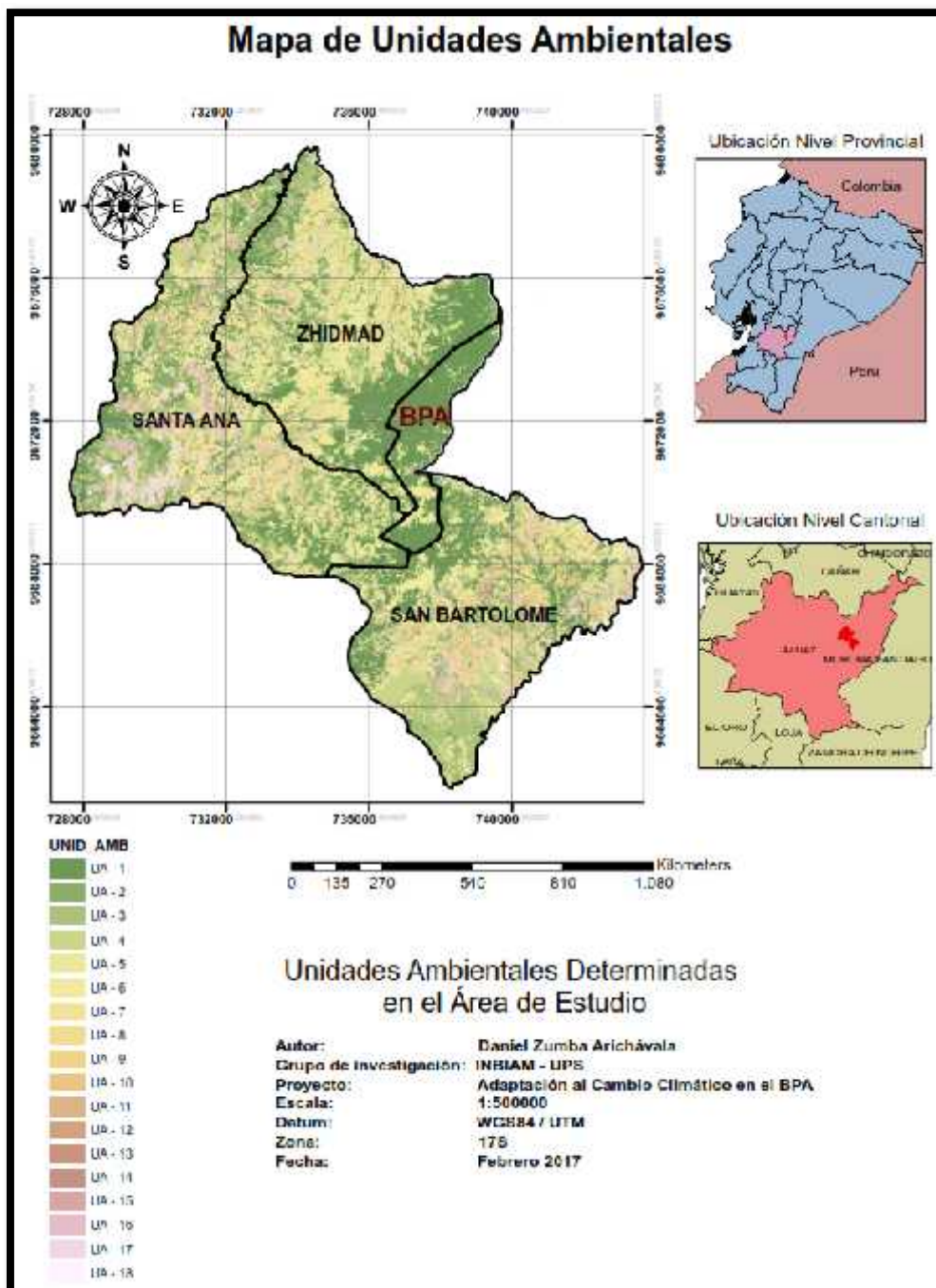


Ilustración 67. Mapa de unidades ambientales del área de estudio.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Capacidad de Acogida

Sabiendo que la capacidad de acogida representa la idoneidad del territorio para recibir cierto tipo de actividad de acuerdo a las potencialidades y limitaciones del terreno, observamos en el área de estudio, que la zona correspondiente al bosque protector, muestra una predisposición a la conservación y regeneración, así como sus inmediaciones que se extienden hasta las parroquias colindantes, por lo que se recalca la importancia de estudios técnicos que demuestren las verdaderas capacidades del terreno, para de esta forma realizar proyectos que actúen en pro de la conservación en zonas como la del BPA que necesitan de políticas que contribuyan a su preservación.

Tabla 21. *Uso sugerido y condiciones de acuerdo a la pendiente de la Parroquia San Bartolomé.*

Categoría de Ordenación	Subcategoría
Disposición de Residuos	Escombreras / Vertederos de residuos inertes
	Vertedero de residuos urbanos
	Vertedero de residuos tóxicos
	Cementerios
Infraestructuras	Vialidad
	Líneas aéreas de conducción eléctrica o telefónica
	Oleoductos, gaseoductos
	Embalses
	Canales hidráulicos
	Antenas de Comunicación
Actividades Industriales	Polígonos industriales
	Industria limpia
	Industria pesada aislada
	Industria extractiva
Actividades Agrarias	Agricultura extensiva de secano
	Agricultura de regadío
	Invernaderos
	Piscicultura
	Pastoreo
	Repoblación forestal
Esparcimiento y Deportes al Aire Libre	Vivienda rural
	Excursionismo y contemplación
	Recreo concentrado
	Camping
	Baño y actividades náuticas
	Caza
	Pesca
Motocross, trial	
Conservación y Regeneración	Circulación de Vehículos todo terreno
	Preservación estricta
	Conservación activa
	Regeneración del Ecosistema
	Actividades científico culturales
	Repoblación forestal nativa

Elaborado por: Zumba, D., 2017 en base a Gómez, D., 2013. "Ordenación Territorial".

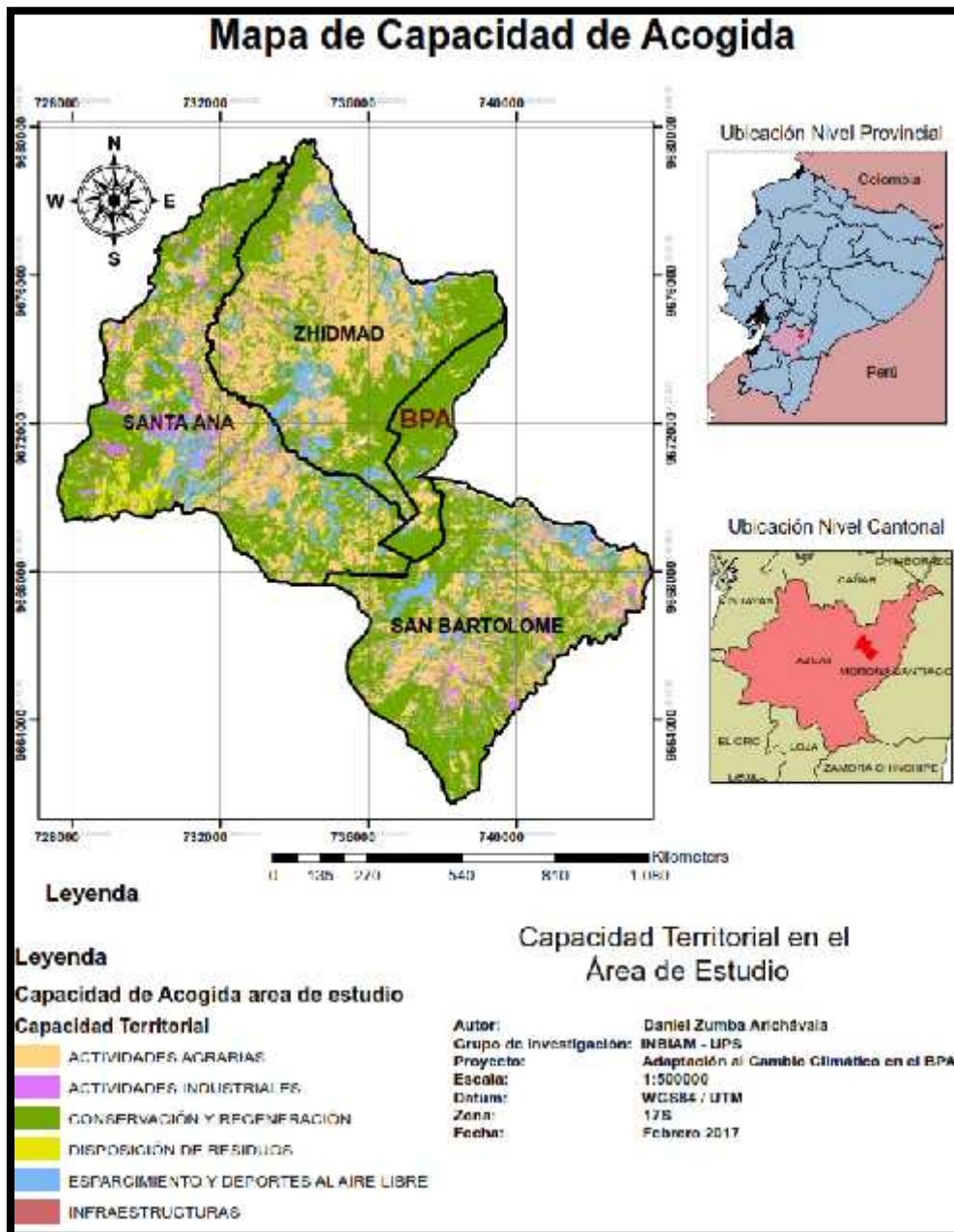


Ilustración 68. Mapa de capacidad de acogida del área de estudio.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Evolución temporal de la cobertura y uso de suelo

Bosque Protector Aguarongo

Resultados por año

En las tablas que se muestra a continuación se puede observar el área en hectáreas de cada una de las ocupaciones de los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo de los diferentes años, además del porcentaje que ocupan dentro del área en análisis. Obteniendo que como es de esperarse la mayor ocupación está dada por el bosque, y siendo indistinto para cada año en el caso de la tierra agropecuaria y la vegetación arbustiva y herbácea. Además, cabe mencionar que dentro de esta zona no existen cuerpos de agua.

Tabla 22. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 1990 en el BPA:

Cobertura vegetal y uso de suelo en el BPA - 1990		
Tipo de Cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	597.311	86.355
TIERRA AGROPECUARIA	61.302	8.863
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	33.083	4.783
Total	691.695	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 23. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo en el año 2000 en el BPA

Cobertura vegetal y uso de suelo en el BPA - 2000		
Tipo de Cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	579.444	83.771
TIERRA AGROPECUARIA	50.794	7.343
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	61.458	8.885
Total	691.695	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 24. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 2008 en el BPA.

Cobertura vegetal y uso de suelo en el BPA - 2008		
Tipo de Cobertura	Áreas (ha)	%
BOSQUE	577.277	83.458
TIERRA AGROPECUARIA	95.763	13.845
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	18.655	2.697
Total	691.695	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 25. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo actual en el BPA.

Cobertura vegetal y uso de suelo en el BPA - ACTUAL		
Tipo de Cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	589.944	84.950
TIERRA AGROPECUARIA	95.568	13.761
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	8.950	1.289
Total	694.461	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Análisis temporal

- Bosque

La cobertura denominada como bosque que hace referencia a la vegetación leñosa y a las plantaciones forestales, en el año 1990 poseía un área de 597,31 ha, sufriendo una disminución del 3% con un área de 579,44 ha, caso similar se da en el año 2008 en donde el área es de 577,28 ha, traduciéndose en una disminución del 0,4% y para la actualidad se da un aumento del 2% con un área de 589,94 ha.

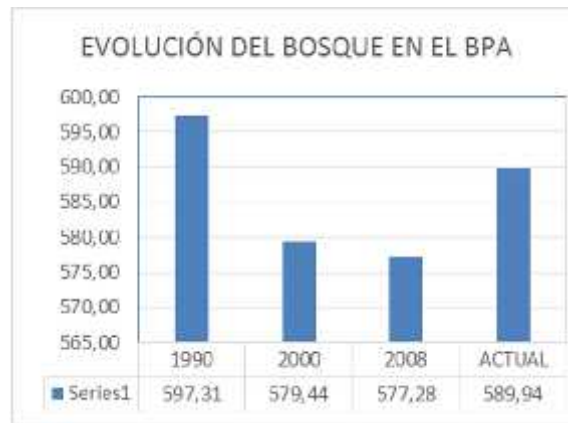


Ilustración 69. Gráfica de la evolución del bosque en el BPA.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En base a la gráfica se puede observar que el área del bosque ha disminuido desde 1990 al 2008 en un porcentaje relativamente bajo (1,7%) debido a que el área del BPA que se encuentra dentro de la zona de estudio no es un lugar en donde se desarrolle el turismo intensivo ya que generalmente el ingreso al bosque se da por la parroquia Jadán, dando como resultado que esta zona se mantenga conservada, por otro lado, según el mapa de uso actual la masa boscosa ha aumentado por lo que se puede asumir dos razones, la primera la diferencia de escalas a la que se realizó los mapas y la segunda las evidentes acciones de mitigación por parte de las autoridades.

- Tierra agropecuaria

En cuanto a la tierra agropecuaria que se encuentra dentro del BPA, inicialmente posee un valor de 61,30 ha, el mismo que tiene una ligera disminución del 2 % con un área de 50,79 ha, caso contrario se da para el año 2008 en donde el área es de 95,75 ha, es decir, se da un aumento del 47% y según los resultados obtenidos del uso actual el valor permanece constante con un área de 95,57 ha.



Ilustración 70. Gráfica de la evolución de la tierra agropecuaria en el BPA

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

La tierra agropecuaria que se encuentra en el BPA en rasgos generales ha ido aumentando a lo largo del tiempo, sin embargo, en el año 2000 se ve una ligera disminución que pudo darse por el remplazamiento de la tierra agropecuaria por matorrales, a partir de ese punto se ha dado un aumento que para la actualidad es constante.

- Vegetación arbustiva y herbácea

Para el caso de la vegetación arbustiva y herbácea en el año 1990 posee un área de 33,08 ha, la misma que aumenta en un 46% en el año 2000 ya que el valor en ha es de 61,46, para los siguientes años se puede evidenciar una disminución del 70% en el 2008 y del 52% para la actualidad teniendo que finalmente este tipo de cobertura tiene un área de 8,95 ha.

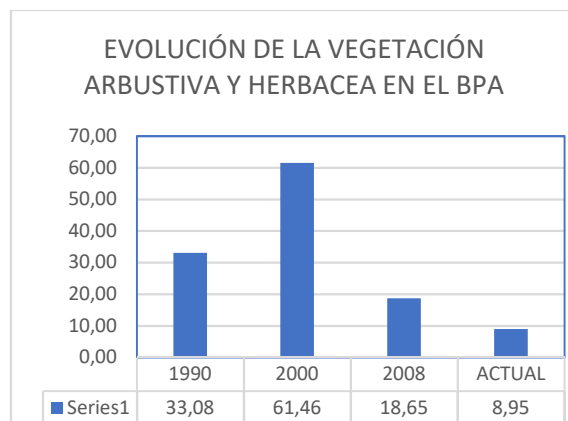


Ilustración 71. Gráfica de la evolución de la vegetación arbustiva y herbácea en el BPA.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Por ultimo como se puede evidenciar en el año 1990 el valor de este tipo de cobertura fue bajo, lo que se puede contrarrestar con el valor del bosque en el mismo año ya que este es mucho más elevado, de igual manera en el año 2000 el valor de la vegetación arbustiva y herbácea fue alto mientras que la tierra agropecuaria permanecía baja, sin embargo a partir de dicho año la vegetación arbustiva y herbácea fue disminuyendo mientras la tierra agropecuaria aumentó, asumiendo que hubo un reemplazo en el tipo de ocupación del suelo, lo que causa preocupación ya que se comprueba la problemática del avance de la frontera agrícola en la zona de conservación.

Áreas Colindantes

Análisis por año

Para el caso de las áreas colindantes de igual manera se presentó los valores de cada tipo de cobertura en las tablas que se encuentran a continuación; las mismas que indican que la tierra agropecuaria que incluye los cultivos, el suelo arado, el pasto con riego y el pasto sin riego son los que tienen mayor área en todos los años, seguido del bosque y la vegetación arbustiva y herbácea que difiere en cada año, y por último se encuentra la hidrografía que en esta zona ya es posible encontrar.

Tabla 26. Áreas de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 1990 en las áreas colindantes.

Cobertura vegetal y uso de suelo en las áreas colindantes - 1990		
Tipo de Cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	1623.149	13.93
TIERRA AGROPECUARIA	8055.727	69.15
HIDROGRAFIA	4.559	0.04
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	1966.209	16.88
Total	11649.643	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 27. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 en las áreas colindantes

Cobertura vegetal y uso de suelo en las áreas colindantes - 2000		
Tipo de cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	1666.689	14.31
TIERRA AGROPECUARIA	6912.655	59.34
HIDROGRAFIA	8.739	0.08
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	3061.560	26.28
Total	11649.643	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 28. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo del año 2008 en las áreas colindantes.

Cobertura vegetal y uso de suelo en las áreas colindantes - 2008		
Tipo de cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	1526.825	13.11
TIERRA AGROPECUARIA	9301.217	79.84
HIDROGRAFIA	11.357	0.10
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	810.245	6.96
Total	11649.643	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Tabla 29. Áreas de la cobertura vegetal y uso de suelo actual en las áreas colindantes

Cobertura vegetal y uso de suelo en las áreas colindantes - ACTUAL		
Tipo de cobertura	Área (ha)	%
BOSQUE	4052.483	38.24
TIERRA AGROPECUARIA	5203.939	49.10
HIDROGRAFIA	8.940	0.08
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	1333.122	12.58
Total	10598.485	

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Análisis temporal

- Bosque

La cobertura boscosa en las áreas colindantes en el año 1990 poseía un área de 1623,15 ha, aumentando en un 3% en el año 2000 con un área de 1666,60 ha, caso contrario se da en el año 2008 en donde se da una disminución del 8%, ya que el área fue de 1526,83 ha, y por último en el uso actual se dio un aumento del 62% teniendo que el área final sea de 4052,48.

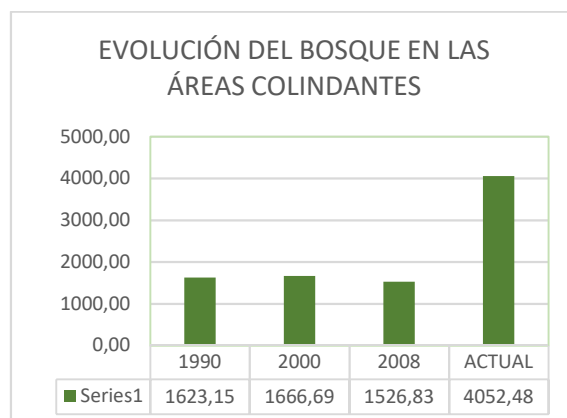


Ilustración 72. Gráfica de la evolución del bosque en las áreas colindantes.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

En base al análisis de los datos, se puede observar que el área del bosque en las zonas colindantes al BPA, ha permanecido relativamente constante ya que la variabilidad desde 1990 al 2008 es mínima, sin embargo, para la actualidad se puede apreciar un aumento

significativo de este tipo de cobertura vegetal, evidenciando acciones de mitigación por parte de las autoridades a cargo del BPA.

- Tierra agropecuaria

Para el caso de la tierra agropecuaria la evolución temporal es la siguiente; en el año 1990 el área fue de 8055,73 ha, mientras para el año 2000 el área fue de 6912,65 ha, lo que representa una disminución del 14%, posteriormente en el año 2008 la tierra agropecuaria aumenta ya que el valor del área fue de 9301,22 ha, lo que indica un aumento del 26%, finalmente para el uso actual se da una disminución del 44% con un área de 5203,94 ha.

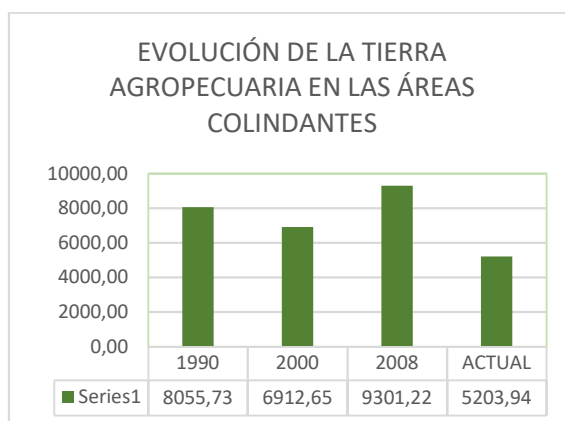


Ilustración 73. Gráfica de la evolución de la tierra agropecuaria en las áreas colindantes.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Este tipo de cobertura es la que posee mayor espacio dentro de las áreas colindantes al BPA, ya que la agricultura y la ganadería son medios de subsistencia de las comunidades de la zona. Por lo que en el año 2008 se puede evidenciar el aumento que ha tenido la tierra agropecuaria a diferencia de los años anteriores, no obstante, según el mapa del uso actual este tipo de ocupación del suelo ha disminuido significativamente, lo que se puede contrarrestar con la superficie del bosque que, al contrario, aumentado, sin embargo, se debe mencionar que la tierra agropecuaria dentro del BPA aumentó, indicando que la población ha buscado nuevas tierras dentro del área de protección.

- Hidrografía

En lo que se refiere a la hidrografía que incluyen cuerpos de agua naturales y artificiales, se puede observar que el valor del área en el año 1990 fue de 4,56 ha, la misma que aumentó en un 48% para el año 2000, en donde el área fue de 8,74 ha, a continuación, en el año 2008 el área fue de 11,36 ha lo que se traduce en un aumento del 23% y por último en los resultados del uso actual se dio una disminución del 21% con un área de 8,94 ha.

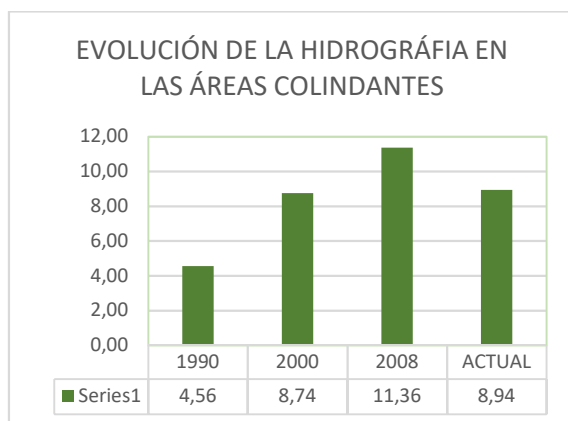


Ilustración 74. Gráfica de la evolución de la hidrografía en las áreas colindantes

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

Los cuerpos de agua son un tipo de cobertura constante, ya que el espacio que ocupa el agua no tiene una variabilidad considerable, sin embargo se puede observar un aumento formidable de este tipo de cobertura, en especial del año 2000 al 2008 y se puede explicar por el aumento en la tierra agropecuario y por ende el aumento de pozos de agua para el riego, no obstante según el uso actual la hidrografía ha disminuido, justificando de la misma manera ya que de igual forma se perdió tierra agropecuaria, disminuyendo la demanda de riego.

- Vegetación arbustiva y herbácea

Finalmente, en cuanto a la vegetación arbustiva y herbácea se muestra que en el año 1990 el valor del área fue de 1966,21 ha, la misma que aumentó para el año 2000 en un 36%, obteniendo que el área en ese año fue de 3061,56 ha, caso contrario se dio en el año 2008, en donde el área fue de 810,24 ha, es decir, una disminución del 74%, por último, en el uso actual se dio un aumento del 39% con un área de 1333,12 ha.

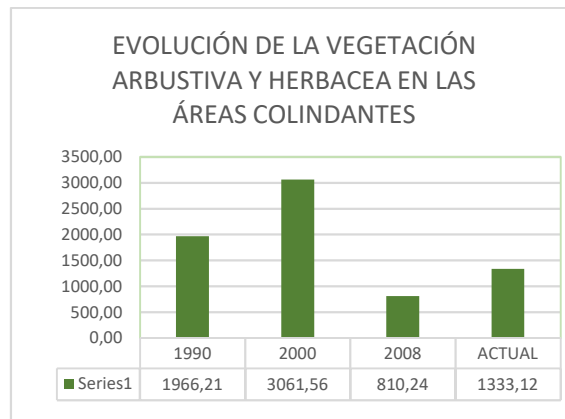


Ilustración 75. Gráfica de la evolución de la vegetación arbustiva y herbácea en las áreas colindantes.

Fuente: Proyecto - Adaptación al cambio climático del BPA: caso de estudio gestión ambiental del suelo. Zumba, D. et al, 2016.

La vegetación arbustiva y herbácea ha tenido una gran variabilidad, ya que se dio un gran aumento de este tipo de cobertura del año 1990 al 2000, posteriormente en el año 2008 se dio una disminución significativa, la misma que es contraria al aumento de la tierra agropecuaria y finalmente en la actualidad el valor aumentó ya que los espacios antes ocupados para la agricultura, son remplazados por este tipo de cobertura, recordando que en el uso actual la tierra agropecuaria disminuyó.

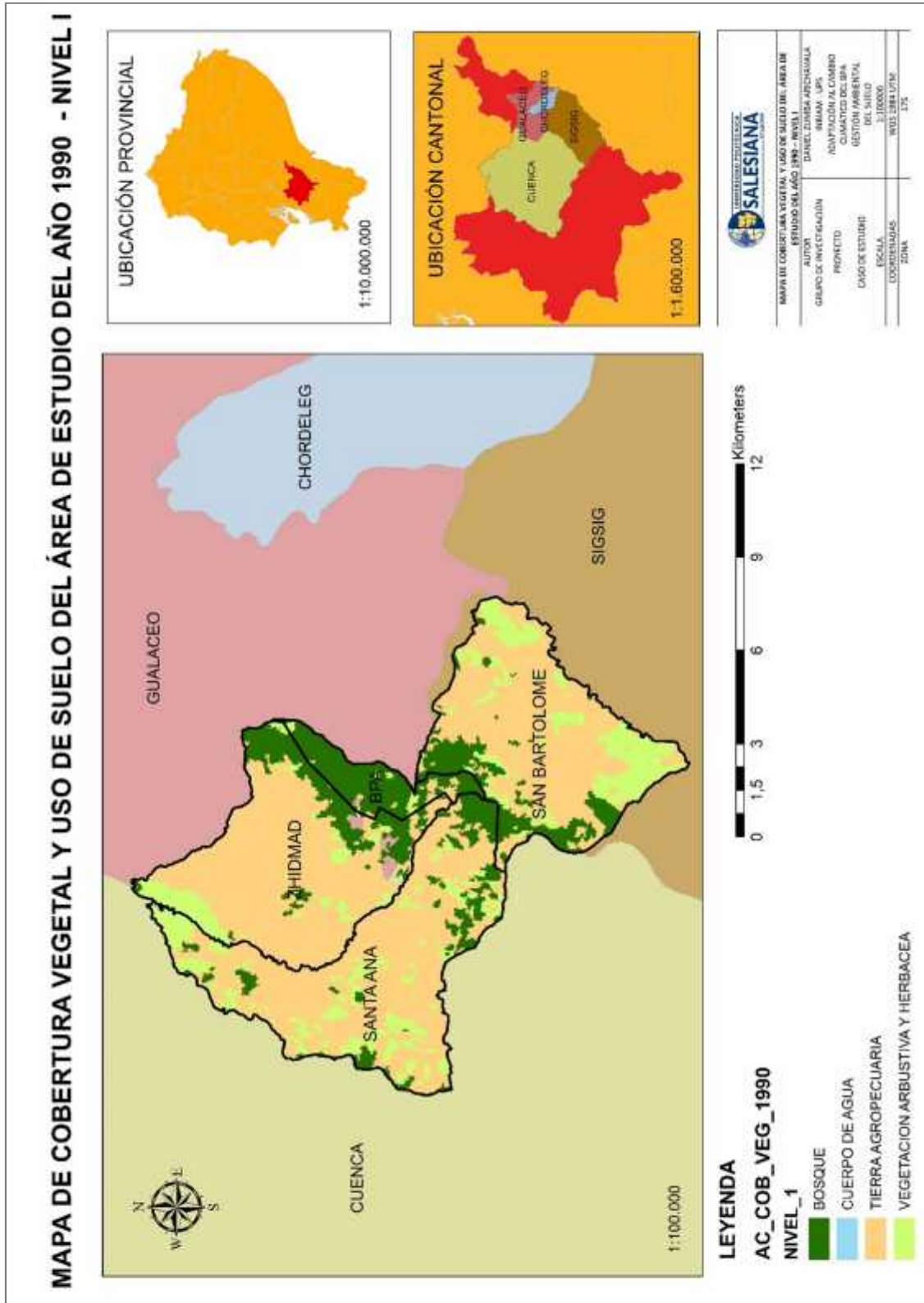


Ilustración 76. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 1990 - Nivel I.

Realizado por: Zumba, D., 2017.

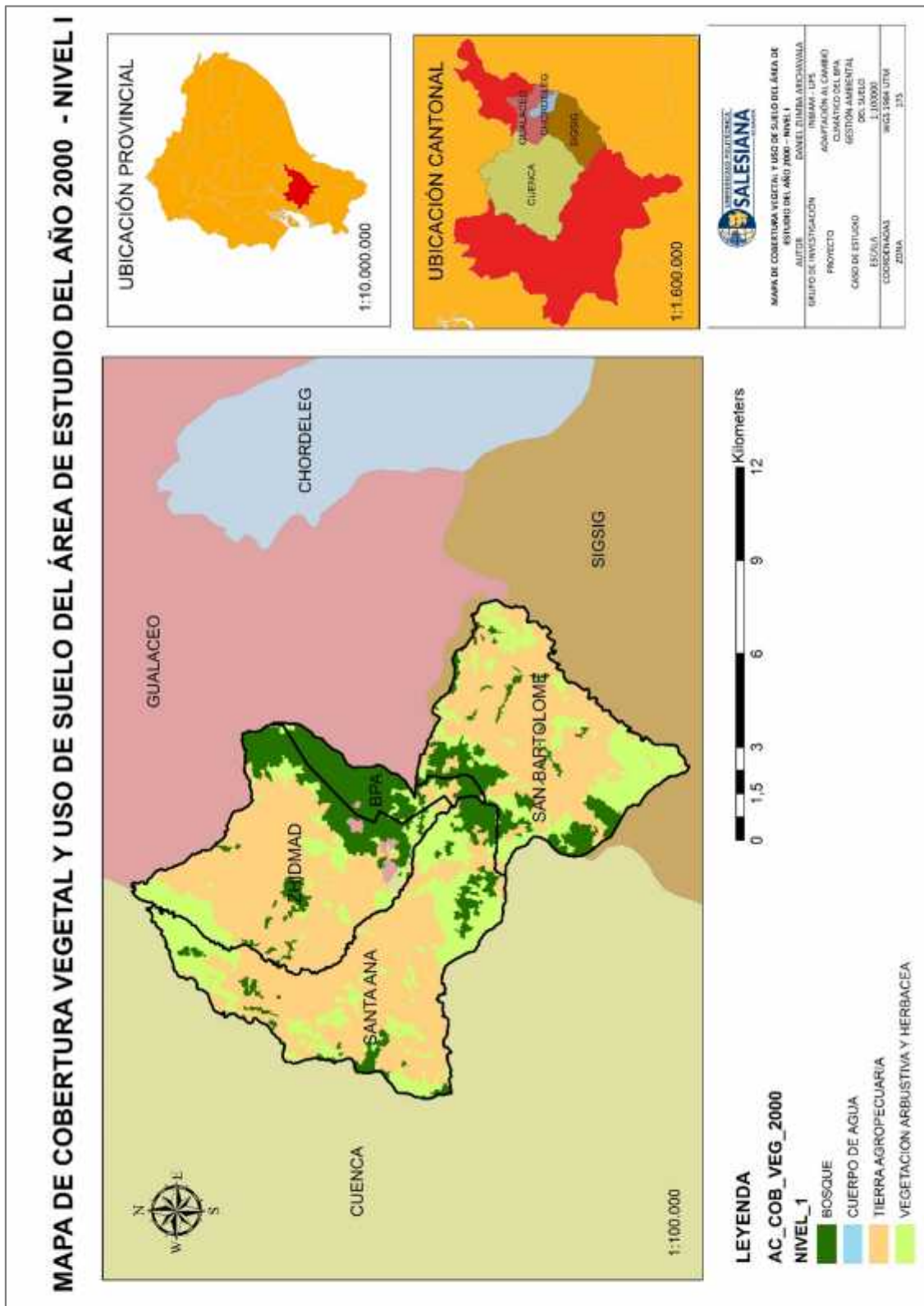


Ilustración 77. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 - Nivel I.

Realizado por: Zumba, D., 2017.

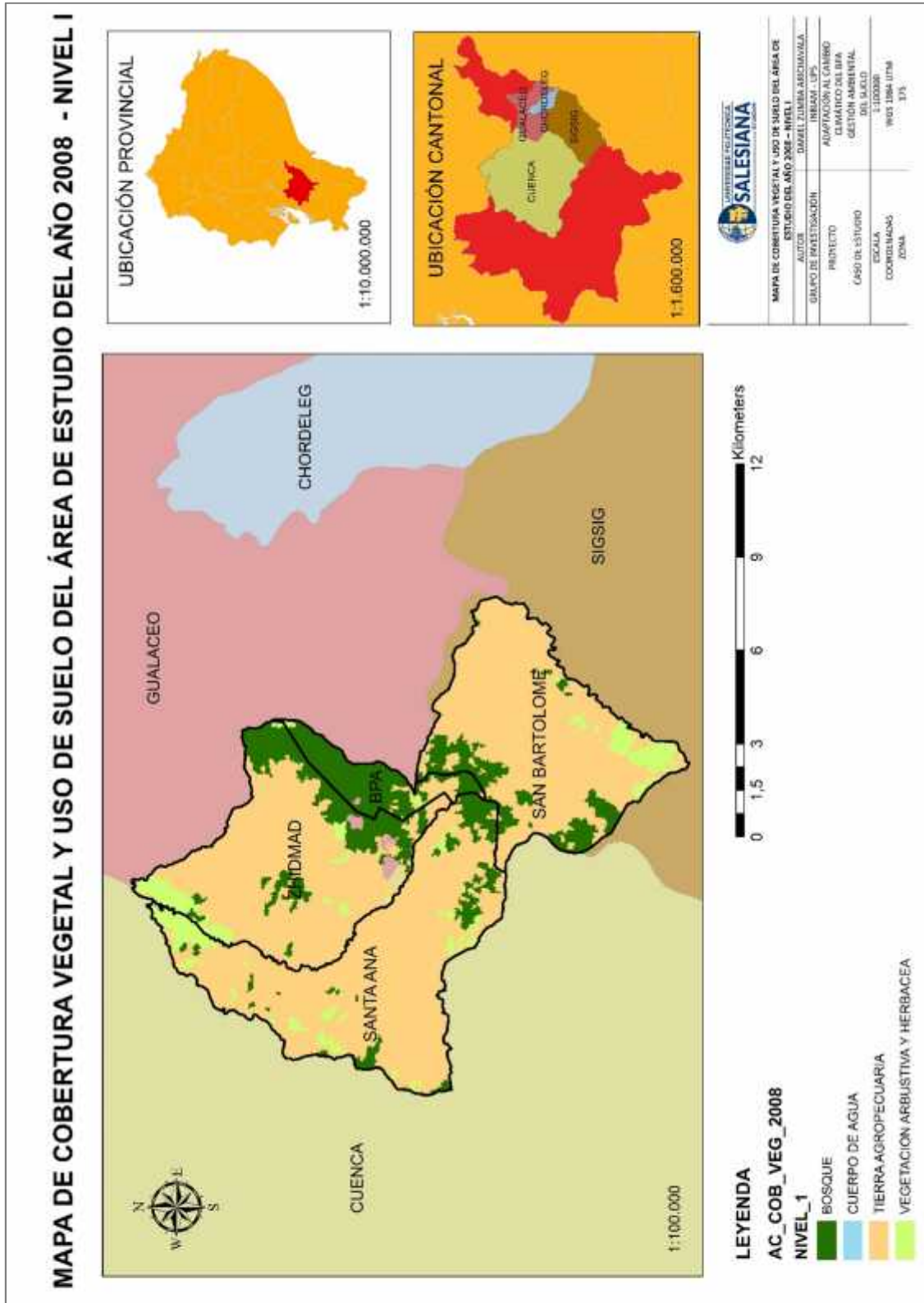


Ilustración 78. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2008 - Nivel I.

Realizado por: Zumba, D., 2017.

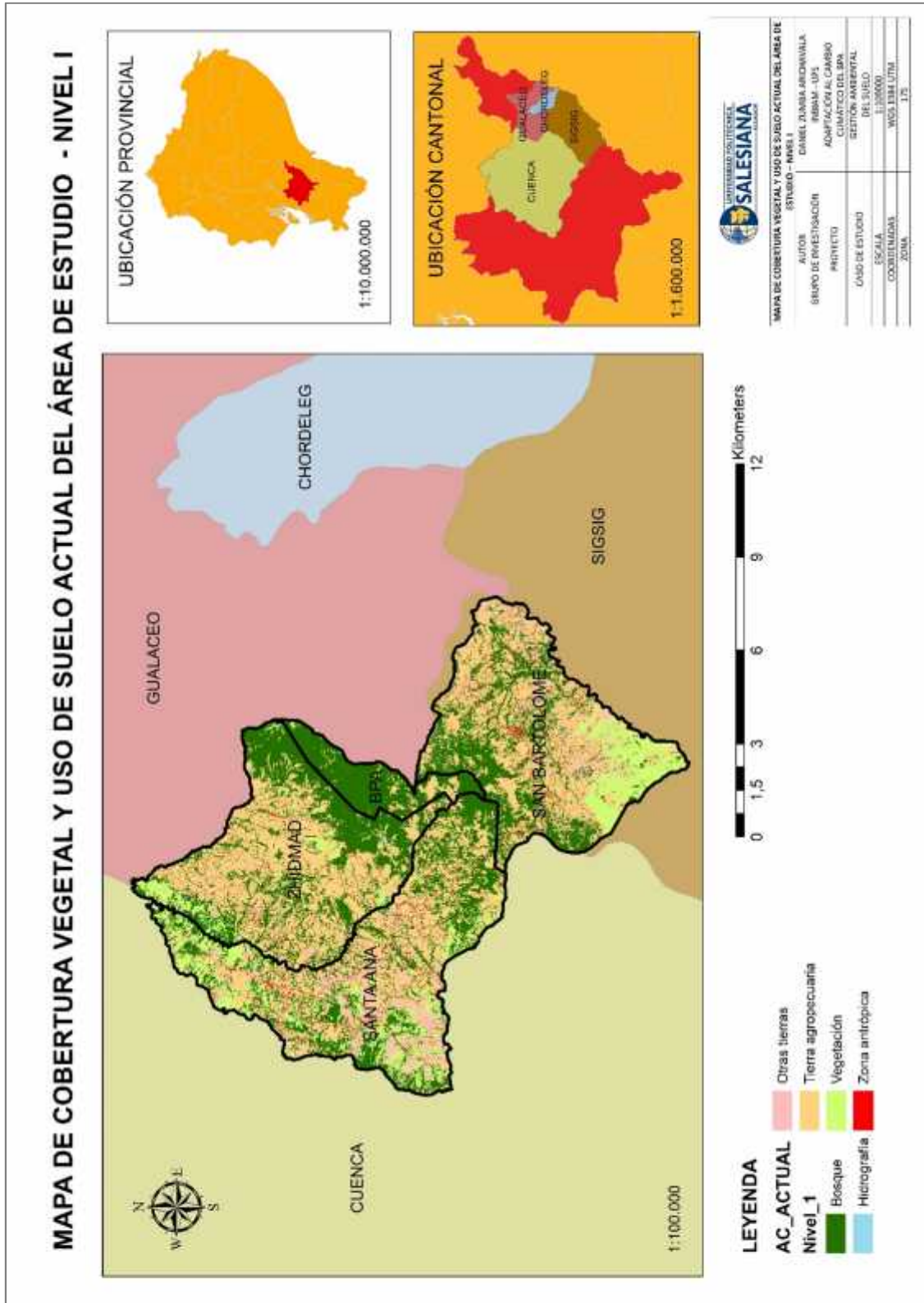


Ilustración 79. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo actual - Nivel I.

Realizado por: Zumba, D., 2017.

Tratamiento de la Información

Debido a la característica de los datos usados para las variables de entrada y la variable de salida, para los cuales se tuvo que realizar una valorización de la información obtenida en la tabla de atributos de los mapas, modelos como la Regresión Lineal y Máquina de Soporte Vectorial, no se ajustaron a los datos requeridos, más bien se recurrió al modelo de Árbol de Decisiones para lograr demostrar la influencia de los datos de ingreso con respecto a la variable de salida.

La validación de los datos, usando un lenguaje de programación para correr modelos matemáticos, responde a la necesidad de argumentar una hipótesis, en este caso, el demostrar que las acciones humanas como el avance de la frontera agrícola, la implementación de infraestructuras, la generación de pasto para el consumo de ganado, sumado a la realización de estas acciones en pendientes del terreno inapropiadas, ocasionan un impacto directo al área del bosque protector, el cual se ve amenazado por la influencia directa de estas prácticas, en sitios que según el mapa de Capacidad de Acogida corresponde para actividades diferentes, según se aprecia en la *ilustración 80*, actualmente existen áreas dentro del Bosque Protector Aguarongo, que evidentemente están siendo utilizadas para actividades distintas a las que se supone que son destinadas.

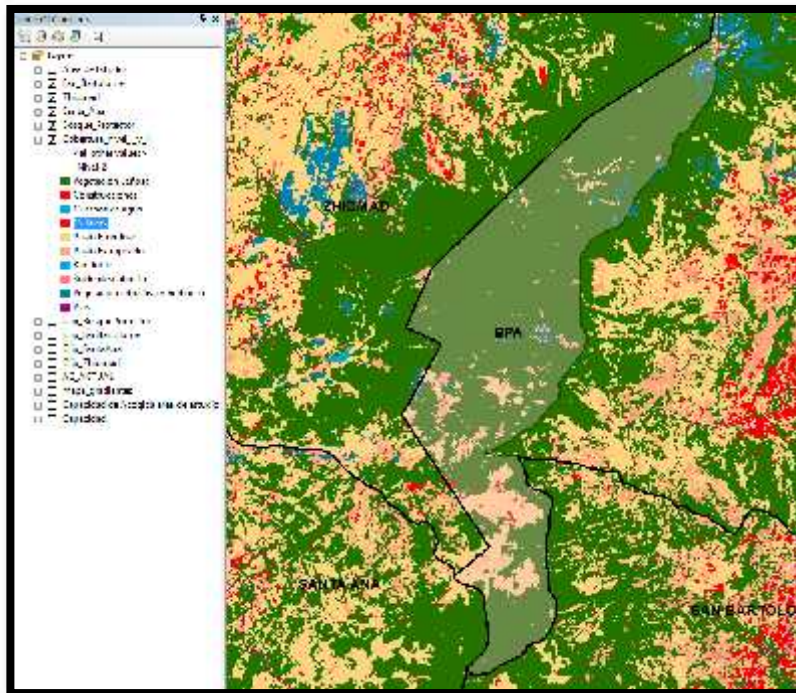


Ilustración 80. Coberturas territoriales dentro de los límites del BPA.

Elaborado por: Zumba, D.,2017.

Al observar el resultado obtenido luego de generar el modelo de Árbol de Decisiones en Python, podemos decir que efectivamente, de acuerdo a lo observado en el mapa, existe una influencia de las coberturas actuales (cultivos, infraestructura, vialidad, etc.), su área y la pendiente a la que están sometidos, que repercute de manera directa sobre la función a la que el terreno está destinado, que es preferentemente la conservación y actividades recreacionales, por lo que se considera necesario tomar la presente investigación para la futura elaboración de planes de manejo ambiental en el BPA.

Conclusiones

1. La relación de los datos de entrada respecto a los de salida, demuestra lo expuesto visualmente en la generación de los mapas, en los que se puede observar la intromisión de coberturas territoriales antropogénicas, dentro de la zona correspondiente al Bosque Protector; mediante la aplicación del modelo de Árbol de Decisiones, se corrobora que estas actividades humanas tienen una influencia directa sobre el suelo del BPA, el cual debería estar estrictamente destinado a actividades como el esparcimiento, la conservación y la regeneración, al tratarse de un área protegida.
2. Las actividades como el cultivo, el pastoreo y fines agrarios en general, tienen la característica de ocasionar un cambio en el uso del suelo, por cuanto se requiere constantemente de terreno nuevo para mantener su producción, esta necesidad constante de terreno fértil o suelo para el pastoreo de ganado se traduce en el avance de la frontera agrícola, situación que debe ser controlada por políticas que a su vez requieren de sustento técnico para generar planes viables. Un correcto manejo de los recursos naturales es fundamental para lograr la conservación de hábitats frágiles como el BPA, en donde es necesario realizar acciones que contribuyan a la preservación.
3. Hablando del cambio del uso del suelo en el BPA, y luego de analizar su evolución, podemos decir que ha existido un evidente avance de la frontera agrícola hacia el interior del área protegida puesto que en décadas anteriores la extensión del bosque en las parroquias oscilaba entre el 83 y 86%, actualmente ocupa tan solo el 37,27% , deduciendo que esta disminución se debe a factores culturales y sociales como

el fraccionamiento del terreno, en donde grandes propiedades de terreno han sido vendidas o heredadas y sus posteriores dueños han ejercido labores agrícolas sobre los mismos, buscando un sustento económico y alcanzar un nivel de productividad del terreno que les brinde un sustento; cabe señalar también la fluctuación de la vegetación arbustiva y herbácea a lo largo del tiempo puesto que en el año de 1990 esta representaba el 4,78% del territorio y expresa su máximo nivel en la década del 2000 en donde alcanza una cobertura del 8,88%, para descender a 2,69% en el año 2008 y encontrarse actualmente en un 1,26%, haciendo notar que dicha flora es de vital importancia en el equilibrio del ecosistema, pues sirve de sustento y refugio para las especies animales que habitan la zona y su pérdida significa un impacto negativo puesto que la mayoría de plantas nativas corresponden a chaparros y vegetación de limitada altura y aportan también a la conservación del agua puesto que ayudan a retener el líquido presente en el suelo.

4. El repliegue del bosque se evidencia al establecer una cronología en los mapas generados y se observa una relativa estabilidad respecto a los dos últimos mapas del año 2008 y el actual, debido a la implementación de políticas ambientales en los últimos años que han beneficiado en cierta forma a las áreas protegidas, conservando de esta forma el bosque natural que representa un área muy diversa en cuanto a flora y fauna, destacando también que aquí habitan especies en peligro de extinción como el tigrillo y el oso de anteojos. Por lo que se puede decir que un correcto manejo ambiental desde el ámbito político, contribuye a mantener la estabilidad de las zonas sensibles como la que ha sido objeto de estudio en el presente proyecto investigativo.

5. Los resultados de las encuestas evidencian la visión que tenía la gente con respecto al bosque, puesto que para los moradores éste representaba un lugar que les brindaba servicios como fuente de alimento para el ganado, sustento de recursos maderables y una zona fértil para sembrar sus productos, y aunque ahora esa visión ha ido cambiando para bien, aún es necesario inculcar en la población aledaña una cultura de preservación de éstas áreas; los mapas y la información generada para la presente investigación pueden servir como base para la creación de estrategias de manejo ambiental y fuente de información para futuros trabajos en la zona.

Recomendaciones

Previamente al desenlace del proyecto cabe subrayar un aspecto relevante en cuanto a la comparación entre los mapas de cobertura y uso del suelo históricos en el área de estudio, destacando que aquella cartografía fue seguramente realizada con el profesionalismo que la información demandaba, pero cabe la posibilidad de que haya discrepado hasta cierto punto con la realidad, debido a las limitaciones tecnológicas de la época, provocando un consecuente rango de error en los mapas generados; de tal manera que al compararlos con los creados para la presente investigación, puede existir cierta discordancia en cuanto a la ubicación y dimensionamiento de las coberturas, debido a que actualmente la tecnología nos permite una mayor precisión al momento de determinar coberturas del suelo, la recomendación pertinente se enfoca en tomar en cuenta los desfases que puedan tener las comparaciones de cartografía de distinta época.

La generación de datos para un proceso de investigación, es una fase fundamental para determinar las variables a usar en un modelo de validación, para el presente caso en particular la utilización de cartografía obtenida del “Proyecto SigTierras”, fue de vital importancia puesto que las fotografías aéreas digitales brindan la seguridad de usar datos certeros para la generación de mapas temáticos, en este sentido es recomendable buscar las fuentes de información más actualizadas y fiables del medio.

Finalmente se recomienda hacer uso de los avances tecnológicos en cuanto a software computacional para tener la facilidad de trabajar con un mayor número de datos y poder procesar la información que sea necesaria, aumentando así la confiabilidad de la investigación; la validación de los modelos planteados es importante para brindar un soporte técnico a las aseveraciones efectuadas en el transcurso del proyecto, los lenguajes de programación son

necesarios para suministrar el tratamiento preciso de datos y realizar múltiples operaciones matemáticas, además de que los resultados son exportables y la realización de gráficas es sencilla y muy interpretativa.

Referencias

- Baatz, M., & Schäpe, A. (2000). Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, XII*, 12 - 23.
- Blanco, J. (2013). Modelos ecológicos: Descripción, Explicación y Predicción. *ECOSISTEMAS. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 22(3), 1 - 5.
- Cabrera, D. (octubre de 2010). EN DEFENSA DE LAS ENCUESTAS. *Revista POSTData: Revista de Reflexión y Análisis Político*, 191-216.
- Centro de Gestión Ambiental Aguarongo. (2016). *Centro Ambiental Aguarongo Jadan - Gualaceo*. Obtenido de Fundación Ecológica Rikcharina:
<http://rikcharina.org/proyectos/centro-de-gestion-ambiental-aguarongo/>
- Definiens. (2007). *Definiens imaging GmbH*. Muenchen - Germany.
- Delgado, T., & Suarez D, D. (2009). Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria Reserva Ecológica El Ángel- Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada, No 8*, 27 - 36.
- Gaspari, F., Delgado, M. I., & Denegri, G. A. (2009). ESTIMACIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y ECONÓMICA DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL. *Terra Latinoamericana*.
- GeoToolBox Ibérica. (Febrero de 2017). *gtb ibérica*. Obtenido de <http://www.gtbi.net/>

- Gómez Orea, D., & Gómez Villarino, A. (2013). *Ordenación Territorial* (3era ed.). Madrid - España: Mundi Prensa.
- Gómez, M., & Barredo, J. I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio* (Segunda ed.). España: Editorial RA-MA.
- Guerra, V., & Ochoa, S. (abril de 2006). Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos. *Investigaciones Geográficas (Mx)*(59), 7-25.
- IPCC. (2016). *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 2017, de Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch/index.htm>
- Matteucci, S. (2006). Crecimiento urbano y sus consecuencias. *Ecología del Paisaje*.
- Minga , N., Sánchez , X., & et al. (2002). *PLAN DE MANEJO DEL BOSQUE PROTECTOR DE AGUARONGO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA*. Manejo y conservación de los bosques nativos andinos del sur ecuatoriano . Cuenca - Ecuador: Fundación Ecológica Mazan.
- Miranda, M., Arellano, J., Salazar , B., Hernadez , F., Quero, R., & Pérez, L. (2007). *Bases para el manejo comunitario de bromelias ornamentales*. México: Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental.
- Molina Ruiz, J., & Tudela Serrano, M. L. (2010). Evolución espacio-temporal en la ordenación territorial del municipio de Blanca (Murcia). *Papeles de Geografía - Universidad de Murcia*(51-52), 199-209.
- Mondragón, D. (2002). Dinámica Poblacional de *Tillandsia brachycaulos* Schltdl en el parque nacional de Yucatán. *Centro de Investigación Científica de Yucatán. Tesis Doctoral*.

- Núñez Villuendas, A. (2005). Incidencias de la entrevista personal en la investigación mediante encuesta. *Reis. Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 219-236.
- Padilla, E., & Paucar, V. (2008). Estudio de las Propiedades Antioxidantes de Plantas Medicinales Nativas del Bosque Protector Aguarongo, Provincia del Azuay. *Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología*.
- Pérez, R., Valdéz, R., Moreno, F., González, A., & Valdéz, J. (2011). PREDICCIÓN ESPACIAL DE CAMBIOS DEL USO DE SUELO EN TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5).
- Ponvert Delisles, D. R., Kelly, F. S., & Reyes, I. (octubre-diciembre, de 2012). Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura: El catastro agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 84-92.
- Ramírez, H., García, M., & Villalpando, G. (enero-junio de 2013). EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO DE LA CUENCA RÍO. *Investigaciones Geográficas (Esp)*(59), 43-55.
- Rangel, L., García, A., & Hernandez, A. (2009). Uso de técnicas de análisis multivariable aplicadas en la obtención de modelos de predicción de propiedades relacionadas con los sistemas agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2).
- Rivera Delgado, E. (2013). *Guía de educación ambiental y turística del Bosque Protector Aguarongo*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca.

- Rueda, V. (enero-junio de 2012). El campesinado migrante. Políticas agrarias, colonizaciones internas y movimientos de frontera agrícola en Nicaragua. *Tzintzun. Revista de Estudios Históricos*.
- SAGPYA. (Diciembre de 2007). El Clima y la Agricultura Afectan a la Producción de Miel. *Diario La Nacion - Argentina*.
- Thomas , C. (2011). A framework for assessing threats and benefits to species responding to climate change. *Methods in Ecology and Evolution*, 125 - 142.
- Trápaga Delfin, Y. (enero - marzo de 2012). El fin de la frontera agrícola y el acaparamiento de tierras en el mundo. *Investigación Económica*.
- Wels, J., & Krellenberg, K. (Ene de 2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE (Santiago)*.
- Zarrilli, A. (enero-junio de 2008). BOSQUES Y AGRICULTURA: UNA MIRADA A LOS LÍMITES HISTÓRICOS DE SUSTENTABILIDAD. *Revista Luna Azul*, 87-106.
- Zúñiga Igarza, & Libys , M. (julio - septiembre de 2014). Ordenamiento territorial del municipio Mayarí: una herramienta para el. *Ciencias Holguín*, vol. XX, núm. 3, 1 - 12.

Anexos



Fotografía 1. Pastoreo de ganado en las inmediaciones del Bosque Protector Aguarongo.
Fuente: Grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM). 2016



Fotografía 2. Apertura de vías dentro del Bosque Protector Aguarongo.
Fuente: Grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM). 2016



Fotografía 3. *Actividades agrarias en las inmediaciones del Bosque Protector Aguarongo.*
Fuente: Grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM). 2016



Fotografía 4. *Infraestructura en construcción en las inmediaciones del Bosque Protector Aguarongo.*
Fuente: Grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM). 2016