



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**COMPARATIVAS DE SOFTWARE SIG
LIBRE Y COMERCIAL PARA ESTUDIOS
AMBIENTALES**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTORA

MARÍA JOSÉ OLIVO BERMEO

ASESOR

MGT. JAIME SAYAGO HEREDIA

Esmeraldas – Septiembre, 2019

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE, previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente tribunal de Graduación

Lector 1

PhD. Jon Molinero Ortiz

Lector 2

Mgt. Juan Casierra Cavada

Coordinadora de la Carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Karla Solís Charcopa

Director de Tesis

Mgt. Jaime Sayago Heredia

Esmeraldas,.....de.....de 2019

AUTORIA

Yo, Olivo Bermeo María José, portadora de la cedula de identidad 0803458637, con número de matrícula 10387, estudiante de la escuela de Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, autentica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCESE.

María José Olivo Bermeo

C.I. 080345863-7

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido lograr mi meta tan anhelada, pero sobre todo por haberme brindado la fuerza y la voluntad para no decaer cuando se me presentaban los obstáculos.

A mis padres José Olivo Miranda y Judith Bermeo Moreira, por haber sido el pilar fundamental y apoyo incondicional, a quienes les debo este triunfo profesional y por quienes lucho cada día por ser mejor, desde el fondo de mi corazón quiero decirles:
¡Queridos padres, gracias!

A mis hermanas Alejandra Olivo y Doménica Olivo, quienes con sus palabras de aliento y apoyo me ayudaron en este arduo camino académico, ya que siempre fueron mi motivo de admiración y quienes anhelaron que logre esta meta.

A mis ángeles, Nelly Olivo, María del Carmen, Uribe Zambrano y mi abuelo Luis Bermeo, que desde el cielo guiaban mi camino, que sin duda alguna me llenan de bendiciones y fortalezas para seguir adelante.

A toda mi familia en especial a mis tías, tíos y abuelos, quienes con sus palabras de motivación me hacían sentir que podía llegar a convertirme en toda una profesional, y a todos aquellos que han quedado en mi memoria ¡Gracias!

A todas y todos los docentes de la PUCE Esmeraldas, en especial a los de la carrera de Gestión Ambiental, ya que en la presente investigación se encuentra plasmada la enseñanza adquirida durante todos estos años de carrera universitaria, demostrando un excelente trabajo realizado.

Olivo Bermeo María José

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en este largo camino de carrera universitaria y personal, quien a pesar de los obstáculos que se me presentaron fue mi sustento día a día.

A mis padres, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional y a quienes les debo este triunfo, *¡Gracias!*, por confiar en mí, como persona, como hija, como ser humano y como futura profesional, sin duda alguna siempre tuvieron un consejo exacto para mí y un gran sacrificio para que nunca me faltara nada.

A mi hermana Alejandra, mi gran motivación y ejemplo a seguir, quien con su sacrificio me enseñó a no rendirme ante las adversidades.

A mi hermana Doménica, por brindarme su apoyo incondicional y por permitirme ser su ejemplo por seguir.

A mi asesor, Mgt. Jaime Sayago, por haber aceptado este reto y ser mi guía en la presente investigación, no fue un camino fácil, pero con sus conocimientos y consejos se pudo finalizar.

A mis lectores, PhD. Jon Molinero y Mgt. Juan Casierra, por brindarme sus consejos de conocimientos y consejos acerca de la presente investigación.

A mis compañeras de aula, quienes se convirtieron en grandes amigos especialmente Ivana Barrezueta, Jessica Sánchez, Thalía Lalaleo *¡Gracias!* por permitirme compartir gratos momentos juntos y por el apoyo brindado.

Olivo Bermeo María José

INDICE DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	i
AUTORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDO	v
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCION	11
Presentación del tema de investigación.....	11
Planteamiento del problema.....	12
Justificación.....	12
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO	15
Bases teóricas y científicas.....	15
Antecedentes	20
Base o marco legal	21
CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOS	24
Tipo de estudio.....	24
Metodología de la investigación	24
Análisis de datos	24
Técnicas de investigación e instrumento.....	28
Área de estudio.....	28
Recolección de datos.....	29
Análisis de datos	29
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	31
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA	54

ANEXOS	57
--------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, Provincia de Esmeraldas.	29
Figura 2. Funcionalidad de los SIG Comerciales – Libres	44
Figura 3. Análisis espacial de los SIG Comerciales – Libres.....	44
Figura 4. Capacidad Vectorial de los SIG Comerciales – Libres	45
Figura 5. Capacidad raster de los SIG Comerciales – Libres	45
Figura 6. Interoperabilidad de los SIG Comerciales – Libres	46
Figura 7. Rendimiento de los SIG Comerciales – Libres	46
Figura 8. Generación de mapa de los SIG Comerciales - Libres.....	47
Figura 9. Documentación y soporte de los SIG Comerciales – Libres.....	47
Figura 10. Mapa de variación de bosque de la provincia de Esmeraldas	57
Figura 11. Mapa de variación de tierra agropecuaria de la Provincia de Esmeraldas ...	58
Figura 12. Mapa en QGIS de cobertura y uso de Suelo de la Provincia de Esmeraldas 2016	59
Figura 13. Mapa en QGIS de cobertura y uso de suelo de la Provincia de Esmeraldas 1990	60
Figura 14. Mapa en ARCGIS de cambio y uso de suelo 1990-2016.....	60
Figura 15. Mapa en ARCGIS de uso de suelo Provincia de Esmeraldas	61
Figura 16. Mapa en GvSIG de cobertura y uso de suelo 1990-2016.....	62
Figura 17. Mapa en Global Mapper de cambio y uso de suelo 1990	63
Figura 18. Mapa en Global Mapper de cambio y uso de suelo 2016	63
Figura 19. Mapa en QGIS, delimitación de microcuenca del río Teaone	64
Figura 20. Mapa en ARCGIS, delimitación de microcuenca del río Teaone	65
Figura 21. Mapa en GvSIG, delimitación de microcuenca del río Teaone	66
Figura 22. Mapa en Global Mapper, delimitación de microcuenca.....	67
Figura 23. Mapa en QGIS de cobertura de Isoyetas	68
Figura 24. Mapa de ARCGIS de cobertura de Isoyetas.....	69
Figura 25. Mapa de GvSIG de cobertura de Isoyetas	70
Figura 26. Mapa en Global Mapper de cobertura de Isoyetas	71
Figura 27. Mapa en ARCGIS de Imagen Satelital de las reservas PANE.....	71
Figura 28. Mapa en ARCGIS del refugio de vida silvestre manglar estuarios río Esmeraldas	72
Figura 29. Mapa en ARCGIS de MERE	72
Figura 30. Mapa en ARCGIS de modelación de Predio El Tigre, Tachina.....	73
Figura 31. Mapa en ARCGIS de modelación de Predio El Tigre, Tachina.....	74
Figura 32. Modelación en GvSIG de modelación de Predio El Tigre, Tachina	75
Figura 33. Mapa en Global Mapper de modelación de la Provincia de Esmeraldas	76
Figura 34. Mapa en QGIS de la cobertura Isotérmica	77
Figura 35. Mapa en ARCGIS de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas	78
Figura 36. Mapa en GvSIG de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas	79
Figura 37. Mapa en Global Mapper de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de Software de licencia libre	17
Tabla 2. Características de Software SIG comerciales	18
Tabla 3. Sistemas de información Geográficos	25
Tabla 4. Parámetros de evaluación de Software	25
Tabla 5. Factores de evaluación de las herramientas	26
Tabla 6. Evaluación por indicadores.....	28
Tabla 7. Evaluación de parámetros a SIG comerciales y libres.....	41
Tabla 8. Resultado final de comparaciones de SIG de licencia comerciales y libres	48

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica en la actualidad se han convertido en una herramienta útil en el campo ambiental demostrando ser importante para el manejo de la conservación, regularización y restauración de un determinado territorio, es por ello que nos vemos en la necesidad de determinar qué SIG cumple con las características y parámetros de analizar, realizar y evidenciar un estudio ambiental. El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de comparar las herramientas de los softwares SIG de licencia libre frente a los comerciales implementado para estudios ambientales. El estudio fue de tipo no experimental, ya que no existió ninguna manipulación de los resultados, pero a su vez fue de tipo cualitativa y analítica dado que se identificó y definió las características de las herramientas de los SIG, seleccionando SIG comerciales (ArcGIS, Global Mapper) y SIG libres (QGIS, GvSIG) para su evaluación de acuerdo con la norma ISO 9126-3 por medio del desarrollo de cinco casos ambientales. Entre los resultados más relevantes se pudo observar que los SIG comerciales presentaron una mayor puntuación de acuerdo con los parámetros de evaluación brindando fiabilidad a diferencia de los SIG libres que por su poco tiempo posesionado en el mercado sus herramientas tienen poca estabilidad, direccionándonos a los casos ambientales se pudo determinar que los SIG deben ser valorados por su aplicabilidad y las funcionalidades que requieren, al demostrar que en determinados estudios ambientales un SIG presenta mejores características y en otros casos presentan herramientas similares que cumplen con el objetivo. Por ello se pudo concluir que los SIG cumplen un papel fundamental para la protección del medio ambiente.

Palabras claves: Ambiente, comerciales, libres, herramientas, SIG.

ABSTRACT

Geographic Information Systems have now become a useful tool in the environmental field proving to be important for the management of the conservation, regularization and restoration of a given territory, which is why we need to determine which GIS It meets the characteristics and parameters of analyzing, carrying out and evidencing an environmental study. This research work was carried out with the objective of comparing the tools of free-license GIS software against commercial ones implemented for environmental studies. The study was of a non-experimental type, since there was no manipulation of the results, but in turn it was of a qualitative and analytical type since the characteristics of the GIS tools were identified and defined, selecting commercial GIS (ArcGIS, Global Mapper) and free GIS (QGIS, GvSIG) for evaluation in accordance with ISO 9126-3 through the development of five environmental cases. Among the most relevant results, it was observed that commercial GIS had a higher score according to the evaluation parameters, providing reliability unlike free GIS, because of their short time in the market, their tools have poor stability, addressing cases It was possible to determine that GIS should be assessed for their applicability and the functionalities they require, by demonstrating that in certain environmental studies a GIS has better characteristics and in other cases they have similar tools that meet the objective. Therefore, it could be concluded that GIS fulfill a fundamental role for the protection of the environment.

Keywords: Environment, commercial, free, tools, GIS

INTRODUCCION

Presentación del tema de investigación

El crecimiento poblacional y las alteraciones en el ambiente por las actividades humanas han llevado consigo al deterioro ambiental, implicando efectos adversos sobre los ecosistemas. Por lo cual, para ayudar a la remediación de los efectos negativos en el ambiente y el diagnóstico de la calidad ambiental se requirió la aplicación de diversas acciones.⁽¹⁾

El desarrollo de las tecnologías de la información que han experimentado un crecimiento en los últimos años se han convertido en una fuerza de cambio de la sociedad, mediante la cual los Sistemas de información geográfica juegan un papel importante en el ámbito profesional y de investigación direccionadas en las ciencias geográficas y ambientales, facilitando la toma de decisiones y permitiendo ser una herramienta útil para el manejo y análisis de datos provenientes de diferentes fuentes.⁽²⁾

Los SIG son herramientas de procesamientos que han logrado analizar el comportamiento y variaciones de problemas forestales o ambientales con la presentación final de mapas (mapas de vegetación, mapas del uso del suelo, hidrología, etc.), ya que son cada vez más las organizaciones que los implementan.⁽³⁾ Los SIG al facilitar la toma de decisiones proporcionan múltiples beneficios al permitir realizar una estimación y un aprovechamiento. Si nos enfocamos en una estimación de cobertura de uso de suelo permite localizar y valorar el grado de deforestación en un determinado lugar y estimar efectos que permiten tomar medidas correctivas para ecosistemas frágiles a través de programas de restauración, siendo ventajosos en prevenir, controlar y estimar por medio de la toma de decisiones.⁽⁴⁾

Los diferentes SIG al ser utilizados deberían contar con un sistema confiable y seguro que permitan brindar facilidades en los estudios realizados, principalmente por instituciones dedicadas a temas ambientales, donde es fundamental conocer y determinar las ventajas y desventajas de las herramientas de los software SIG libres y comerciales, debido a que hoy en día las instituciones públicas se están viendo forzados a exigir que los programas se adapten a estándares públicos y abiertos.⁽⁵⁾ Sin embargo, los proyectos

de software comercial no han tenido repercusión en dichos estándares con lo que podría decirse que se encuentran en desventajas frente a las alternativas públicas.⁽⁶⁾

Direccionándonos a las ciencias ambientales existe una interacción directa de factores que se relacionan en un medio ambiente y con ello surgen los problemas ambientales, la gestión de dichos recursos requiere una base de datos geográfica que contenga información sobre la vegetación, relieve, precipitación, uso del suelo de un territorio, la evaluación de impactos ambientales, entre otras variables que provengan de diferentes fuentes como cartas topográficas e imágenes de satélites en donde juega un papel importantes los SIG. Es aquí donde se puede constatar que los SIG permiten brindar facilidades para conocer el estado actual de un estudio o proyecto, por ello surge la necesidad de comparar que sistema es más rentable en cuanto a tiempo y factibilidad.

Planteamiento del problema

Los Sistemas de Información Geográficos se consideran fundamentales ya que son cada vez más las organizaciones que los implementan para estudios ambientales, por ello los softwares de licencia libre han presentado una mayor inclinación por parte de los usuarios por su accesibilidad en obtenerlos⁽⁷⁾. Sin embargo, en la actualidad se desconoce si los SIG comerciales presentan un mayor desempeño en comparación con los SIG libres en temas ambientales.

Por tal motivo surge la presente investigación con el tema ¿Qué ventajas tienen los softwares SIG libre frente a los comerciales? Mediante esta cuestión planteamos identificar las características de los softwares SIG tanto libres como comerciales para determinar cuál posee mejores características implementado en temas ambientales.

Justificación

El mundo actual y sobre todo los mercados ambientales presentan exigencias acerca del funcionamiento y desarrollo del software SIG, ya que hoy en día las instituciones priorizan la calidad de los sistemas que existen entre ellos, dado que estudios recientes

demuestran que el 80% de la información de las empresas utilizan información geográfica o datos espaciales.⁽⁸⁾

Al existir una variedad de softwares, los SIG libres frente a los comerciales han tenido más repercusión porque se piensa que es la solución más acertada para estudios, esto se debe a que los costos son un factor limitante, pero en resultado muchos proyectos no alcanzan los objetivos propuestos dado a las limitaciones tecnológicas.⁽⁷⁾ Por consiguiente, existe la importancia de conocer las características de los softwares SIG y sus herramientas de apoyo y como estos ayudan a la solución de un estudio ambiental y sus limitaciones en cuanto a estudios hidrológicos, uso de suelo, modelación, precipitación, entre otros.

El proceso de evaluación de los SIG comerciales y libres es importante ya que ayudará al desarrollo de estudios ambientales que podrán ser utilizados en instituciones públicas y privadas para el aprovechamiento de la capacidad de estos paquetes en diferentes procesos, esta comparación nos permitirá obtener evaluaciones de diferentes criterios como las características, ventajas, desventajas, entre otras.⁽⁹⁾

La calidad de las herramientas que tiene cada software SIG se puede diferenciar en la forma de procesar los datos, formatos de salida de los resultados, la estabilidad del programa, etc. Estos factores son importantes dado que se puede establecer la calidad de un SIG, por ello es importante elegir un software SIG que cumpla con las necesidades de los usuarios generando un documento de las utilidades de las herramientas frente a un caso, para poseer una visión integral y sistemática de que ventajas y desventajas conlleva un software SIG libre frente a uno comercial para su implementación a estudios ambientales.

Objetivos

Objetivo General

Comparar las herramientas de los softwares SIG de licencia libre frente a los comerciales implementado para estudios ambientales.

Objetivos Específicos

- Realizar una investigación de las características y del uso de los SIG basado en softwares libres y comerciales implementado para estudios ambientales.
- Utilizar diferentes capas de información ambiental para comparar las diferencias entre las herramientas de softwares SIG libres y comerciales.
- Determinar las ventajas de los softwares SIG libres y comerciales para estudios ambientales.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

Bases teóricas y científicas

Los **Sistemas de Información Geográfica** se pueden identificar como herramientas que nos permiten almacenar, procesar, analizar, recopilar y representar información geográfica para la práctica en el ámbito profesional y de investigación tanto para estudios geográficos como ambientales⁽¹⁰⁾. Sin embargo, un SIG ha demostrado no solo ser un sistema que almacena información georreferenciada, se ha convertido en una herramienta útil para el análisis ante un determinado problema de planificación y gestión, siendo eficaz en la toma de decisiones.

Además, los SIG a pesar de ser considerados como herramientas también se encuentran principalmente diseñados para trabajar con datos referenciados en relación con coordenadas geográficas. **Un dato georreferenciado** se puede definir como proyecciones cartográficas y sistemas de coordenadas geográficas que nos proporciona el geoido terrestre, permitiendo ubicar una entidad geográfica por medio de un SIG a través de su localidad geográfica.⁽¹¹⁾

La **base de datos** que se integra a un SIG es fundamental para la toma de decisiones, debido que almacena gran cantidad de datos espaciales entre ellas variables ambientales tales como precipitación, pendientes, curvas de nivel, vegetación, suelo, entre otras variables, obtenidas de diferentes fuentes tales como cartas topográficas, imágenes aéreas o de satélites. De su posterior análisis se pueden obtener mapas que puede integrar una variable o un conjunto de ellas dependiendo de las necesidades del usuario.⁽¹²⁾

Entre **los servicios ofrecido por un SIG** se puede destacar su aplicación hacia estudios medio ambientales, referente a la planificación, ordenamiento, protección ambiental, modelamiento hidrológico y geomorfológicos.

Es importante para un Sistema de Información Geográficos disponer de recursos físicos, lógicos y humanos para el adecuado manejo de datos georreferenciados. Por ello entre **los componentes de un SIG** es importante disponer de un software, hardware, métodos, datos y las personas para formar una interrelación.⁽¹³⁾

Una de las formas de almacenar datos es el **modelo ráster** que representa la zona de estudio en una serie de unidades mínimas denominadas celdas, las cuales toman un determinado valor, por ejemplo, los modelos digitales de elevación en donde se registra la altitud del terreno obteniéndose un conjunto de valores. El **modelo vectorial** por otro lado representa información cartográfica digital representada por puntos, polígonos y líneas que se utilizan para modelizar el espacio geográfico.⁽¹⁴⁾

Los programas son un componente importante para los Sistemas de Información Geográfica. La efectiva elección del mismo permitirá la gestión necesaria de los datos, para la visualización de los mapas y manejo de información, por ellos los SIG se encuentran para el usuario como **software libre**, entendiéndose como tecnología de código abierto dando la libertad al usuario de utilizarlo con cualquier propósito y adaptarlo a nuestras necesidades con acceso al código fuente y libertad de redistribuirlo⁽¹⁵⁾.

Por otro lado se encuentran los **software comerciales** el cual se distribuye únicamente en código binario y explícitamente se prohíbe su redistribución, modificaciones y publicaciones de mejoras, lo cual conlleva a no poderlo adaptar a nuestras propias necesidades y que el acceso tenga un valor monetario.⁽¹⁶⁾

A continuación, las características más importantes de los SIG:

Tabla 1.*Características de Software de licencia libre*

ELEMENTOS	QGIS	SAGA GIS	DIVA GIS	GRASS GIS	GvSIG
Multiplataforma	Si	Si	Si	Si	Si
Descripción	Ofrece 400 complementos Plugin. Diseñado para la cartografía Capacidad 3D	Posee herramientas geo científicas Fácil de utilizar Confiable, rápido y preciso. No líder en cartografía	Mapeo de riqueza biológica y la distribución de la biodiversidad, incluido los datos de ADN y climáticos	Manejo de la tierra y la planificación ambiental. No líder en cartografía	Supera a QGIS en opciones 3D Alta compatibilidad Buenas herramientas CAD Posee una DATA MANAGEMENT ordenado
Herramientas	Herramientas de calidad, extensiones plugin para la geografía y análisis espacial	Análisis de terreno, extracción de cuencas, sombreados y análisis de visibilidad. Morfométrica, índice de humedad	Análisis estadísticos y técnicas de modelamiento	Procesamiento digital de terreno y estadísticas. 350 herramientas de manipulación de ráster y vectorial	Permite trazar geometrías, alinear, editar vértices, dividir líneas y polígonos
Plataforma soportada	Linux, Unix, Windows, Mac OSX y Android	Windows. Linux, Mac OS X, GNU	Windows	Windows, Linux, Sites	Windows, Linux
Extensión de archivo	69 formatos vectoriales, 100 formatos ráster	ESRI, SHP, DXF	ESRI, SHP, DXF	ESRI, SHP, DXF	ESRI, SHP, DXF
Orientación del SIG	Vectorial, Ráster	Vectorial, Ráster	Vectorial	Vectorial, Ráster	Vectorial, Ráster
Idiomas para interfaces de usuario	40 idiomas	10 idiomas	15 idiomas	11 idiomas	20 idiomas
Facilidad de uso	Fácil	Fácil	Moderado	Moderado	Difícil
Coste	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito

Fuente: Díaz(17); Gilavert & Puig(18).

Tabla 2.

Características de Software SIG comerciales

SIG COMERCIAL	ARCGIS	ARCVIEW	GEOMEDIA	MAPINFO PROFESSIONAL	GLOBAL MAPPER
Multiplataforma	Si	Si	Si	Si	Si
Descripción	Permite crear aplicaciones creadas en mapas y resolver problemas con el análisis espacial	Ingresar diversos tipos de datos, producción cartográfica de alta calidad.	Productos cartográficos de alta calidad. Integra información de cualquier fuente de dato	Capacidad 3D y mapas de prisma. Leyendas cartográficas. Información sobre levantamientos geológicos, geo estructural de capas, datos geotécnicos, etc.	Accede directamente a fuentes de mapas topográficos, y datos DEM. Elevación y datos vectoriales en 3D real.
Herramientas	Para topografía, calles, terrenos y océanos. Capas de datos operacionales, simbología, etiquetado y rango de escalas	Soporte para consultas espaciales y de atributos, despliegue y manejo de la creación de gráficos. Inventario y planificación de bosques	Como herramienta de captura y mantenimiento de datos, sus ajustes permiten captar los datos vectoriales a partir de imágenes ráster.	Herramientas de dibujo y edición para personalizar mapas. Zonificación, combinación y división de objetos	Vistas perspectivas en 3D, sombreado, análisis de cuencas, cuencas visuales y líneas de vista, también curvas de nivel personalizadas
Plataforma soportada	Windows 7 o superior	Windows, Unix, Solaris, IRIX, AIX, HP UX	Windows, Solaris, Unix, AIX	Windows	Windows

Formato soportada	vectorial	SHP, ESRI, DWG, DGN, DXF, DWG	DGN, DXF, DWG	DGN, DXF, DWG	DGN, DXF, DWG
Orientación del SIG		Vectorial, Ráster	Vectorial, Ráster	Vectorial, Ráster	Vectorial, Ráster
Idiomas para interfaces de usuario		11 idiomas	Íngles Español (No)	Inglés y español	18 idiomas 20 idiomas
Coste		Licencia comercial, nivel de licencia (Básica, estándar y avanzado). Licencia nivel básico: 2730 USD	\$1500- \$4000	\$7000	\$1292- \$3000 \$7000

Fuente: Díaz (17); Mejía (7).

Antecedentes

Se han realizado varios estudios relacionados a las comparativas de software SIG libres y comerciales donde se han investigado las ventajas y desventajas que conlleva la implementación de un SIG con la finalidad de potenciar su rentabilidad y factibilidad en temas ambientales. Sin embargo, se puede evidenciar las diferencias entre autores, basadas en varias metodologías y casos.

En Colombia, el estudio efectuado por Gonzales y Cáceres⁽¹⁹⁾ que tenía por finalidad comparar las herramientas de los SIG libres direccionado a estudios de ordenamiento territorial, se basó en métricas de calidad a partir de la ISO 9126 que se desempeña en evaluación de software. Esta metodología propone asignar parámetros, factores e indicadores de cumplimiento de las herramientas las cuales obtienen una valoración, dando como resultado que GvSIG presenta un mayor desempeño en cuanto a las operaciones a realizar en planes de ordenamiento territorial.

Las herramientas juegan un papel importante para mejorar el desempeño y rendimiento de los SIG por ello se ha realizado un estudio en la Universidad Politécnica de Cataluña por parte de Gilavert & Puig⁽¹⁸⁾, donde tuvo como objetivo evaluar herramientas de programas SIG de licencia libre que facilitaran el análisis, gestión y procesamiento de información en un tipo de caso, en el que se basó en herramientas adicionales que el SIG comparado no posea. Comparando tipos de SIG entre ellos SAGA, JUMP, gvGIS, Kosmo, Quantum GIS y UGIS seleccionados por ser compatibles en la plataforma Windows. Para determinar sus capacidades se evaluaron bajo parámetros de agilidad al instalarse, la variedad de herramientas, su facilidad de uso, conexión con WMS, y su interfaz gráfica.

Por otra parte, también se han realizado estudios que evidencian qué herramientas son más completas en un caso ambiental específico. Castro⁽²⁰⁾, en su investigación plantea la obtención de una cuenca hidrológica con la implementación de herramientas de SIG libres “SAGA” comparado a uno comercial “ARCGIS”, en los cuales se contemplan factores como tiempo, rentabilidad, complejidad. SAGA es un programa que ha tenido una gran aceptación en los lineamientos de software libre debido a su compatibilidad con otros SIG, por otro lado, ARCGIS al ser un Software propietario requiere un alto coste siendo esta su principal desventaja, pero ofrece un soporte técnico que otros SIG no presentan y

en cuanto a los indicadores para obtener cuencas se obtuvieron mejores resultados. Por último, al realizar las comparativas y conocer las debilidades y fortalezas se pudo determinar que el SIG comercial fue más completo en cuanto a la calidad y producto, garantizando un trabajo más detallado y permitiendo realizar con sus resultados análisis de mayor complejidad, precisión y exactitud. sin embargo, al referirnos al SIG libre “SAGA” se puede determinar que presenta menos detalles siendo no útil para escalas grandes y utilizado cuando no se cuenta con un presupuesto.

Para determinar las ventajas y desventajas de un SIG es importante evaluar el tiempo en el cual se ejecuta la tarea y los costos.⁽¹⁷⁾ El Sistema de Información Geográfico “SAGA” es útil para realizar investigaciones que no requieran mayor complejidad sobre todo en casos académicos y donde no se disponga de presupuesto.⁽¹⁸⁾ Por otro lado, si se disponen de recursos Jiménez et al.⁽⁵⁾, recomienda en su estudio que se implementen software SIG comerciales que disponen de mayor exactitud sus herramientas y maneja varios formatos y datos.

En **Ecuador**, se realizó una investigación por Mejía⁽⁷⁾, en la Universidad San Francisco de Quito, para la implementación de una arquitectura SIG basada en software SIG comercial y libre para una entidad pública, con el objetivo de la búsqueda de una metodología para la elección de un SIG para las instituciones que administren un gran volumen de información geográfica, evaluando características principales de las herramientas de SIG tales como última versión, facilidad en el uso e instalación y Plug-in. Además, de características para soporte de bases de datos, formatos de datos vectoriales y ráster; y soporte para servicios web por cada SIG. Por otro lado, no se han realizado suficientes estudios de comparativas de herramientas de Software SIG libres y comerciales enfocados en estudios ambientales.

Base o marco legal

La presente investigación sobre las comparativas de software de sistemas de información geográfica públicas y comerciales en el Ecuador se fundamenta en el siguiente marco legal:

La Constitución de la República del Ecuador⁽²¹⁾ vigente desde el 2008, en cuanto al medio ambiente en su Art 13, establece la importancia de la preservación del ambiente, su conservación tanto de los ecosistemas como de su biodiversidad y su integración, la

prevención y su restauración. En cuanto a la tecnología en el Art 385, menciona las finalidades que tiene el sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, como generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos que permitan brindar información sobre el medio ambiente, la naturaleza, la vida y la soberanía, además permiten desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción y productividad nacional mejorando el buen vivir.

El Código Orgánico del ambiente⁽²²⁾, en su Art 3, orienta a establecer e implementar los instrumentos para una mejor conservación, además del uso sostenible de la biodiversidad y de los bienes y servicios ecosistémicos, sin dejar a un lado la importancia de su restauración a partir de instrumentos que generen información ambiental dirigida por medio de entidades públicas o privadas responsables de generar investigaciones ambientales.

El Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación⁽²³⁾, en el Art. 142, se entiende por tecnología libres al software de código abierto, los estándares abierto, los contenidos y el hardware libre, considerando los tres primeros como tecnología digital libre donde garantiza al usuario el acceso a código fuente, especialmente otorgan las siguientes libertades: La libertad de ejecutar el software para cualquier propósito; La libertad de estudiar cómo funciona el software; la libertad de distribuir copias; y, la libertad de distribuir copias de versiones modificadas a terceros. Por otra parte, el Art. 144, habla sobre las tecnologías digitales libres en los sistemas de educación donde únicamente para sus funcionamientos administrativos, deberán usar software siguiendo el esquema de prelación y criterios establecidos en esta normativa.

No obstante, las instituciones del Sistema de Educación Superior no estarán obligadas a usar exclusivamente tecnologías digitales libres en el ejercicio de la libertad de cátedra y de investigación, pero deberá garantizarse una enseñanza holística de soluciones informáticas independientemente de su tipo de licenciamiento. El Art. 145, sobre migración a software de fuente abierta establece que las instituciones del sector público deberán realizar un diagnóstico de factibilidad de migrar sus tecnologías digitales a tecnologías digitales libres con los criterios establecidos en el presente reglamento establecido. Se evaluará la criticidad del software, debiendo considerar los siguientes criterios:

1. Sostenibilidad;

2. Costo de oportunidad;
3. Estándares de seguridad;
4. la capacidad técnica que brinde el soporte preciso para el uso del software.

La investigación sobre los softwares SIG también se encuentra sustentado en el Plan Nacional de Gobierno Electrónico⁽²⁴⁾ del año 2007, estableció 7 principios que buscan cautelar el derecho que se tiene para introducir tecnologías en los procedimientos prácticos del gobierno con el fin de innovar la gestión pública para que el ciudadano sea el centro de su accionar. Sin embargo, en el 7 Principio de adecuación tecnológica, garantiza que las instituciones públicas elegirán las tecnologías que más se adapten a sus finalidades y de esta manera satisfacer sus necesidades, por lo que se recomienda el uso de estándares abiertos y de software libre ya que permiten seguridad, sostenibilidad a largo plazo.

Y por último el Plan Nacional de desarrollo toda una vida del Ecuador⁽²⁵⁾, encaminado a los estudios ambientales en el Objetivo 3, garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental territorial y global. La política pública ambiental impulsa la conservación, la valoración y el uso sustentable del patrimonio natural, de los servicios ecosistémicos y de la biodiversidad. Para ello es necesario el establecimiento de garantías, normativas, estándares y procedimientos de protección y sanciones para el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOS

Tipo de estudio

Para la investigación que se realizó a los Softwares de Sistemas de Información Geográficos tanto libres como propietarios se pudo constatar las ventajas y desventajas de los diferentes SIG, pero fue necesario comparar las herramientas de los softwares SIG de código abierto frente a los SIG comerciales implementado para estudios ambientales, para este estudio se utilizó una investigación **NO EXPERIMENTAL**, basada en la teoría Müggenburg y Pérez⁽²⁶⁾, en donde su propósito se centra en describir, analizar y comparar las diferentes variables que se presentan en la investigación.

Metodología de la investigación

El método de investigación que se ajusta a la presente investigación es de tipo **CUALITATIVA**, permitiendo mostrar el funcionamiento y sus respectivas características de los SIG tanto libres como comerciales, pero también se utilizó una investigación **ANALITICA** según Lopera *et al.*⁽²⁷⁾, la define como el estudio que permite descomponer una idea, ya que se pretende analizar las ventajas y desventajas de los SIG libres y comerciales.

Análisis de datos

Para realizar la presente investigación se seleccionó un conjunto de herramientas SIG compatibles con Windows, seleccionadas en base a características de factibilidad y rentabilidad, seleccionadas anteriormente donde se refleja un estudio comparativo tal como se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3.*Sistemas de información Geográficos*

SOFTWARE SIG LIBRES	SOFTWARE SIG COMERCIAL
QGIS 2.18	ArcGIS 10.4.1
GvSIG 2.4	Global Mapper 20.0

Además, se utilizó la metodología del estudio de González y Castellanos⁽¹⁹⁾, que permitió definir los parámetros de evaluación de acuerdo con la norma ISO 9126-3 que cuantifican las características del software luego de haber seleccionado las herramientas, presentes en la **Tabla 4.**

Tabla 4.*Parámetros de evaluación de Software*

PARAMETROS	DESCRIPCION
Funcionalidad	Definida como un conjunto de atributos que se refieren a la existencia de una serie de funciones y sus propiedades específicas.
Análisis Espacial	Capacidad de las herramientas para el análisis de datos geográficos o espaciales.
Capacidad vectorial	Conjunto de atributos que se refiere al esfuerzo necesario para generar datos vectoriales.
Capacidad raster	Conjunto de atributos para el tratamiento de datos raster.
Interoperabilidad	El grado de interacción del SIG con bases de datos y servidores de mapas.
Rendimiento	Facilidad con que una modificación puede ser realizada.
Generación de mapas	La capacidad de las herramientas con las que cuentan para generar mapas interpretativos.

Documentación y soporte	Capacidad de llevar el software de un entorno a otro
--------------------------------	--

Para realizar la evaluación se determinaron los factores de cada parámetro, sus índices y los indicadores utilizados para evaluar cada parámetro de las herramientas SIG. Cada parámetro tiene un peso o valor dependiendo la cantidad de indicadores, presentes en la **Tabla 5**.

Tabla 5.

Factores de evaluación de las herramientas

PARÁMETRO	FACTOR	PESO	INDICE	INDICADORES
Funcionalidad básica	Configuración general	11	Georreferenciación del proyecto	Sistema de coordenadas
			Personalización de herramientas	Configuración de herramientas Incorporación y movilidad
	Interfaz gráfica		Opciones de creación	Menú principal Menú contextual
	Manejo de capas		Herramientas de manejo de capas	Componentes de rasterización
				Componentes de vectorización
				Dibujo de objetos Selección y movimiento
Opciones de manejo de tablas de atributos	Tipos de datos Edición de esquema			
Análisis espacial	Método de aplicación	4	Funciones de análisis espacial	Exactitudes de longitudes MDE
	Funcionalidad resultante		Manejo de resultados	Aplicación a estadística Características de capas resultantes

Capacidad vectorial	Tratamiento de capas	2		Superposición topológica Herramientas de geoprocetamiento
Capacidad raster	Tratamiento de imágenes	4	Proceso raster	Conversión de imagen raster Digitalización Edición raster
	Georreferenciación raster		Rectificación raster	Tipos de rectificación
Interoperabilidad	Soporte a formatos	5	Compatibilidad de formatos	Formatos a raster Formatos SIG Formatos CAD
	Conexión de datos		Formas de enlace a web Accesos a servicios web	Bases de datos Servicios web de mapas
Rendimiento	Fiabilidad	4	Procesos del sistema	Tiempo de carga de archivos Tiempo de respuesta de vectorización/rasterización
	Estabilidad		Ejecución y uso de procesos	Funciones espaciales básicas Conversión de archivos
Generación de mapas	Usabilidad	6	Interfaz de herramientas	Utilidad Facilidad de aprendizaje
	Vistosidad		Configuración de capas Mapa	Colores y rellenos Decoración Reportes Resultados
Documentación y soporte	Documentos	3	Ayuda	Documentación técnica Ayuda en línea
	Soporte		Información herramienta	Acerca De

De igual manera cada parámetro se evaluó a partir de sus indicadores, los cuales obtuvieron una puntuación respecto al cumplimiento de ciertas características, presentes en la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Evaluación por indicadores

VALORACION	CRITERIOS
0.0	No cumple con el funcionamiento la herramienta
0.5	Cumple su funcionamiento incompleto
1	Cumple con el funcionamiento la herramienta

Técnicas de investigación e instrumento

Para conocer mejor la realidad de los SIG, en la presente investigación se tomó como base casos de estudios ambientales entre ellos cambios de cobertura y usos de suelos, delimitación de una cuenca, temperatura, precipitación y modelación en la Provincia de Esmeraldas, en la cual se realizará diferentes mapas que permitirán comparan cuál de los Sistemas de Información Geográfica presenta variedad de herramientas que cumplan con todas las expectativas del estudio.

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Provincia de Esmeraldas (**Fig. 1**), perteneciente a la costa ecuatoriana, que se creó el 20 de noviembre de 1847. Este posee una extensión de 15.824.52 Km², caracterizado por tierras bajas y elevaciones menores a 600 m.s.n.m., con un clima que varía desde subtropical, subtropical húmedo y tropical subhúmedo que posee una temperatura media de 23°C (0°50'00''S: 79°39'00''W).(28)

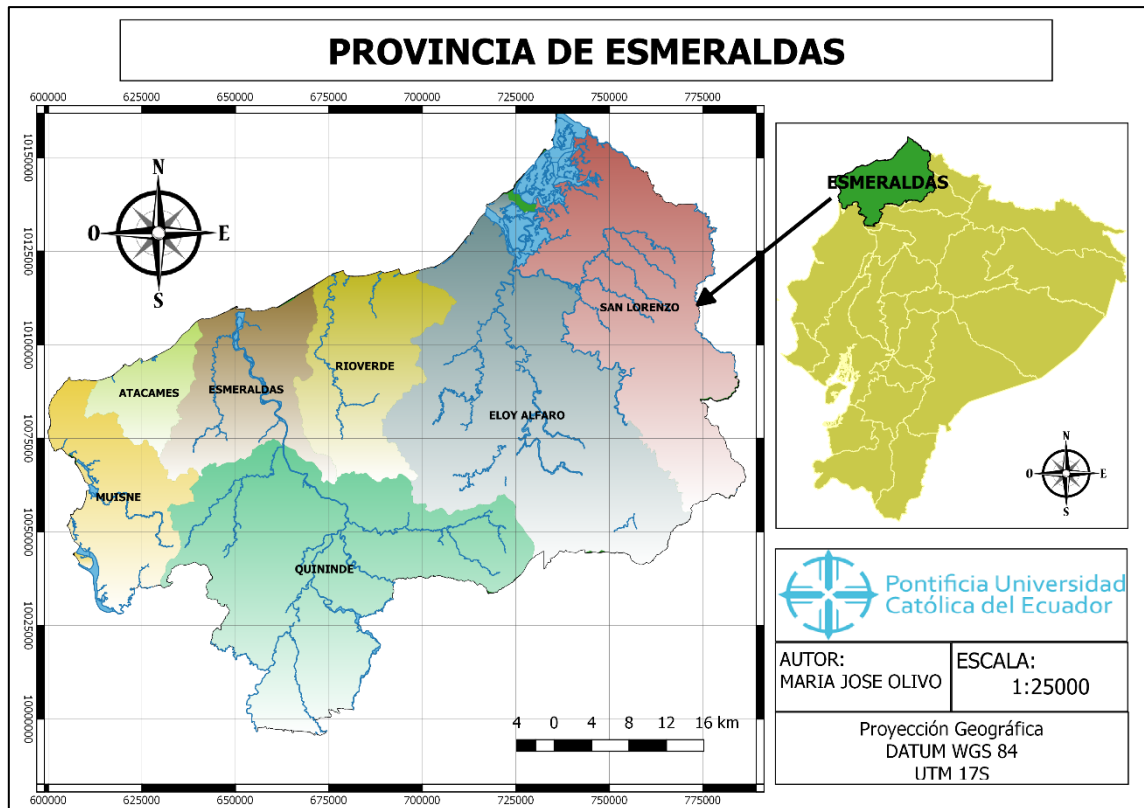


Figura 1. Área de estudio, Provincia de Esmeraldas.

Recolección de datos

La información se obtuvo de imágenes satelitales de Landsat 5 adquiridas a través de la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos los años 1990-2016 de la provincia de Esmeraldas y del geoportal del IGM para realizar la comparativa. Además, se utilizó el servidor WFS para la recolección de datos proveniente de metadatos del INEC y Ministerio del Ambiente.

Los datos espaciales fueron georreferenciados en el sistema de referencia WGS 84 y proyección UTM zona 17S y para la digitalización de las imágenes satelitales su geometría más adecuada será polígonos.

Análisis de datos

El análisis multitemporal se realizó mediante los SIG de licencia libre (QGIS y GvSIG) y comerciales (ArcGIS y Global Mapper), a partir del ingreso de capas o imágenes

satelitales del área de la provincia de Esmeraldas desarrollando los cinco estudios establecidos a partir de la información que se obtiene por las tablas de información que poseen con la implementando de las herramientas SIG, y mediante el análisis obtener resultados hasta lograr un Shape, finalizando con mapas temáticos a escalas 1:50.000.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

SIG COMERCIAL ARCGIS 10.4.1

FUNCIONALIDAD BÁSICA

Configuración general de un proyecto: ArcGIS se diferencia de otros SIG por su componente específico para el tratamiento de herramientas, un conjunto variado de herramientas que al obtener la licencia se encuentran activadas y en orden para tareas específicas.

Entre sus herramientas se pudo encontrar herramientas para una variedad de análisis ambiental entre ellos hidrológicos, MDE, herramientas de predicción etc.

Interfaz gráfica: Presenta opciones variada para agregar a las capas ráster y vectoriales, además de la presencia de mapas bases que otros SIG no presentan.

Manejo de capas: El manejo de capas en ArcGIS permite activar y desactivar columnas de atributos propuesta para el usuario, ingresar datos de posicionamiento en el mapa, además de presentar una edición ilimitada de configuración de colores y fuentes mostrando un gran potencial.

ANÁLISIS ESPACIAL

Método de aplicación: A partir de la extensión Spatial Analyst suministra una amplia gama de recursos importantes dedicados al análisis y modelación espacial. Dispone de un grupo de herramientas para crear visualizaciones de propiedades espaciales como densidad, distribución, flujos entre otras, dado por la presencia de la organización de las herramientas involucradas. La exactitud de longitudes fue muy exacta esto se constató en la delimitación de la cuenca hidrográfica y sus resultados.

Funcionalidad resultante: Permite trazar mapas y analizar datos ráster y vectoriales basados en celdas obteniéndose información nueva resultante de los datos existentes. Permite localizar entidades que cumplen criterios a modelar procesos naturales como el flujo de agua sobre un terreno o utilizar estadística espacial para determinar un conjunto de muestras sobre un fenómeno. Permite visualizar datos por medio de gráficos estadísticas que permiten detectar patrones de tendencias en el tiempo.

CAPACIDAD VECTORIAL

Tratamiento de capas: permitió la superposición de capas y procesos básicos de unión, cortar, buffer, intersección y diferencia simétrica. En cuanto a la superposición topológica no presento exactitudes.

CAPACIDAD RASTER

Tratamiento de imágenes: Las imágenes ráster se podrán visualizar en 3D sin la necesidad de crear modelos digitales de elevación.

El tratamiento en este SIG permitió la conversión de las imágenes ráster, edición y digitalización, fue capaz de obtener topologías y reconstruirlas. Además, que permite la detección de errores.

Georreferenciación raster: la rectificación de las imágenes es un proceso fundamental en este SIG en donde se encuentran muchos tipos adquiriendo mayor capacidad para el manejo de elementos raster.

INTEROPERATIVIDAD

Soporte a formatos: soporta formatos Shapefiles (shp), archivos de texto (txt), archivos Excel (xls). Compatibilidad con cualquier archivo formatos ráster y vectorial, pero no soporta a archivos CAD.

Conexión a datos: Puede conectarse a servidores SIG como: WMS, DGN, DXF, DWG y ArcGIS for Server. Pero tiene sin operatividad las opciones de WFS Y WCS.

RENDIMIENTO

Fiabilidad: los procesos de vectorización y rasterización conllevan un proceso más complejo de tareas lo que conlleva más tiempo en el sistema.

Estabilidad: Las herramientas para la ejecución de los procesos de conversiones y funciones espaciales se ejecutaron en el menor tiempo posible y soporta gran cantidad de información sin generar interrupciones de las tareas.

GENERACION DE MAPAS

Usabilidad: La plantilla de mapa cuenta con una interfaz gráfica de herramientas fácil de implementar y un completo análisis de los resultados.

Vistosidad: ArcGIS presenta una configuración de capas muy variadas en cuanto a colores de relleno y temáticos, herramientas que permiten la integración de más de un mapa en la plantilla y leyendas que pueden ser modificadas. En cuanto al resultado final del mapa es un SIG que presenta herramientas que generan reportes de errores, introducir gráficos estadísticos y una resolución clara de la salida del mapa.

PORTABILIDAD

Documentos: Su documentación es una guía detallada del manejo de sus herramientas permitiendo la solución a posibles problemas.

Soporte: Presenta abundante información dentro de línea y un soporte mediante la herramienta ACERCA DE. Permite obtener ayuda por medio de su soporte técnico de ESRI o distribuidor local lo que da confiabilidad al no poder ser manipulado su código por un usuario común.

SIG COMERCIAL GLOBAL MAPPER 20.0

FUNCIONALIDAD BÁSICA

Configuración general de un proyecto: Existe la posibilidad de acceder a varias fuentes de imágenes en línea, mapas topográficos y datos DEM. Se pueden calcular curvas de nivel con limitaciones de hasta 1 metro y permite trabajar con 3D sin necesidad de ser un experto, sombreados personalizados, análisis de cuencas y curvas de nivel personalizadas. Cortes transversales de terreno mejor que cualquier otro SIG y definir claramente una red de drenaje. Un SIG con un conjunto variado de herramientas que al obtener la licencia se encuentran activadas y en orden para tareas específicas.

Interfaz gráfica: Tanto para profesionales en su uso como para principiantes, útil como complemento a otro SIG. Los elementos claves de la interfaz es su barra de herramienta, su menú y su propia ventana de mapas.

Manejo de capas: Global Mapper tiene ciertas limitaciones en el ingresar datos y posicionarlos en el mapa, sin embargo permite activar y desactivar columnas de atributos propuestas para el usuario, además de presentar una edición ilimitada de configuración de colores y fuentes mostrando un gran potencial.

ANALISIS ESPACIAL

Método de aplicación: Posee la capacidad de convertir, mostrar y analizar cualquier tipo de dato geoespacial sea en 3D o 2D con bases de datos espaciales de archivos ráster o vectoriales. La exactitud de longitudes fue muy exacta esto se constató en la delimitación de la cuenca hidrográfica y sus resultados.

Funcionalidad resultante: Al permitir editar, imprimir y el permitir el seguimiento con GPS permite a los usuarios el análisis espacial de primer orden, la detección de cambios de índice de vegetación, cuencas hidrográficas, análisis de terrenos, entre otros. Permite visualizar datos por medio de gráficos estadísticas que permiten detectar patrones de tendencias en el tiempo.

CAPACIDAD VECTORIAL

Tratamiento de capas: Datos vectoriales en 3D reales con la superposición de cualquier dato cargado sobre ella y su topología no posee errores. Permite procesos básicos de unión, diferencia simétrica, buffer, intersección y cortar capas.

CAPACIDAD RASTER

Tratamiento de imágenes: Posee funcionalidades ráster y la aplicación de calculadora ráster para extraer cualquier tipo de información en las imágenes multibandas. Las opciones ráster incluyen herramientas para establecer la transparencia, color y recorte para establecerla en otra.

El tratamiento en este SIG permitió la conversión de las imágenes ráster, edición y digitalización, siendo capaz de obtener topologías y reconstruirlas. Además, que permite la detección de errores.

Georreferenciación raster: La rectificación de las imágenes es un proceso fundamental en este SIG en donde se encuentran muchos tipos de rectificadores, adquiriendo mayor capacidad para el manejo de elementos raster.

INTEROPERATIVIDAD

Tiene soporte a formatos para modelos digitales de elevación 2, modelos de elevación digital 5, formatos de referencia de imagen 6, formatos de archivos de imagen 19, vectores 110 y para ráster 54.

Conexión a datos: Entre ellos a Esri ArcSDE, Esri File Geodatabase, Esri Personal Geodatabase, MS SQL Server, MySQL Server, ogc GeoPackage, PostgreSQL y Oracle Spatial

RENDIMIENTO

Fiabilidad: Tiene tiempos de respuestas normales, maneja grandes cantidades de información que conlleva en cargar un menor tiempo en la ejecución de esta tarea. Los procesos de vectorización y rasterización conllevan procesos más simples generando menos tiempo de respuesta.

Estabilidad: La conversión de archivos y funciones espaciales se generan en el menor tiempo posible.

GENERACION DE MAPAS

Usabilidad: La plantilla de mapa cuenta con una interfaz gráfica simple con muy pocas herramientas para ser implementadas.

Vistosidad: Global Mapper presenta una configuración de capas variada en cuanto a colores de rellenos y temáticos, modificación de leyendas, sin embargo, no permite la integración de más de un mapa en la plantilla. En cuanto al resultado final del mapa es un SIG que presenta herramientas para generar reportes de errores y no permite la introducción de gráficos estadísticos, pero se pudo constatar con los mapas generados que presenta una resolución clara de la salida de mapa y exporta todo lo visualizado en pantalla o a un lugar específico del mapa en cualquier formato.

PORTABILIDAD

Documentos: Su documentación es amplia presenta descrita las funciones de las herramientas además de visualizar imágenes permitiendo la solución a posibles problemas.

Soporte: Presenta abundante información dentro de línea y un soporte mediante la herramienta ACERCA DE. Permite obtener ayuda por medio de su soporte técnico o distribuidor local lo que da confiabilidad al no poder ser manipulado su código por un usuario común.

SIG LIBRE QGIS 2.18

FUNCIONALIDAD BÁSICA

Configuración general de un proyecto: Ofrece complementos de plugins que deben ser instalados al software, más no presentan un orden dependiendo la tarea que se quiera analizar y algunas herramientas presentan errores al ser instaladas.

Interfaz gráfica: Dispone de un menú de herramientas de fácil manejo amigables con el usuario al ser de código abierto y que pueden ser adaptadas a cualquier sistema operativo.

Manejo de capas: La edición y creación de capas puede generar algunos errores de exactitud por medio de puntos, polígonos y líneas.

ANÁLISIS ESPACIAL

Método de aplicación: dispone de muy pocas herramientas para realizar operaciones de densidades u operaciones a partir de imágenes satelitales debido a la poca organización en cuanto a herramientas, este SIG cuenta con un problema en cuanto a sus mapas bases dado que solo en su última versión tienen funcionamiento. La exactitud de longitudes no es tan exacta esto se constató en la delimitación de la cuenca hidrográfica y sus resultados.

Funcionalidad resultante: Permite visualizar datos por medio de gráficos estadísticas que permiten detectar patrones de tendencias en el tiempo.

CAPACIDAD VECTORIAL

Tratamiento de capas: Puede realizar cortes y modificaciones. No posee verificador topológico que pueda encontrar errores en una capa vectorial. Maneja los archivos vectoriales en formatos Shapefile, MapInfo, AutoCAD DXF y más.

CAPACIDAD RASTER

Tratamiento de imágenes: Las imágenes ráster se pueden cargar a modo de lectura desde archivos gzip y zip, cargándose más de una capa al mismo tiempo. Su tratamiento involucra aspectos como la conversión de las imágenes ráster, edición y digitalización, carece de herramientas capaces de obtener topologías y reconstruirlas, además que no permite la detección de errores.

Georreferenciación raster: la rectificación de las imágenes es un proceso que no cuenta con muchos tipos para el manejo de elementos raster.

INTEROPERATIVIDAD

Soporte a formatos: Soporta 69 formatos vectoriales, 100 formatos ráster y admite formatos CAD.

Conexión a datos: Tiene conexión con el servidor WMS, WCS y WFS, a bases de datos como PostgreSQL y PostGIS.

RENDIMIENTO

Fiabilidad: Tiene tiempos de respuestas normales, al manejar grandes cantidades de información conlleva una gran parte del tiempo en desarrollo. Los procesos de vectorización y rasterización conllevan procesos más simples generando menos tiempo de respuesta.

Estabilidad: La conversión de archivos y funciones espaciales se generan en el menor tiempo posible.

GENERACION DE MAPAS

Usabilidad: la plantilla de mapas cuenta con una interfaz gráfica variada en cuanto a herramientas fáciles de utilizar e integrar.

Vistosidad: QGIS permite elementos como etiquetados de textos, tablas de atributos, leyendas modificables, escalas e imágenes.

Permite la integración de varios mapas en la plantilla. En cuanto al resultado final del mapa este no presenta herramientas para generar reportes de errores y no permite la introducción de gráficos estadísticas, pero se pudo constatar que si presentan una resolución clara de la salida del mapa.

PORTABILIDAD

Documentos: Su documentación se encuentra presente en su página web mas no en la aplicación, una documentación clara y en español desglosado en el manejo de las herramientas.

Soporte: QGIS al ser de código abierto se encuentra en desarrollo constante, por lo cual no siempre funcionará como se piensa por ello presentan información en línea y un soporte mediante la herramienta ACERCA DE. Sin embargo, al ser de código abierto deja a disposición realizar cambios por parte de los usuarios lo que no genera confiabilidad.

SIG LIBRE GvSIG 2.4

FUNCIONALIDAD BÁSICA

Configuración general de un proyecto: Cuenta con herramientas para la edición y mantenimiento cartográfico, bases de datos espaciales, opción de creación de mapas y capaz de acceder a los formatos más comunes. Sin embargo, al ser de licencia libre deben de ser instalados debido a que no vienen integrados en el software y no presentan un orden dependiendo su función.

Manejo de capas: el manejo de capas en GvSIG permite activar y desactivar columnas de atributos propuesta para el usuario, pero por otro lado no permite el ingresar datos de posicionamiento en el mapa y una edición limitada de configuración de colores y fuentes.

Interfaz gráfica: El sistema cuenta con las herramientas necesarias para la representación geográfica de los datos.

ANALISIS ESPACIAL

Método de aplicación: Por medio de la herramienta SEXTANTE que es una biblioteca de herramientas de análisis espacial se pueden realizar análisis espacial. La exactitud de longitudes fue no es exacta esto se constató en la delimitación de la cuenca hidrográfica y sus resultados.

Funcionalidad resultante: Existen muchas más posibilidades de análisis espaciales en cuanto a los análisis hidrológicos, geo morfometría, análisis de relieve, análisis de imágenes, iluminación, interpolación e índices de vegetación. Permite visualizar datos por medio de gráficos estadísticas que permiten detectar patrones de tendencias en el tiempo.

CAPACIDAD VECTORIAL

Tratamiento de capas: Es un software con buenas capacidades vectoriales, permitiendo crear modificar debido a que cuenta con funciones básicas como unión, buffer, intersección, diferenciación simétrica y cortar capas. Pero posee errores en cuanto a topologías.

CAPACIDAD RASTER

Tratamiento de imágenes: El tratamiento permitió la conversión de las imágenes ráster, edición y digitalización, pero carece de herramientas capaces de obtener topologías, y reconstruirlas. En cuanto a la digitalización no cuenta con procesos de detección de errores.

Georreferenciación raster: Para realizar rectificaciones este SIG no cuenta con la presencia de muchos tipos por lo cual no se obtiene una capacidad óptima para el manejo de elementos raster.

INTEROPERATIVIDAD

Tiene soporte a formatos:

Ráster: ecw, ENVI hdr, ERDAS img, (Geo) TIFF, GRASS, NetCD entre otros.

Vectorial y CAD: shapefile, NetCDF, GML, KML, DGN, DXF, DWG, entre otros.

Conexión a datos: permitió conexiones con WMS y WMTS, WFS, WCS y bases de datos como PostGIS, MySQL, Oracle y ArcSDE.

RENDIMIENTO

Fiabilidad: Tiene tiempos de respuestas normales, no maneja grandes cantidades de información por lo cual se generan muchos errores de carga. Los procesos de vectorización y rasterización conllevan procesos más simples generando menos tiempo de respuesta.

Estabilidad: La conversión de archivos y funciones espaciales se generan en el menor tiempo posible.

GENERACION DE MAPAS

Usabilidad: la plantilla de mapas no cuenta con una interfaz gráfica variada en cuanto a herramientas.

Vistosidad: GvSIG presenta una configuración de capas variada en cuanto a colores de relleno y temáticos, herramientas que permiten la integración de más de un mapa en la plantilla, sin embargo, la leyenda no puede ser modificada. En cuanto al resultado final del mapa es un SIG que presenta herramientas que generan reportes de errores, ni el análisis de gráficos estadísticos y una salida de mapa con una resolución muy baja.

PORTABILIDAD

Documentos: GvSIG al ser de código abierto estará en desarrollo constante, por lo cual no siempre funcionará como se piensa. Su documentación no es muy detallada y no presenta ayuda dentro de la herramienta.

Soporte: Presentan información en línea y un soporte mediante la herramienta ACERCA DE. Sin embargo, al ser de código abierto dispone de cambios por parte de su grupo de desarrolladores lo que genera confiabilidad.

Tabla 7.

Evaluación de parámetros a SIG comerciales y libres

PARAMETRO	FACTOR	INDICE	INDICADORES	SIG COMERCIALES				SIG LIBRES				
				ARCGIS		GLOBAL MAPPER		QGIS		GVSIG		
Funcionalidad básica	Configuración general	Georreferenciación del proyecto	Sistema de coordenadas	1	11	1	10	1	9	1	8,5	
		Personalización de herramientas	Configuración de herramientas	1		1		0		0		
			Incorporación y movilidad	1		1		1		1		
	Interfaz gráfica	Opciones de creación	Menú principal	1		1		1		1		1
			Menú contextual	1		1		1		1		
	Manejo de capas	Herramientas de manejo de capas	Componentes de rasterización	1		1		1		1		1
			Componentes de vectorización	1		0,5		0,5		0,5		
			Dibujo de objetos	1		0,5		1		1		
			Selección y movimiento	1		1		1		1		
		Opciones de manejo de tablas de atributos	Tipos de datos	1		1		0,5		0,5		
			Edición de esquema	1		1		1		0,5		
	Análisis espacial	Método de aplicación	Funciones de análisis espacial	Exactitudes de longitudes		1		1		1		0,5
MDE				1	1	1	0					
Aplicación a estadística				1	1	1	0					
Funcionalidad resultante		Manejo de resultados	Características de capas resultantes	1	4	1	4	0,5	3	0,5	1	

Capacidad vectorial	Tratamiento de capas		Superposición topológica	1	2	1	2	0,5	1,5	0,5	1,5
			Herramientas de geoprocetamiento	1		1		1			
Capacidad raster	Tratamiento de imágenes	Proceso raster	Conversión de imagen raster	1	4	1	4	0,5	2	0,5	2
			Digitalización	1		1		0,5			
			Edición raster	1		1		0,5			
	Georreferenciación raster	Rectificación raster	Tipos de rectificación	1		1		0,5			
Interoperabilidad	Soporte a formatos	Compatibilidad de formatos	Formatos a raster	1	3,5	1	5	1	5	1	5
			Formatos SIG	1		1		1			
			Formatos CAD	0		1		1			
		Formas de enlace a web	Bases de datos	1		1		1			
		Accesos a servicios web	Servicios web de mapas	0,5		1		1			
Rendimiento	Fiabilidad	Procesos del sistema	Tiempo de carga de archivos	1	3,5	1	4	0,5	3	0,5	3,5
			Tiempo de respuesta de vectorización/rasterización	0,5		1		1			
	Estabilidad	Ejecución y uso de procesos	Funciones espaciales básicas	1		1		0,5			
			Conversión de archivos	1		1		1			
Generación de mapas	Usabilidad	Interfaz de herramientas	Utilidad	1	6	0,5	5	1	4,5	0,5	4,5
			Facilidad de aprendizaje	1		1		1			
	Vistosidad	Configuración de capas	Colores y rellenos	1		1		1			
			Decoración	1		0,5		1		0,5	
		Mapa	Reportes	1		1		0		1	
			Resultados	1		1		0,5		0,5	

Documentación y soporte	Documentos	Ayuda	Documentación técnica	0,5	2,5	1	3	0,5	1,5	0,5	2
			Ayuda en línea	1		1		0,5		0,5	
	Soporte	Información herramienta	Acerca De	1		1		0,5		1	
RESULTADO				36,5		37		29,5		28	

FUNCIONALIDADES BÁSICAS

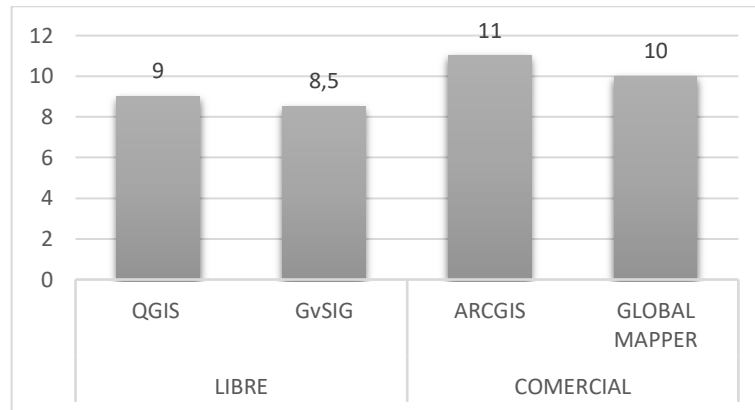


Figura 2. Funcionalidad de los SIG Comerciales – Libres

Las funcionalidades básicas de los SIG comerciales presentan diferencias en comparación con los SIG de licencia libre, ARCGIS al poseer un componente como lo es ArcToolBox engloba un conjunto de herramientas de forma ordenada específicamente para cada actividad, de igual manera Global Mapper presenta funcionalidades múltiples para cualquier actividad, en comparación con los SIG libres entre ellos QGIS y GvSIG que ofrecen herramientas que deben ser añadidas en función del usuario (Fig. 2).

ANÁLISIS ESPACIAL

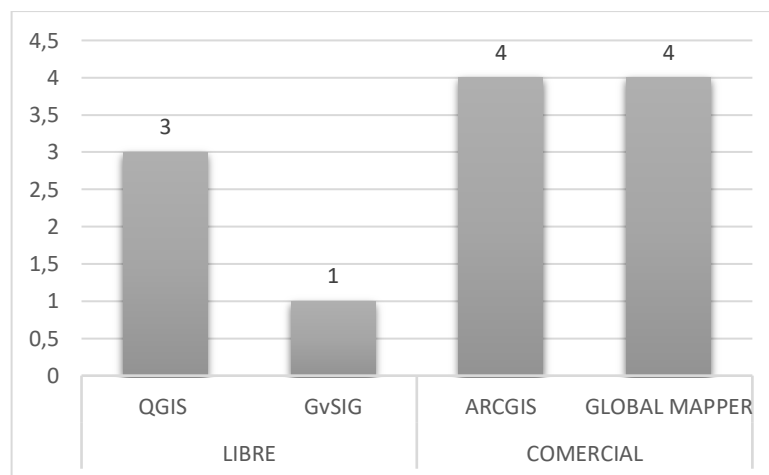


Figura 3. Análisis espacial de los SIG Comerciales – Libres

Al comparar el análisis espacial se pudo determinar que el conjunto que conforman los SIG comerciales presentan una gran eficiencia en cuanto a las herramientas y el manejo para imágenes satelitales, coordenadas geográficas y el geoprocesamiento, siendo ArcGIS y Global Mapper los que mayor orden presento en sus herramientas en cuanto al

análisis espacial; a diferencia de los SIG libres en donde QGIS presenta sus beneficios que involucran estos procesos, sin embargo Gvsig cuenta con menos variedad de herramientas para este proceso (Fig. 3).

CAPACIDAD VECTORIAL

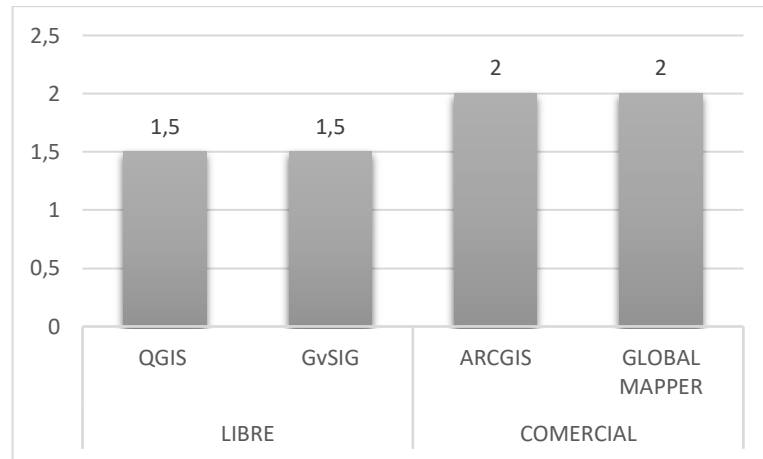


Figura 4. Capacidad Vectorial de los SIG Comerciales – Libres

Al comparar la capacidad vectorial se determinó que tanto los SIG comerciales como los de licencia libre presentan un conjunto de herramientas para manipular y analizar datos vectoriales, sin embargo los SIG libres presentan errores en la superposición topológica (Fig. 4).

CAPACIDAD RASTER

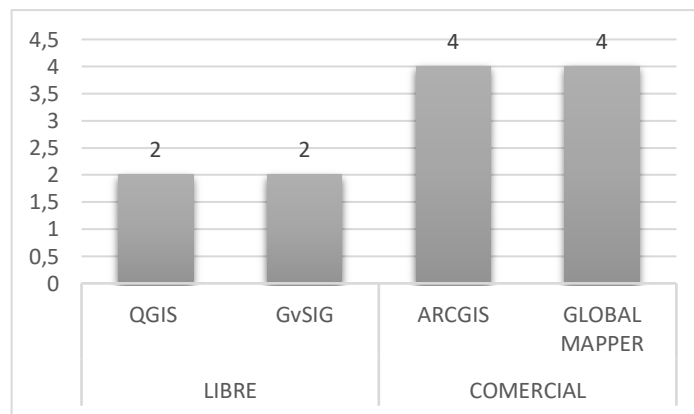


Figura 5. Capacidad raster de los SIG Comerciales – Libres

Para tratar imágenes de capacidad raster involucra la edición, manipulación y conversión de imágenes raster, por lo cual al hablar de QGIS y GvSIG siendo SIG de licencia libre, al convertir imágenes carecen de herramientas que faciliten la conversión y reconstrucción de estas, de igual manera la falta de diagnosticar errores en imágenes raster a diferencia de ARCGIS, Global Mapper que no presentaron tales diferencias en cuanto a las herramientas de raster (Fig. 5).

INTEROPERABILIDAD

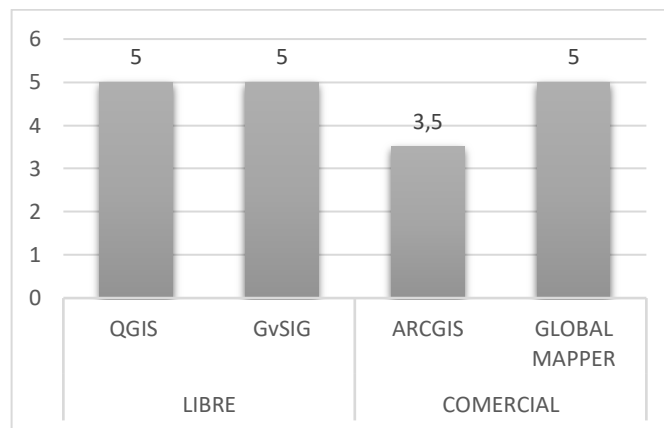


Figura 6. Interoperabilidad de los SIG Comerciales – Libres

Al hablar de la interoperabilidad nos referimos a la interacción de los SIG con otros sistemas de bases de datos y el acceso a servicios web, por lo tanto, al realizar la comparación con los diferentes SIG tanto libres como comerciales se estableció que existe similitud en cuanto a la conexión con servicios web, sin embargo ArcGIS siendo un SIG comercial carece de conexión con formatos CAD. (Fig. 6).

RENDIMIENTO

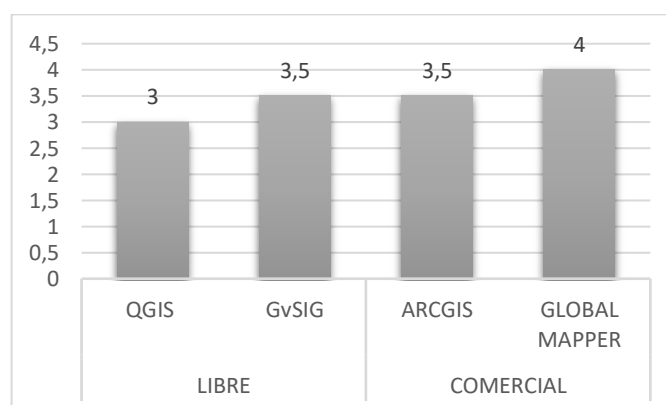


Figura 7. Rendimiento de los SIG Comerciales – Libres

En cuanto al rendimiento al ejecutar una tarea, los SIG de licencia libre tardan menos tiempo en brindar una respuesta a una tarea de vectorización y rasterización porque se realizan menos procesos, sin embargo tienden a no solucionar procesos de mayor complejidad (Fig. 7).

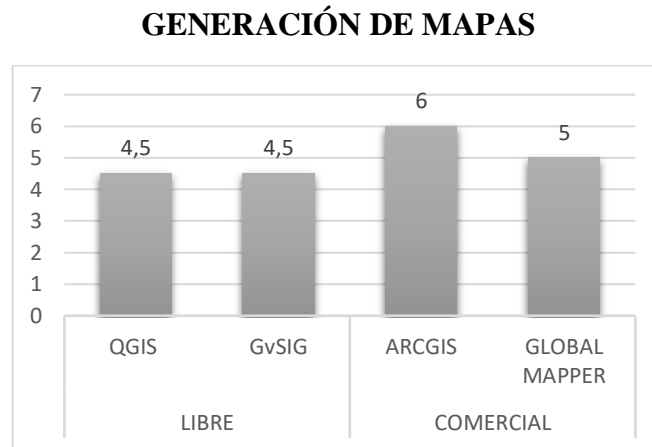


Figura 8. Generación de mapa de los SIG Comerciales - Libres

En cuanto a la generación de mapas todos los SIG seleccionados presentan su propia plantilla para crear mapas e igual facilidad de manejo, sin embargo, se determinó que ArcGIS y presenta mayor viscosidad y opciones al momento de generar mapas y presentar un diagnóstico de errores antes de ser impresos (Fig. 8).

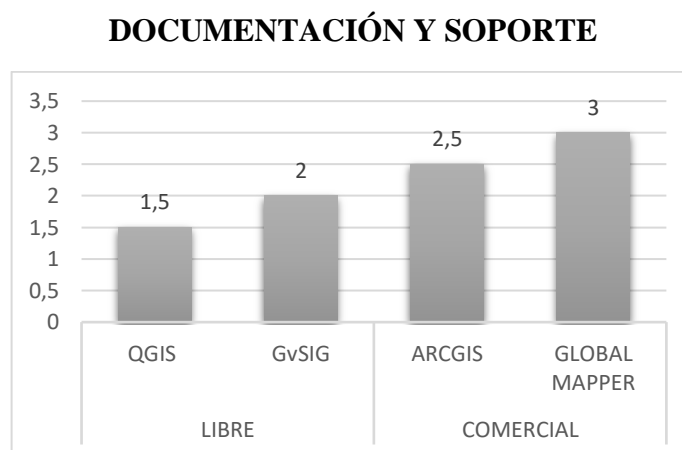


Figura 9. Documentación y soporte de los SIG Comerciales – Libres

En cuanto a la documentación y soporte de los distintos SIG seleccionados, Arcgis y Global Mapper siendo SIG comercial presentaron ayuda en línea, a diferencia de los SIG

de licencia libre que al no poseer un solo proveedor no brindan ayuda en línea, sin embargo, estos SIG presentan gran cantidad de información en la web (Fig. 9).

RESULTADO FINAL

Tabla 8.

Resultado final de comparaciones de SIG de licencia comerciales y libres

	PESO	QGIS	GvSIG	ARCGIS	GLOGAL MAPPER
FUNCIONALIDAD	11	9	8,5	11	10
ANALISIS ESPACIAL	4	3	1	4	4
CAPACIDAD VECTORIAL	2	1,5	1,5	2	2
CAPACIDAD RASTER	4	2	2	4	4
INTEROPERATIBILIDAD	5	5	5	3,5	5
RENDIMIENTO	4	3	3,5	3,5	4
GENERACION DE MAPAS	6	4,5	4,5	6	5
DOCUMENTACION Y SOPORTE	3	1,5	2	2,5	3
TOTAL		29,5	28	36,5	37

Una vez analizado los parámetros evaluados de los SIG comerciales y de licencia libre se obtuvieron los resultados finales, en cuanto al conjunto de los SIG comerciales ArcGIS y Global Mapper presentaron la mayor puntuación con un 36,5 y 37 respectivamente, en comparación con los SIG libres QGIS y GvSIG que presentaron una menor puntuación con un 29,5 y 28 respectivamente respecto al cumplimiento total de sus indicadores (Tabla 8).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

El uso de los SIG para el análisis del medio ambiente es de gran importancia tanto para el manejo sustentable de los recursos naturales, gestión territorial y en general para estudios medioambientales dado que permiten el gran manejo de información⁽²⁹⁾. El vínculo de este tipo de software y sus herramientas pueden evitar la degradación de cualquier espacio en un territorio, principalmente por los efectos y causas de las actividades que realiza el ser humano afectando directamente el suelo, su vegetación, su flora y fauna, por lo tanto su biodiversidad.⁽¹⁾

Entre los resultados más relevantes referentes al primer objetivo sobre las características de los sistemas de información Geográficos, se pudo definir que los SIG comerciales obtuvieron mejores resultados englobando características sumamente importantes a diferencia de los SIG libres que obtuvieron menores resultados. Ante esto Mesa⁽¹⁷⁾, afirma en su estudio comparativo entre un SIG propietario (Geomedia PRO) y un SIG libre (GvSIG) que de acuerdo a los parámetros de la ISO 9126 evaluando sus aspectos destacables, se reflejó que el SIG comercial obtuvo una valoración excelente dada su experiencia y estabilidad, a diferencia del SIG libre (GvSIG) que por su poco tiempo en el mercado es calificado con inestabilidad de sus herramientas. Existiendo falta de liderazgo al crear un SIG libre que están repitiendo los mismos éxitos y fracasos de otros, sin basarse en la experiencia que presentan las herramientas de los SIG comerciales.

Otro de los objetivos planteados en el presente estudio fue definir las ventajas que poseen un SIG propietario en comparación con un libre, obteniendo como resultados que los SIG comerciales brindan un soporte seguro, siendo una desventaja para los SIG de licencia libre que no ostentan un soporte técnico seguro, además de la poca información del manejo de sus herramientas. Por otro lado Monge *et al.*⁽³⁰⁾, ha demostrado que los SIG comerciales tienen más ventaja y experiencia en comparación con los SIG libres en temas de geoprocésamiento de datos, entre ellos ArcGIS que ha demostrado ser el SIG más utilizado a nivel mundial por sus múltiples funciones. Se debe resaltar que a lo largo de los años los SIG comerciales presentan una desventaja que ha sido su alto valor de licencia. Mesa⁽¹⁷⁾, indica que el alto valor de las licencias de los SIG comerciales es rentable para las medianas y grandes empresas, sin embargo, para acaparar estos costos existe otro tipo de licencia para instituciones académicas que es más rentable. Pero de

acuerdo a los resultados obtenidos se debe establecer que los SIG no se definen a partir de sus costos sino por lo principal que son sus funcionalidades.

Los SIG proporcionan información detallada de un determinado espacio, desde los principales datos de un problema referente al medio ambiente hasta el posterior análisis que conducen a las causas del problema.⁽³¹⁾ Referente al objetivo direccionándonos a la práctica de los GIS y sus herramientas en cuanto a cinco estudios ambientales de la provincia de Esmeraldas, la delimitación de una cuenca hidrográfica con herramientas de GvSIG (SIG Libre) mostro más deficiencia por el tiempo de respuesta y la calidad del mapa. Castro⁽²⁰⁾, en su estudio para la obtención de una cuenca hidrológica con la implementación de herramientas de SIG libres comparado a uno comercial, señaló que los SIG comerciales tanto sus gráficos y herramientas son más amigables y entendibles, por otro lado, los resultados son genéricos, pero se demostró en el resultado final una mejor calidad detallada con el SIG comercial. Las delimitaciones de cuencas hidrográficas tienen la finalidad de representar una red de drenajes dirigidos a un único punto de salida y con ello una superficie de suelo representada por vegetación y biodiversidad. Para Geraldi *et al.*⁽³²⁾, la finalidad de delimitar una cuenca es constatar las alteraciones que surgen con el tiempo por las actividades del hombre, a partir de este punto pensar en un plan de gestión tomando en cuenta sus características naturales y el plan de restauración que se llevaría a cabo.

Mediante los SIG se pudo determinar el uso de suelo de la Provincia de Esmeraldas permitiendo evaluar el cambio que ha surgido en la superficie por modificaciones en el paisaje, atribuidas a las actividades del hombre como la agricultura, ganadería, acuicultura, entre otros factores; afectando directamente a la biodiversidad endémica de un ecosistema, demostrando que existe una disminución de los bosques en la actualidad debido al aumento de las tierras agropecuarias. Ante esto en la presente investigación se pudo determinar que no existen diferencias significativas en cuanto a la obtención del análisis de cambio y uso del suelo, por ello Schweitser & Farinelli⁽³³⁾, señalan en su estudio de análisis del uso de suelo en la delegación Municipal de Argentina, que las herramientas y técnicas son de mucha importancia para este tipo de análisis debido que un SIG que permite integrar una base de datos con información geográfica facilita el manejo, análisis e identificar las modificaciones que ocurren dentro de un periodo de tiempo.

Dentro de este apartado la modelación de un previo de Esmeraldas se pudo observar mejores resultados con los SIG comerciales, dada la desventaja que los SIG libres presenta problemas para modelaciones de terrenos. Entre ellos Global Mapper (SIG comercial) presenta variedad de herramientas para modelación y topología de terrenos. Un SIG que fue desarrollado para presentar potencialmente modelaciones de terreno y topografía, un SIG que no se ha desviado de su función de elevaciones, incluyendo un trabajo de delimitación y análisis de cuencas, curvas de nivel, cálculo de áreas, cartografía entre otras.⁽³⁴⁾

Por otra parte, en estudios ambientales se planteó determinar la temperatura y la precipitación del territorio de la Provincia de Esmeraldas, por medio de los SIG seleccionados no existió diferencias significativas en cuanto a las herramientas para obtener estos resultados en este tipo de estudios ambientales. Por ello Sendra & García⁽³⁵⁾, planteó en su estudio de comparativas de SIG para planes de ordenamiento territorial ecológico la aplicación de GvSIG en este tipo de estudios, además señalando que los resultados de comparación obtenidos de un SIG dependen del tipo de aplicabilidad y con ello de las funcionalidades que necesitan.

Finalmente, se puede considerar que la elaboración de este tipo de estudios de caso ambientales aplicando herramientas de los software de Sistemas de información Geográfica son claves para una adecuada gestión de un determinado territorio, dando a conocer los diferentes recursos con los que cuenta la provincia de Esmeraldas y las condiciones en las que se encuentra por medio de las múltiples herramientas evaluadas, con el fin de obtener resultados viables, demostrando que una comparación de SIG comerciales para estudios ambientales presentaron mayores ventajas en cuanto a sus características, sin embargo existen diferentes aplicabilidades por las cuales deben ser valorados y en cuales se obtuvo resultados similares al poseer herramientas que cumplen con el objetivo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Los SIG en la actualidad han demostrado ser importante para el manejo de la conservación, regularización y restauración de un determinado territorio para la protección del medio ambiente.
- Los SIG comerciales de acuerdo a la investigación realizada presentaron mayor fiabilidad y rentabilidad basada en los parámetros de evaluación de software presentando una mayor interoperabilidad, generación de mapa, funcionalidad, capacidad y análisis en cuanto a las características de sus herramientas.
- Los SIG libres de acuerdo al poco tiempo posesionado en el mercado han sido calificados con inestabilidad de sus herramientas.
- De acuerdo a los casos ambientales desarrollados en el presente estudio con SIG comerciales y libres se pudo determinar que los SIG deben ser valorados por su aplicabilidad y las funcionalidades que requieren, al demostrar que en determinados estudios ambientales un SIG presenta mejores características a diferencia de otros.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- En Ecuador no se han registrado estudios de comparación de SIG en cuanto a casos de estudios Ambientales, a pesar de ser importante para el manejo de la conservación, regularización y restauración de un determinado territorio. Por tanto, es necesario que se realicen más estudios de comparación de Sistemas de información Geográfica que englobe una variedad de Software tanto comerciales como de licencia libre.
- Se recomienda realizar estudios de casos ambientales con otras opciones de Software SIG que demuestren que ventajas y desventajas presentan al ser utilizados para este tema en específico.
- También considerando la metodología utilizada de la ISO 9126 para determinar características de los Software, se recomienda aplicarla para posteriores estudios, debido que es de fácil aplicación y se ha obtenido una mejor comprensión de los resultados y con ello conclusiones más precisas.
- Al conocer los resultados obtenidas mediante esta investigación, se recomienda utilizarla para determinar que SIG entre las opciones de licencia libre o comerciales son aplicable en un posterior estudio ambiental a realizar.
- Dentro de la investigación realizada existieron ciertas limitaciones para la obtención de las licencias de los SIG comerciales y el manejo de sus herramientas por eso es recomendable obtener conocimientos previos para su manejo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Perevochtchikova M. La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*. 2013;22(2):283–312.
2. Puebla JG. Sistemas de Información Geográfica: funcionalidades, aplicaciones y perspectivas en Mato Grosso do Sul. *Interações (Campo Gd)*. 2016;1(1).
3. Piñeiro FJG. Los sistemas de información geográfica: su importancia y su utilidad en los estudios medioambientales. *Vasconia*. 2018;(20).
4. Hernández JCM, González FMC, Farfán-Molina LM, López VMC. Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Rev Colomb Biotecnol*. 2016;18(1):7–16.
5. JIMÉNEZ BERNI JA, AGUILERA UREÑA M. Alternativas de software libre a los sistemas de información geográfica comerciales. Sevilla, España Obtenido [http://www Cart org/geodoc/ingegraf2005/gis10 pdf](http://www.Cart.org/geodoc/ingegraf2005/gis10.pdf). 2005;
6. Hernández CM, Marinas ADI, Resina JPP, Cuesta CF. El uso de SIG de software libre en una práctica de Biología y Geología de 4º de ESO: los ecosistemas. *Didáctica las ciencias Exp y Soc*. 2016;(30):103–16.
7. Mejía Pesántez AJ. Implementación de una arquitectura SIG corporativa basada en software libre y estándares para la Municipalidad de Cuenca-Ecuador. Quito, 2012.; 2012.
8. BASTERRA MINI, VALIENTE MsMA, MASSAT TSA, NEIFF TM. Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Gestión Ambiental en Internet: la experiencia de la Universidad Nacional del Nordeste. 2011;
9. Chasiguasin V, Angélica M. Diseño de un modelo de evaluación para la comparación del software libre GVSIG VS., software propietario ARCGIS empleando indicadores. *SANGOLQUI/ESPE/2011*; 2011.
10. Santos Preciado JM. Sistemas de información geográfica. 2014;460. Available from: http://cataleg.urv.cat/record=b1410462~S13*cat
11. Tardivo R. Georreferenciación, modelización de datos y sistemas de información geográfica. 2010;1–24.

12. Sastre P. Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad. Inst Geológico y Min España, Madrid, España. 2010;
13. Méndez D. Adquisición y tratamiento de datos geográficos, mediante la aplicación de estándares y uso de software libre, que generen datos apropiados para la puesta en marcha de un Sistema de Información Geográfico Turístico, orientado a resolver consultas vía Web (. Recuper <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2310>. 2012;
14. Olaya V. Sistemas de información geográfica. Cuad Int Tecnol para el Desarro Humano, 2009, núm 8. 2009;
15. Megías D, Pérez-Navarro A, Bain M. Introducción al software libre en general ya los SIG libres en particular. I Jornadas SIG Libr. 2016;1–25.
16. Rodríguez GS. El software libre y sus implicaciones jurídicas. Rev derecho. 2008;(30):164–9.
17. Mesa Díaz JR. Estudio comparativo entre SIG propietario y SIG libre. 2008;
18. Gilavert Margalef J, Puig i Polo C. Estudio comparativo de herramientas SIG libres aplicadas a contextos de cooperación al desarrollo. II Jornadas de SIG Libre. 2008;1–13.
19. Gonzalez JS, Castellanos GC. Comparison of GIS desktop tools for development of SIGPOT. IEEE Lat Am Trans. 2013;11(1):86–90.
20. Benavides BC. OBTENCIÓN DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE COMERCIAL “ARCGIS Y EL USO DE UN SOFTWARE LIBRE “SAGA”. CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO DE PORCESITO, ANTIOQUIA. 2017;1–19.
21. Constituyente EA. Constitución de la República del Ecuador. 2008;
22. del Ambiente CO. Código Orgánico del Ambiente. Regist Of N. 2017;983.
23. de la Economía Social CO, de los Conocimientos C. Innovación.(2016). Código Orgánico la Econ Soc los Conoc Creat e Innovación.
24. Electrónico G. Plan Nacional de Gobierno Electrónico. Obtenido <http://www.gobiernoelectronico.gob.ec>. 2015;

25. Desarrollo SN. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida. Obtenido de [http://www.planificacion.gob.ec/el-plan-nacional-de ...](http://www.planificacion.gob.ec/el-plan-nacional-de-...); 2017.
26. Rodríguez MCM, Cabrera IP. Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *Enfermería Univ.* 2007;4(1):35–8.
27. Echavarría JDL, Gómez CAR, Aristizábal MUZ. El método analítico como método natural. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas.* 25 (1): 327-353, 2010. Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense de Madrid; 2014.
28. de Esmeraldas GADP. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Esmeraldas 2015–2025. Esmeraldas: GADPE-Prefectura de Esmeraldas. Obtenido el; 2015.
29. Gómez H. Sistemas de Información Geográfica, uso, técnicas y múltiples aplicaciones. *Geoenseñanza.* 2016;11(1):3–4.
30. Monge LÁ, Torres JP, López LE, Navarro CX. Análisis comparativo de servidores de mapas. *GeoFocus Rev Int Cienc y Tecnol la Inf Geográfica.* 2010;(10):1–10.
31. Olaya V. Sistemas de Información Geográfica libres y geodatos libres como elementos de desarrollo. *Cuad Int Tecnol para el Desarro Humano*, 2009, núm 8. 2009;
32. Geraldi AM, Piccolo MC, Perillo GME. Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. 2011;
33. Schweitzer AMS, Farinelli MLR. Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. *Cuad Geogr Rev Colomb Geogr.* 2014;23(1):133–46.
34. García-Rodríguez M, Antón L. Aplicación de SIG para la caracterización hidrogeológica de sistemas dunares (Erg Chebbi, Marruecos). *Estud Geográficos.* 2014;75(277):575–96.
35. Sendra JB, García RC. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. In: *Anales de Geografía de la Universidad complutense.* 2015. p. 49.

ANEXOS

Cambio y uso de suelo de la Provincia de Esmeraldas

La Provincia de Esmeraldas al pasar los años ha experimentado un drástico cambio en cuanto a su cobertura y uso del suelo, dos años de referencia que se han tomado en el presente estudio es la variación y cobertura de bosque entre el 1990 y el 2016, en los cuales se puede observar que en el 1990 se obtuvo un porcentaje del 57,7% en comparación al 2016 en el cual ha disminuido al 42,3%. Sin duda alguna estas estadísticas se deben a causa a que en el 2016 aumento al 69,5% las tierras agropecuarias (Fig. 10,11).

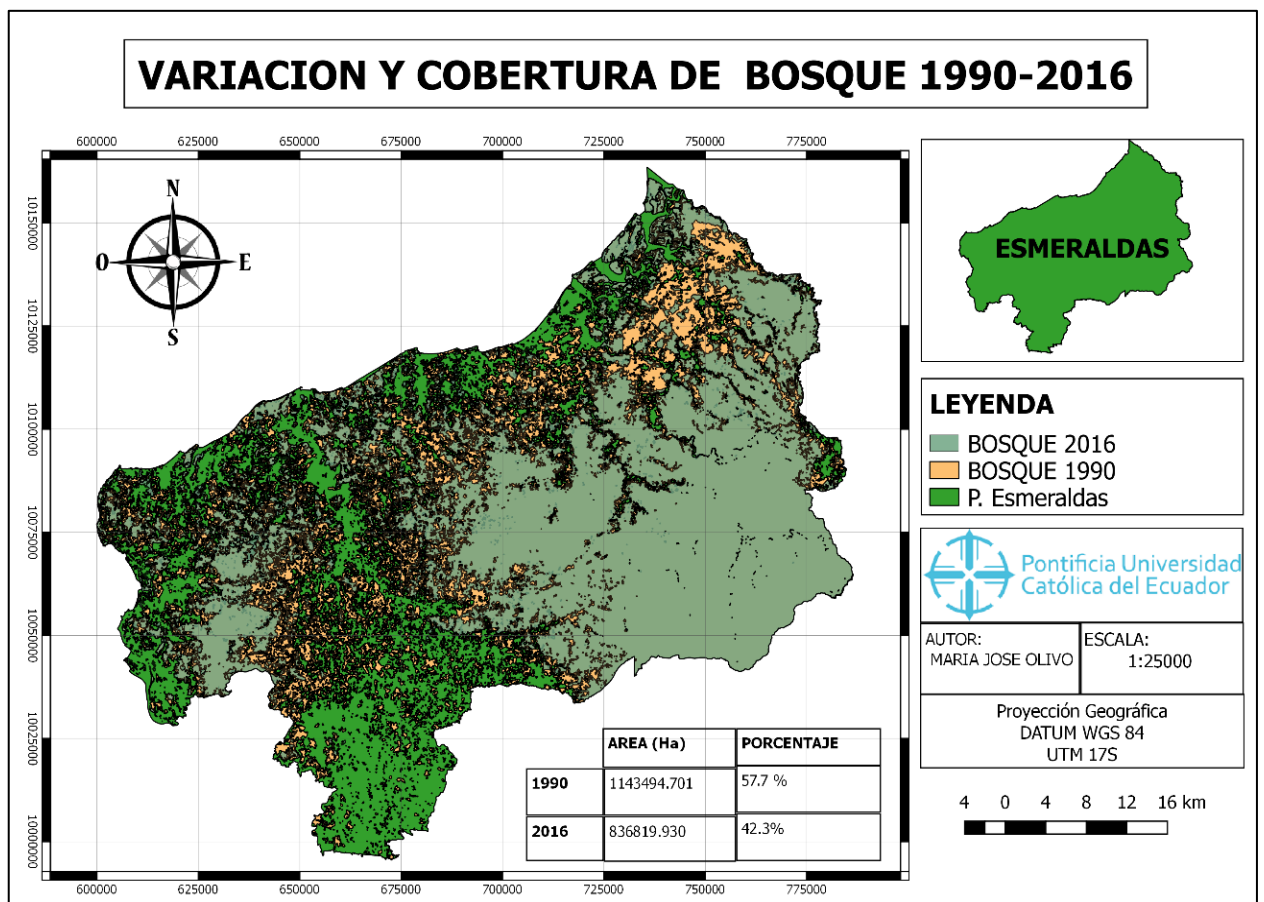


Figura 10. Mapa de variación de bosque de la provincia de Esmeraldas

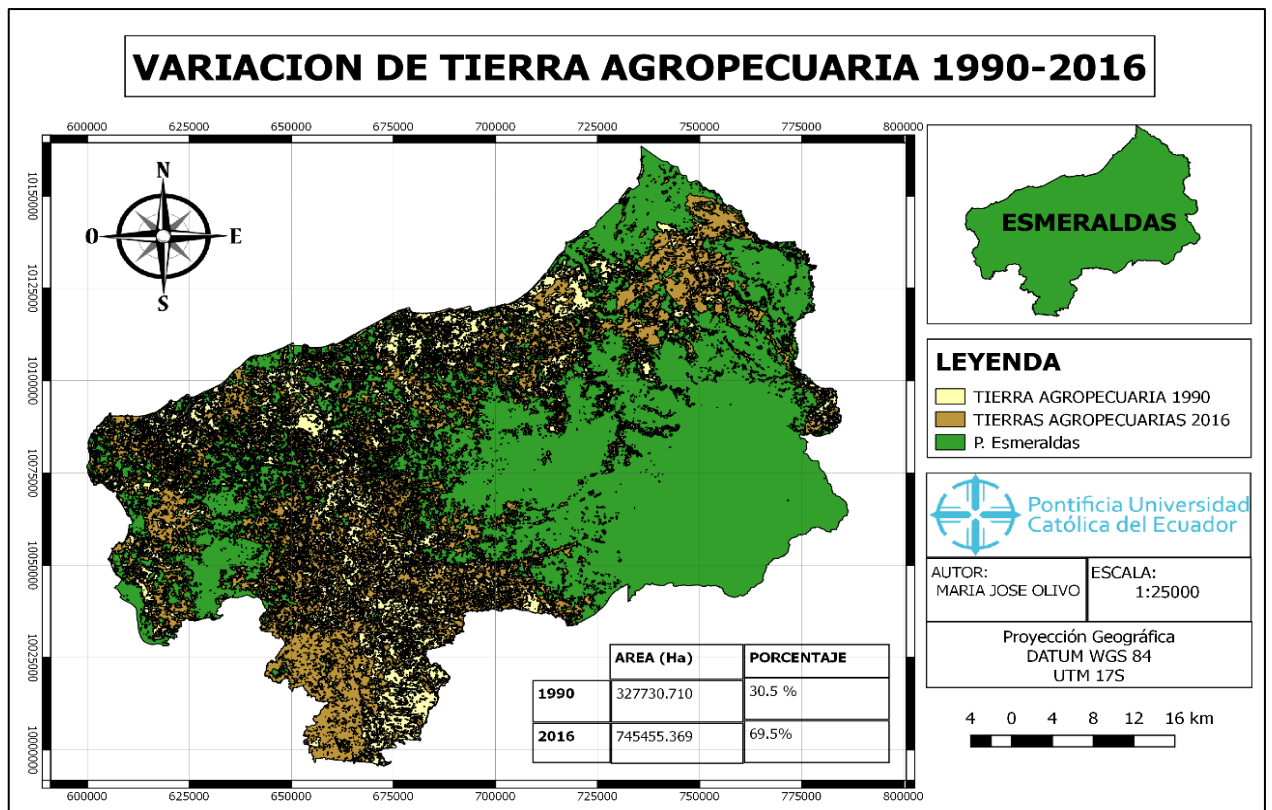


Figura 11. Mapa de variación de tierra agropecuaria de la Provincia de Esmeraldas

La figura 12 y 13 establece que la cobertura y uso de suelo que posee la provincia de Esmeraldas plasmada mediante herramientas de Qgis ha presentado una resolución clara de la imagen, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, escalas visibles y la leyenda puede ser modificada.

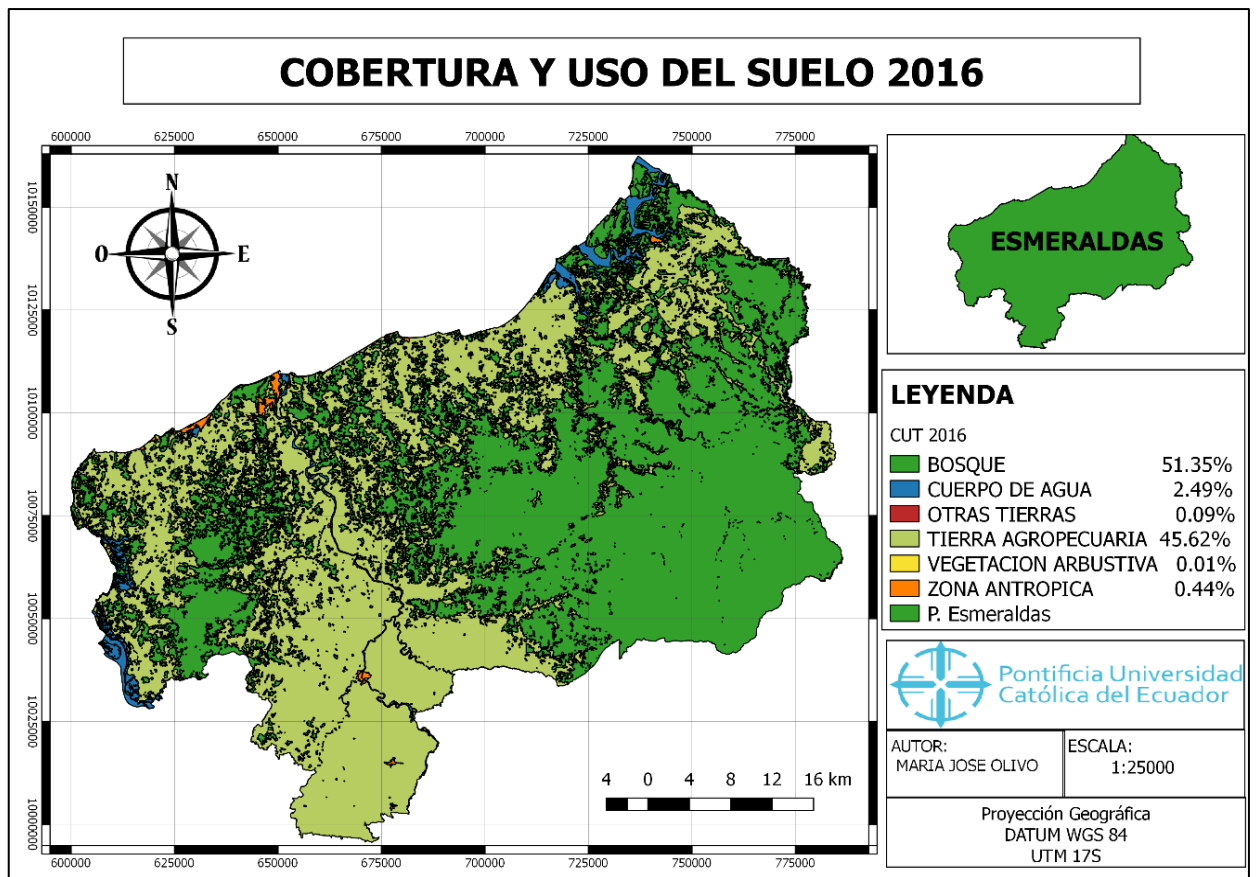


Figura 12. Mapa en QGIS de cobertura y uso de Suelo de la Provincia de Esmeraldas 2016

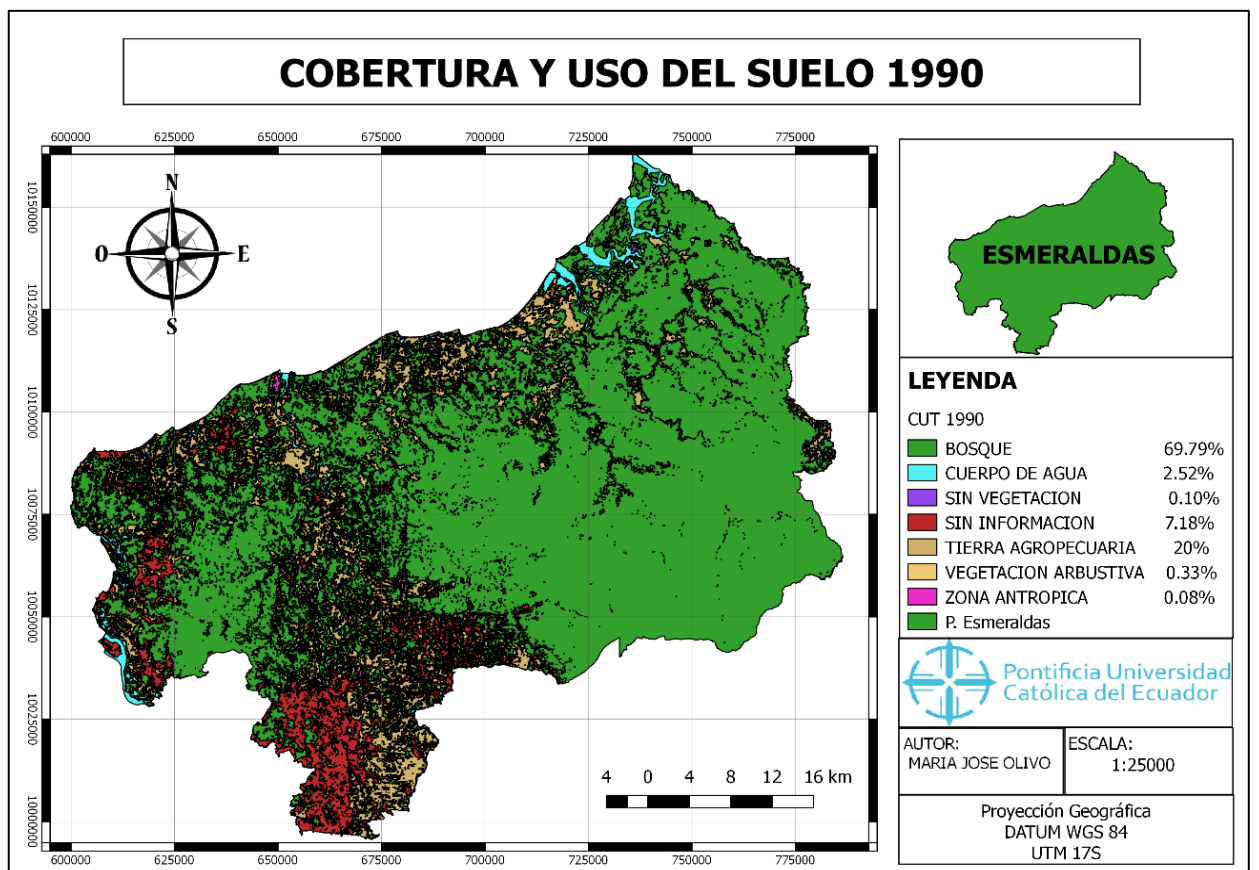


Figura 13. Mapa en QGIS de cobertura y uso de suelo de la Provincia de Esmeraldas 1990

La figura 14 establece que la cobertura y uso de suelo que posee la provincia de Esmeraldas plasmada mediante herramientas de Arcgis ha presentado una resolución clara de la imagen, sin embargo no diferencia las capas de uso de suelo comparando dos años, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, escalas visibles y una leyenda que puede ser modificada.

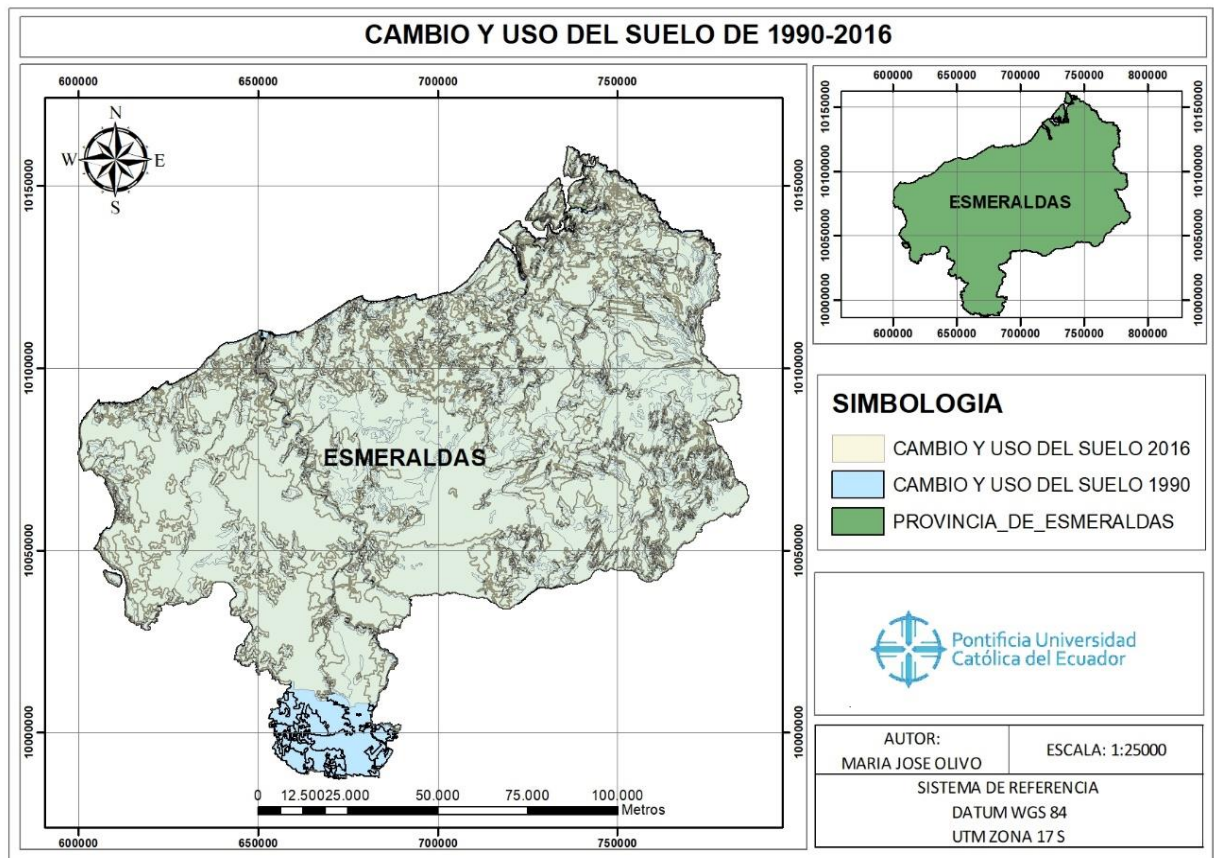


Figura 14. Mapa en ARCGIS de cambio y uso de suelo 1990-2016

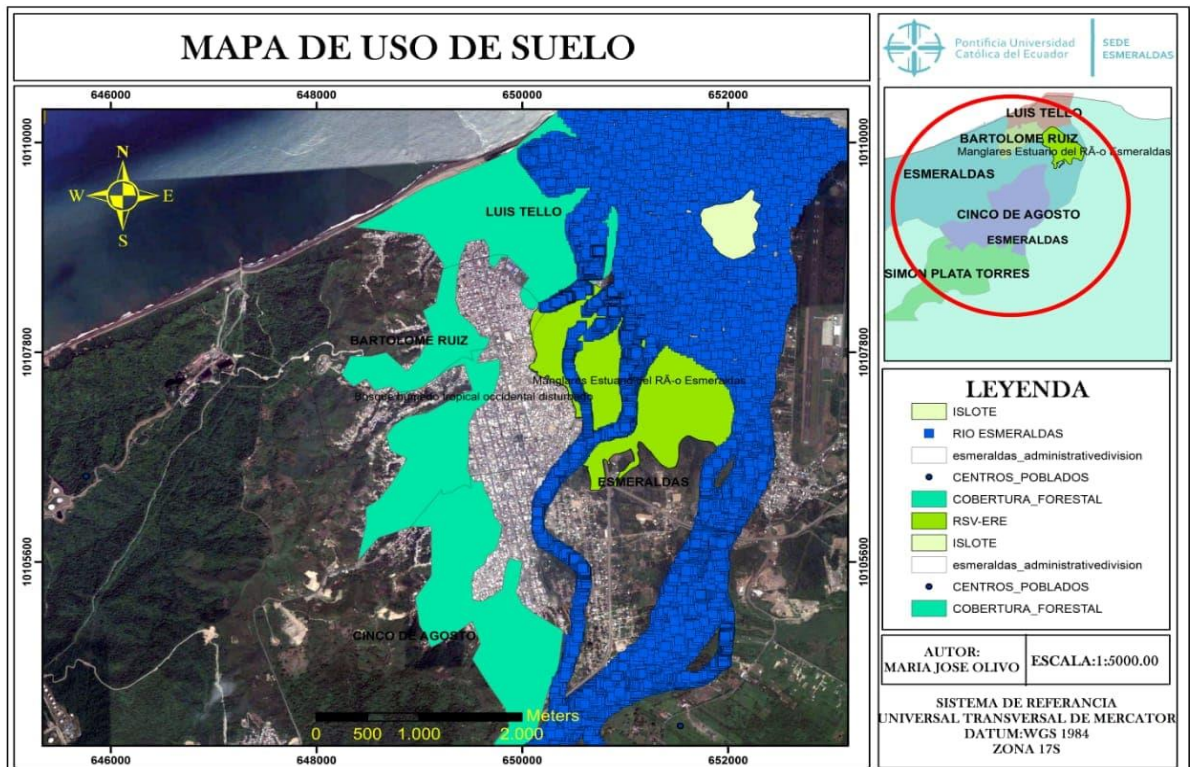


Figura 15. Mapa en ARCGIS de uso de suelo Provincia de Esmeraldas

La figura 16 establece que la cobertura y uso de suelo que posee la provincia de Esmeraldas plasmada mediante herramientas de GvSIG ha presentado una resolución no clara de la imagen, sin embargo no diferencia las capas de uso de suelo comparando dos años, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, una escala poco visible y una leyenda que puede ser modificada.

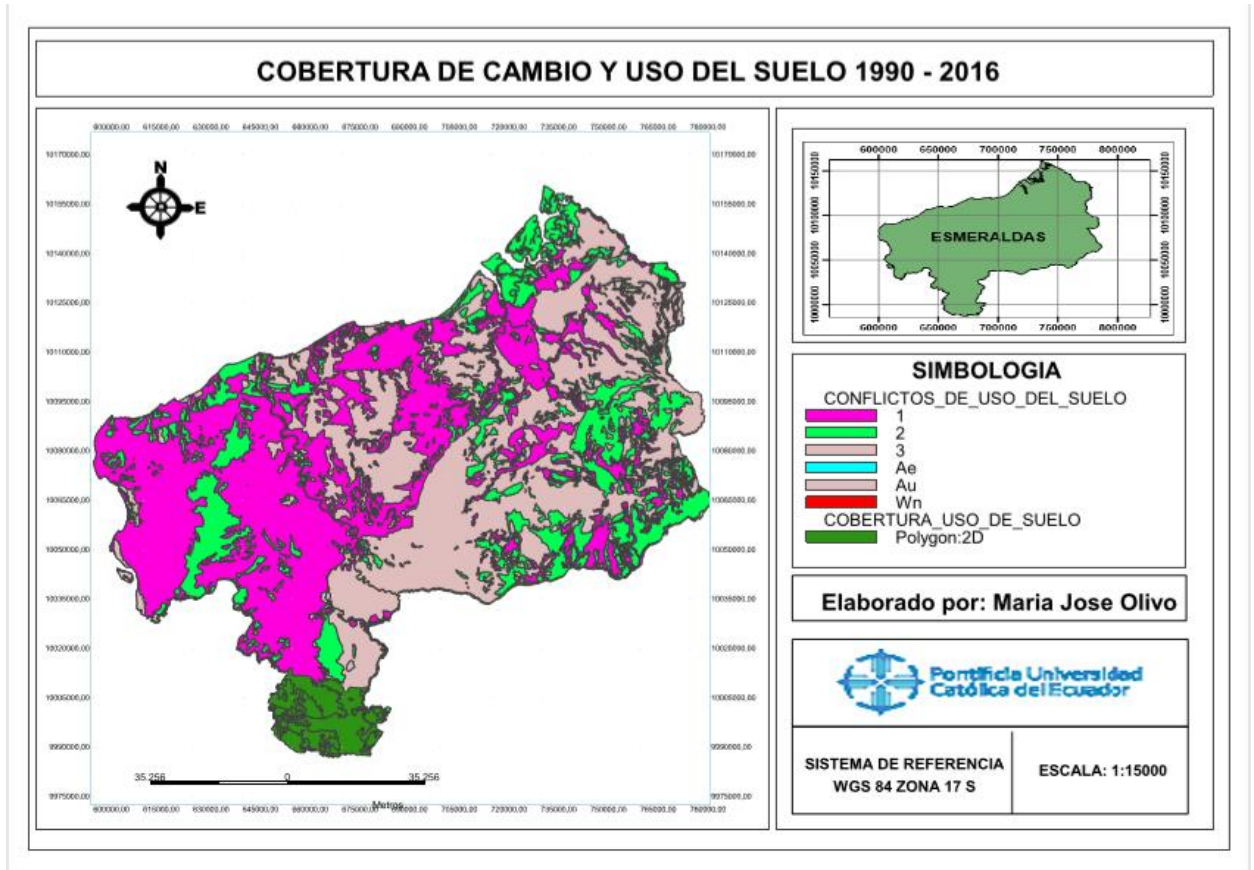


Figura 16. Mapa en GvSIG de cobertura y uso de suelo 1990-2016

La figura 17 establece que la cobertura y uso de suelo que posee la provincia de Esmeraldas plasmada mediante herramientas de Global Mapper ha presentado una resolución clara de la imagen, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, escalas visibles y una leyenda que no puede ser modificada.

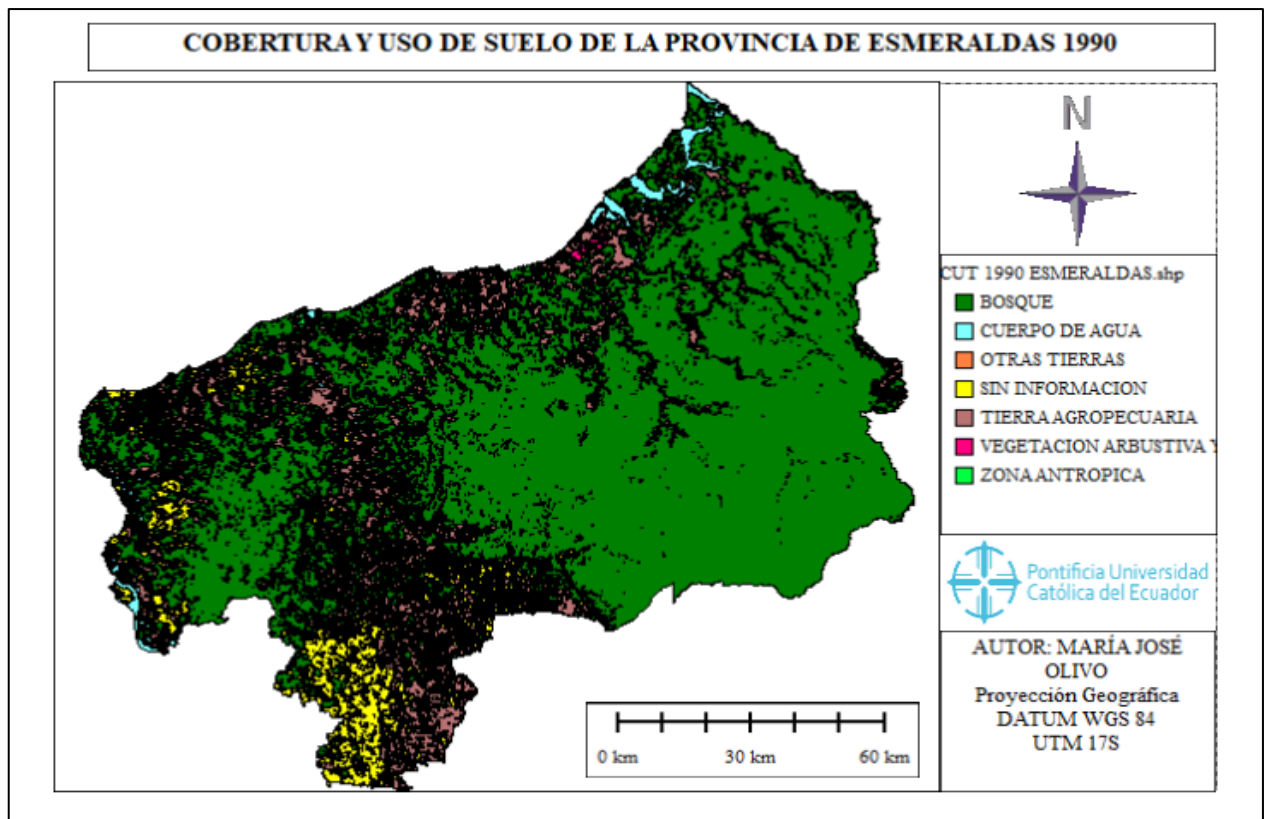


Figura 17. Mapa en Global Mapper de cambio y uso de suelo 1990

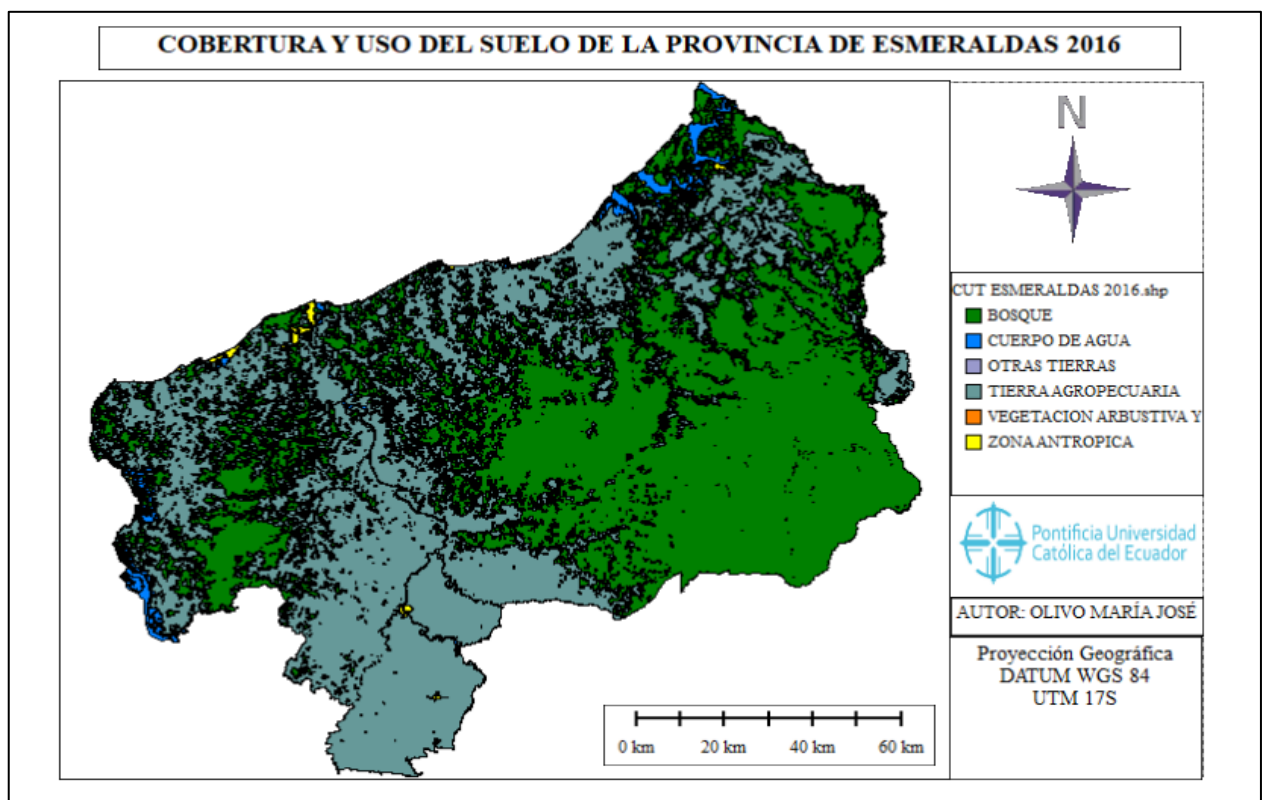


Figura 18. Mapa en Global Mapper de cambio y uso de suelo 2016

Delimitación de una cuenca hidrográfica de la provincia de Esmeraldas

La microcuenca hidrológica del río Teaone cuenta con un total de 140 ríos entre ellos esteros, ríos dobles y simples, quebradas y perfiles con una área de 42 710, 6078 m². En la figura 19 se establece que la delimitación realizada con herramientas de Qgis cuenta con herramientas generales y con una calculadora de campo en el cual solo trabaja con una unidad en comparación con otros softwares, presenta una resolución clara al igual que sus escalas.

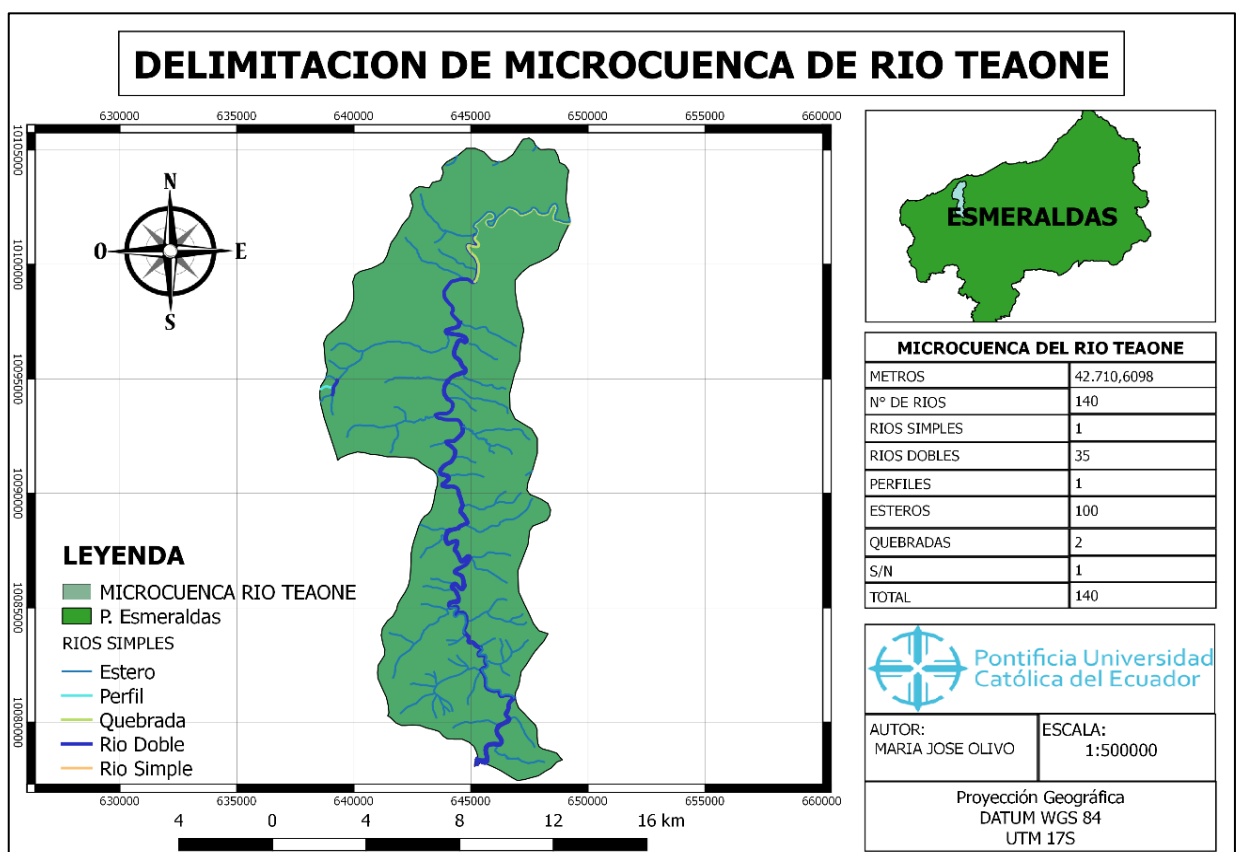


Figura 19. Mapa en QGIS, delimitación de microcuenca del río Teaone

La figura 20 establece que la delimitación realizada con herramientas de Arcgis cuenta con una gama de herramientas para delimitaciones de cuencas y con una calculadora de campo en el cual se puede trabajar con varias unidades, presentando una resolución clara al igual que sus escalas con una alta pixelación.

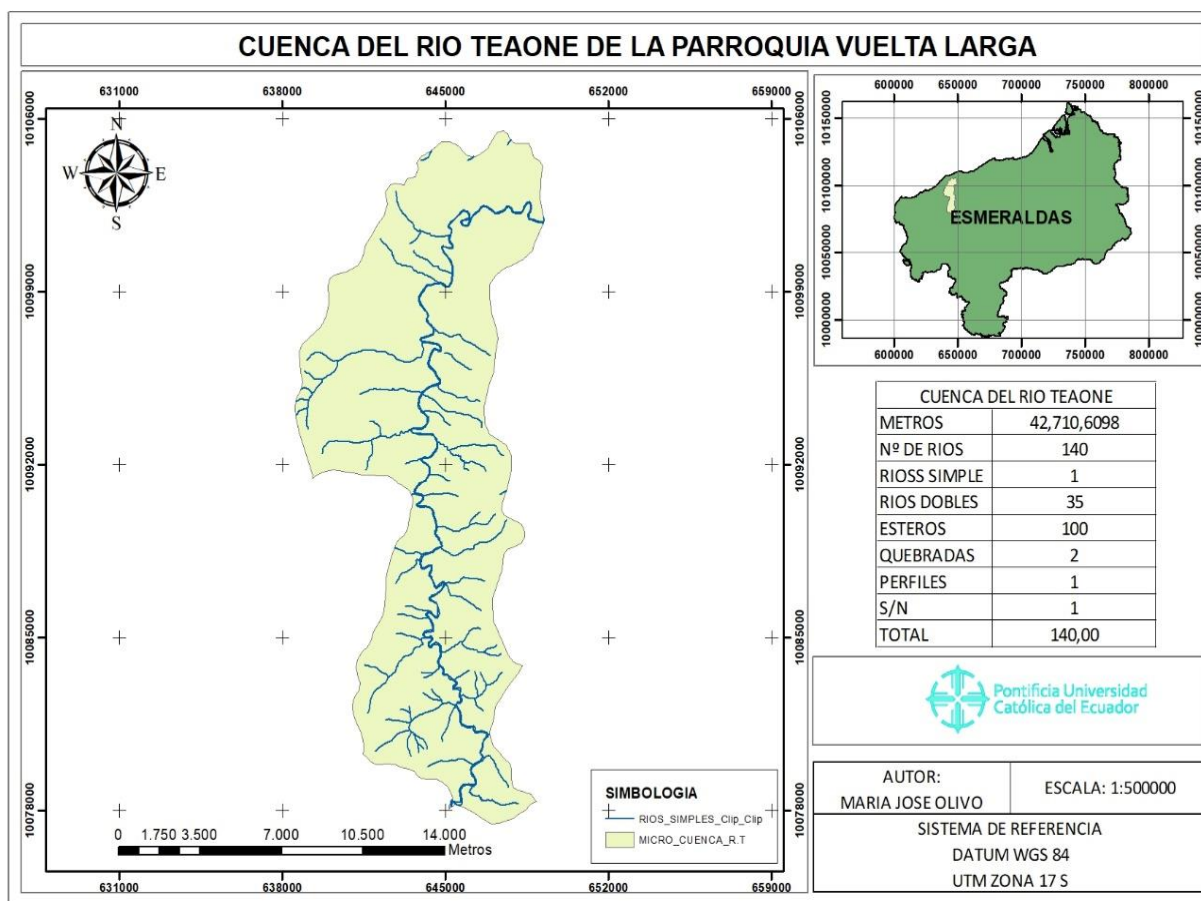


Figura 20. Mapa en ARCGIS, delimitación de microcuenca del río Teaone

La figura 21 establece que la delimitación realizada con herramientas de Gvsig cuenta con una carencia de herramientas y con una calculadora de campo en el cual solo trabaja con una unidad en comparación con otros softwares, no presenta una resolución clara al igual que una escala un tanto no visible.

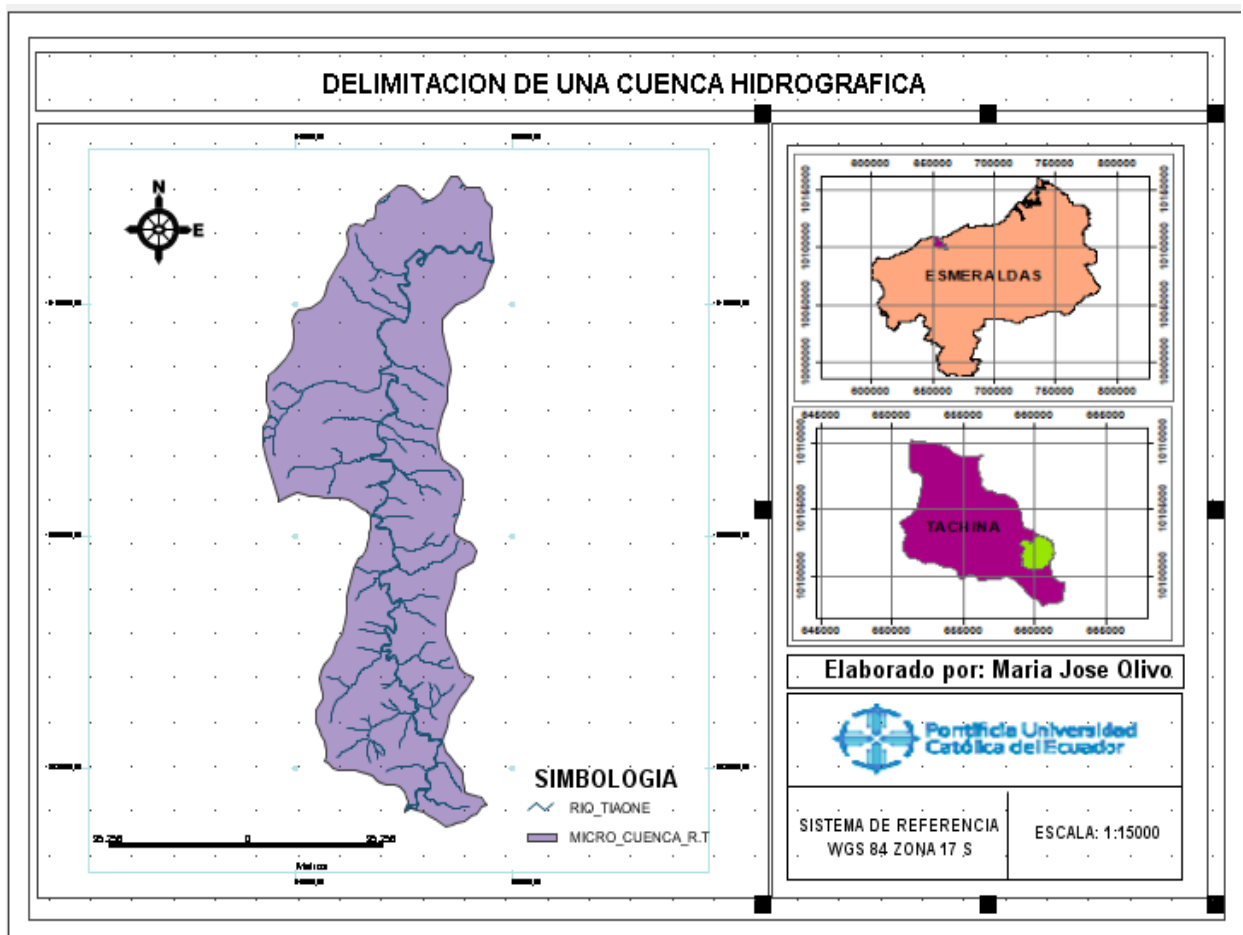


Figura 21. Mapa en GvSIG, delimitación de microcuenca del río Teaone

La figura 22 establece que la delimitación realizada con herramientas de Global Mapper cuenta con una gama de herramientas para delimitaciones de cuencas y con una calculadora de campo en el cual se puede trabajar con varias unidades, presentando una resolución clara al igual que sus escalas con una alta pixelación, además de la presencia de la modelación de curvas de nivel a lo largo de cuenca

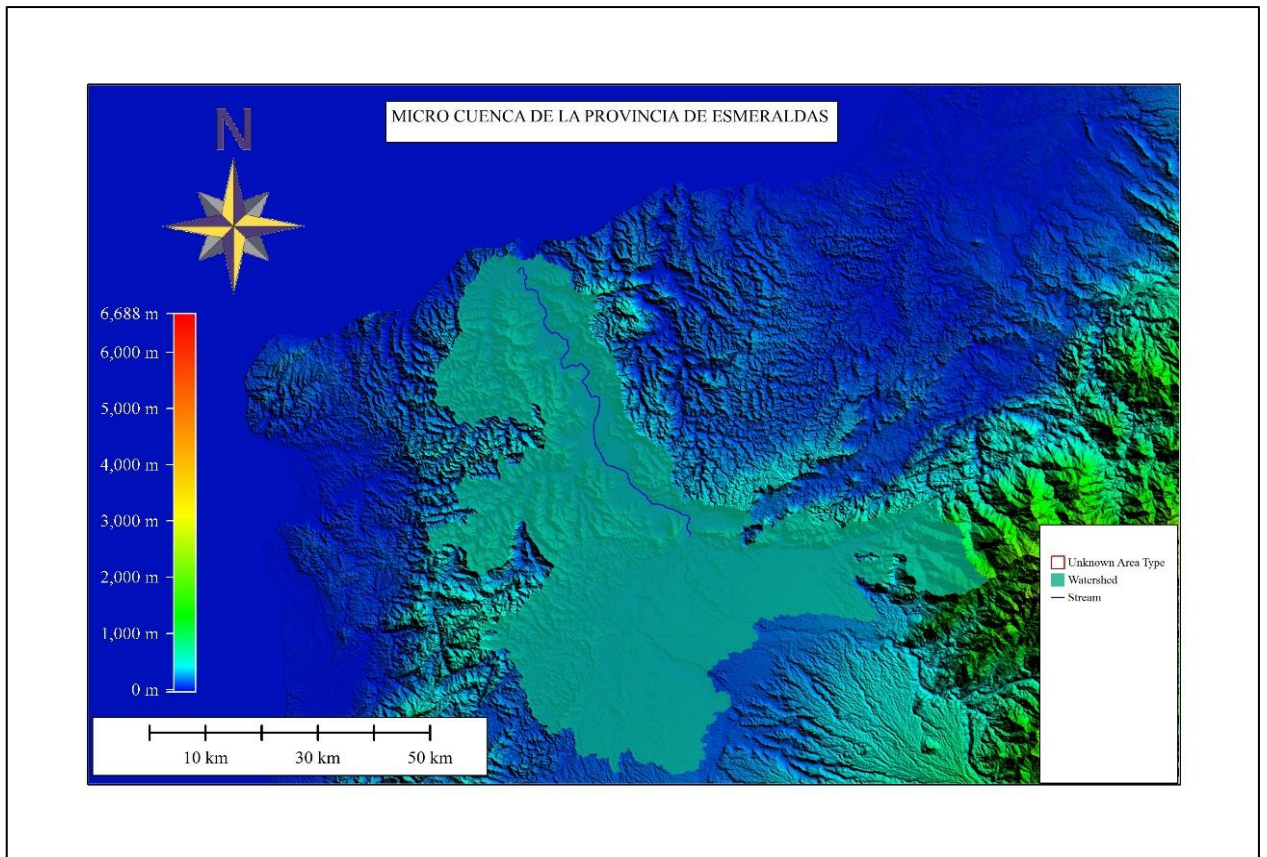


Figura 22. Mapa en Global Mapper, delimitación de microcuenca

Cobertura de isoyetas de la provincia de Esmeraldas

La figura 23 establece que la cobertura de isoyetas que es la unión de líneas que representan la misma precipitación en unidad de tiempo, demuestran que la provincia de Esmeraldas tiene frecuencias de precipitaciones menores a 750 – 1000 y mayores a 7000 pero en un corto punto. El mapa elaborado con herramientas de Qgis presenta una calidad óptima, sin embargo, para realizar el rango de precipitación no presento un orden de degradación descendente al igual que en el color.

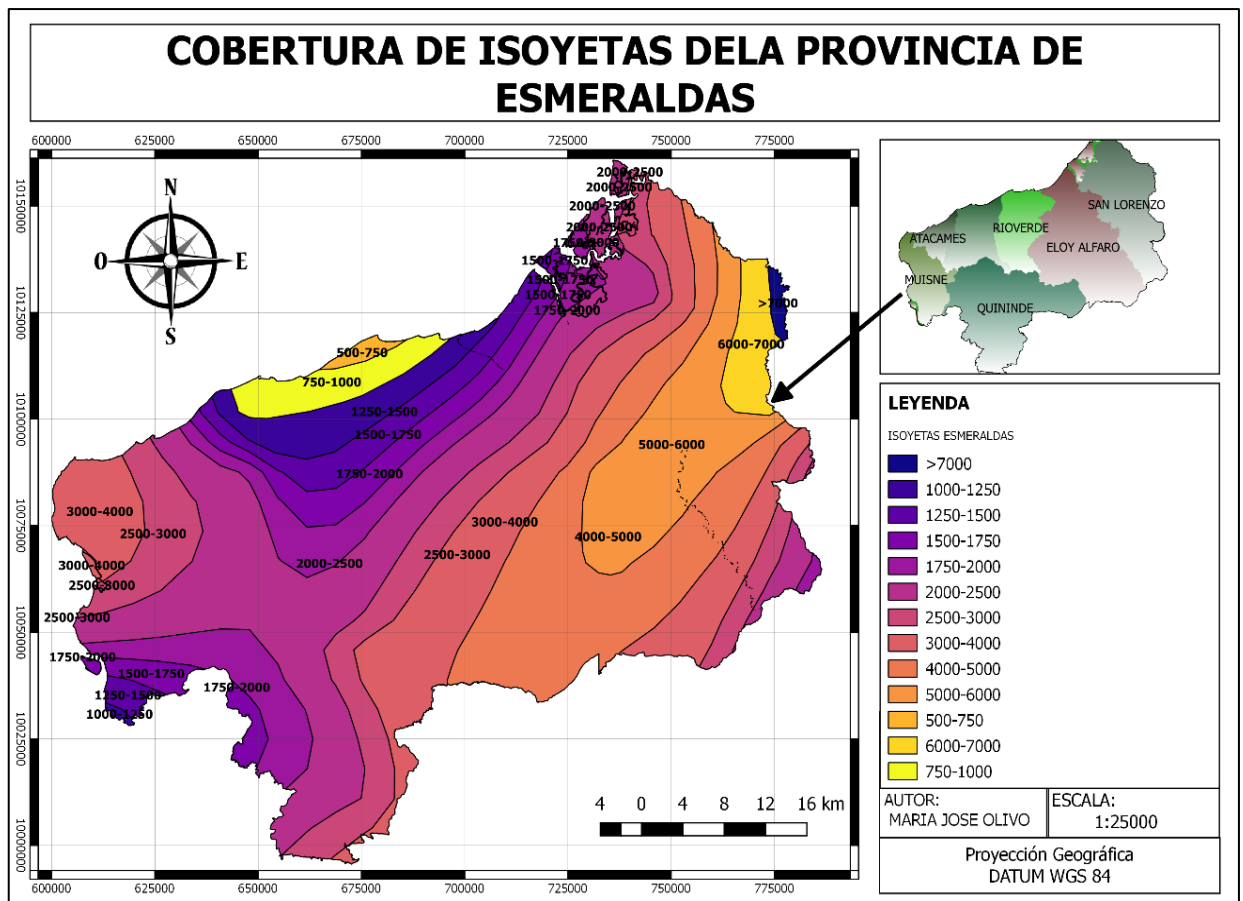


Figura 23. Mapa en QGIS de cobertura de Isoyetas

En la figura 24 se establece que la cobertura de isoyetas elaborada en Arcgis se representó una mayor calidad y resolución en la imagen, escalas claras y una excelente degradación y orden de rangos de frecuencias.

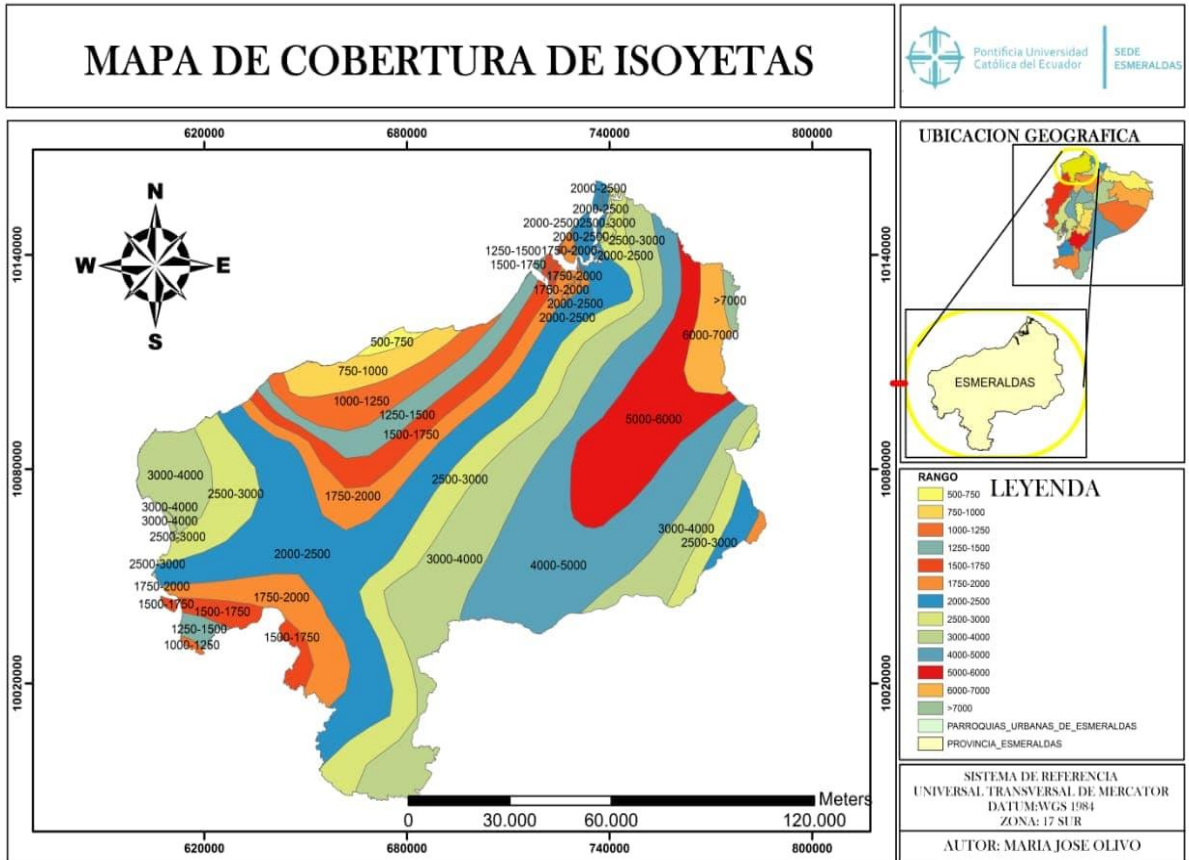


Figura 24. Mapa de ARCGIS de cobertura de Isoyetas

En la figura 25 se establece que la cobertura de isoyetas de la Provincia de Esmeraldas elaborada en GvSIG, obtuvo como resultado una menor calidad y resolución en la imagen muy baja, escala no muy apreciable, al igual que se puede observar que no existe un orden de rangos de frecuencias.

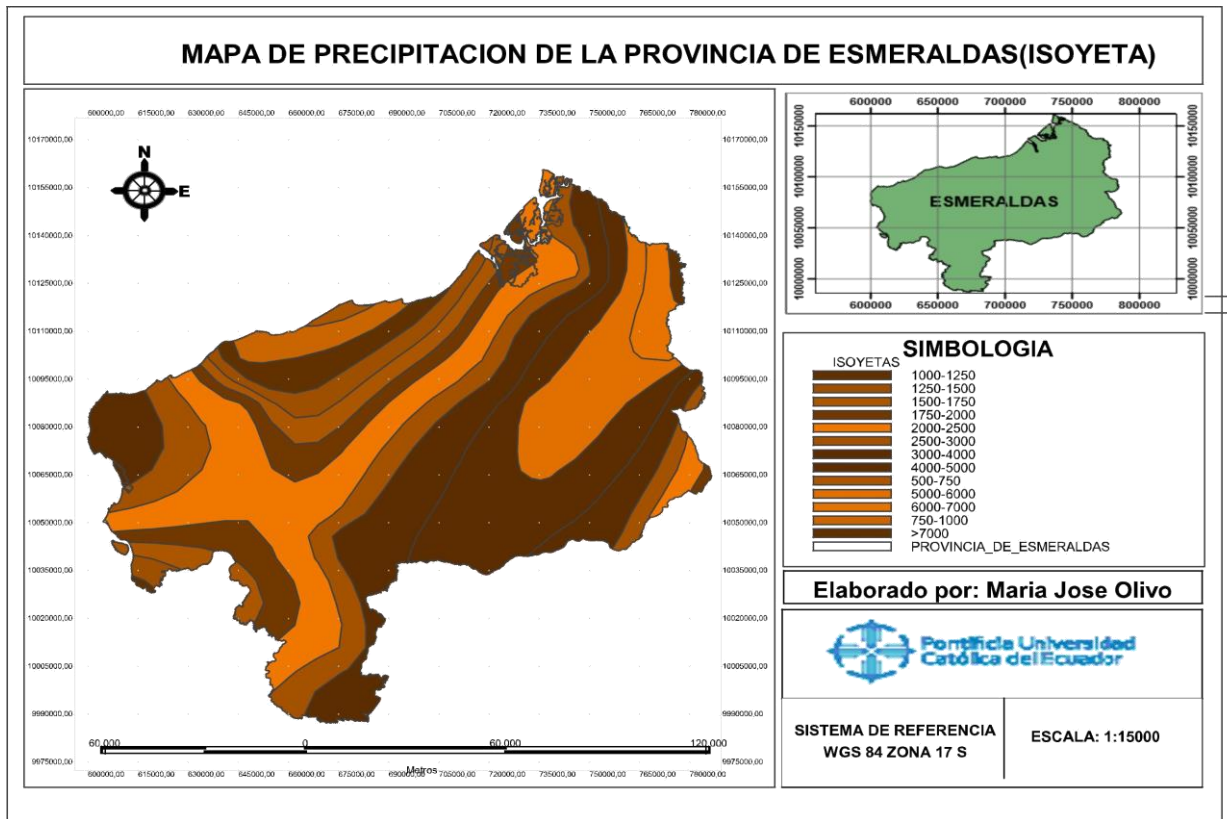


Figura 25. Mapa de GvSIG de cobertura de Isoyetas

La figura 26 establece que en la cobertura de isoyetas de la Provincia de Esmeraldas elaborada en Global Mapper, se obtuvo como resultado una mayor calidad y resolución en la imagen media, escala apreciable, al igual que se puede observar que existe un orden de rangos de frecuencias.

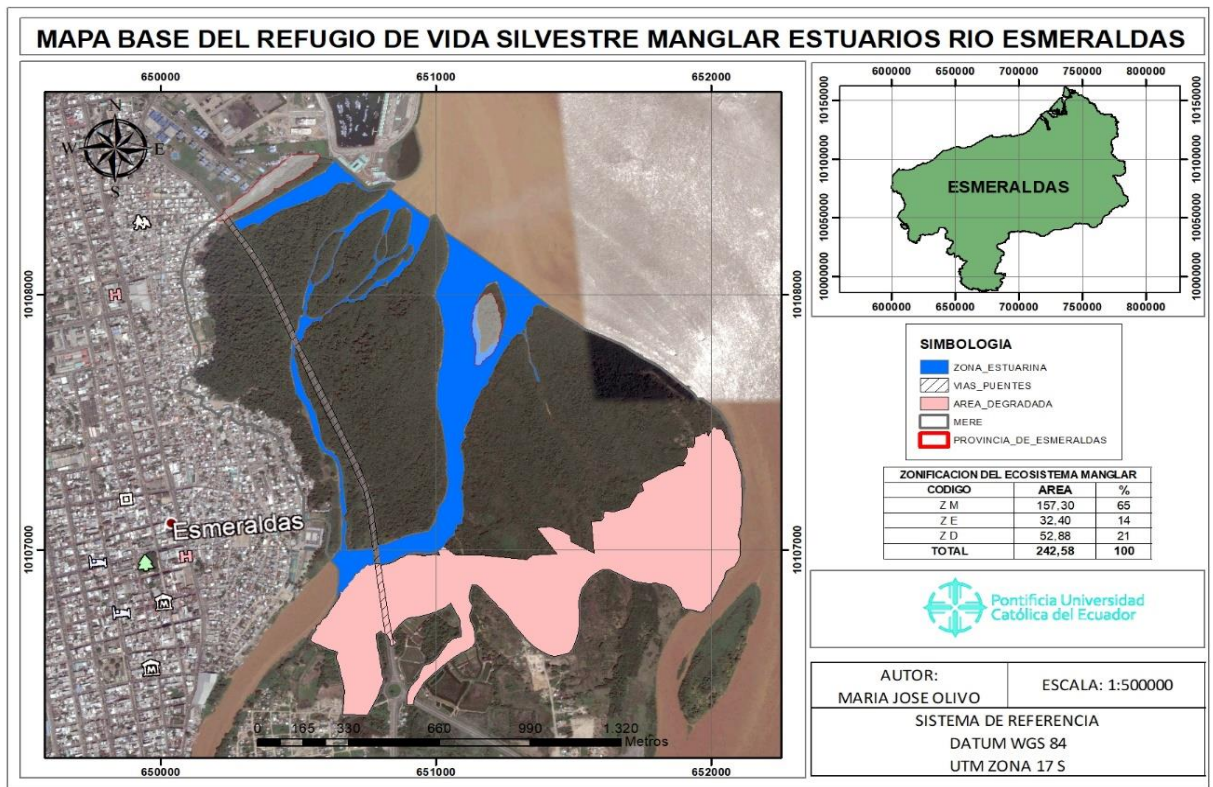


Figura 28. Mapa en ARCGIS del refugio de vida silvestre manglar estuarios río Esmeraldas

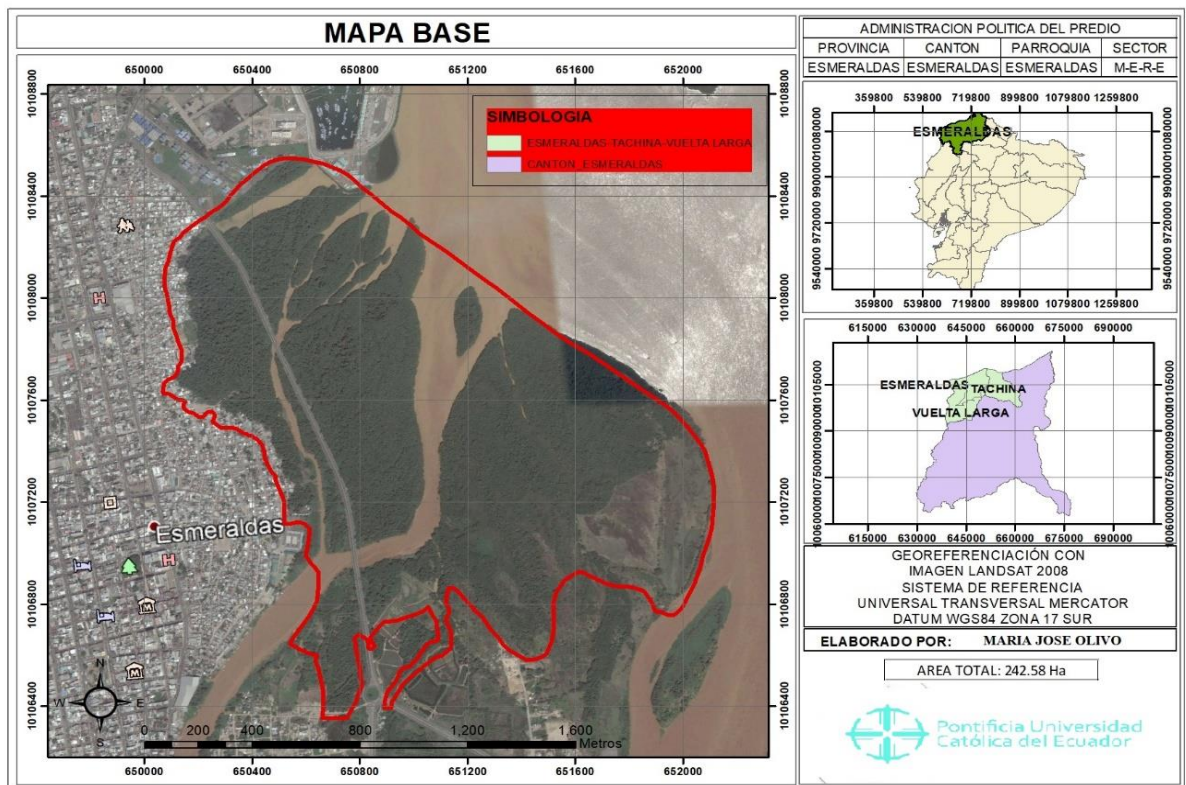


Figura 29. Mapa en ARCGIS de MERE

Modelación de un predio de la provincia de Esmeraldas

En la figura 30, el modelo digital de un predio de la provincia de Esmeraldas ubicado en Tachina graficado por medio de herramientas de Arcgis muestra sus cotas de elevación diferenciadas por una degradación de colores, siendo las más oscuras las cotas menores y las más claras las elevaciones mayores, mediante herramientas de Arcgis ha presentado una resolución clara de la imagen, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, escalas visibles y una leyenda que puede ser modificada.

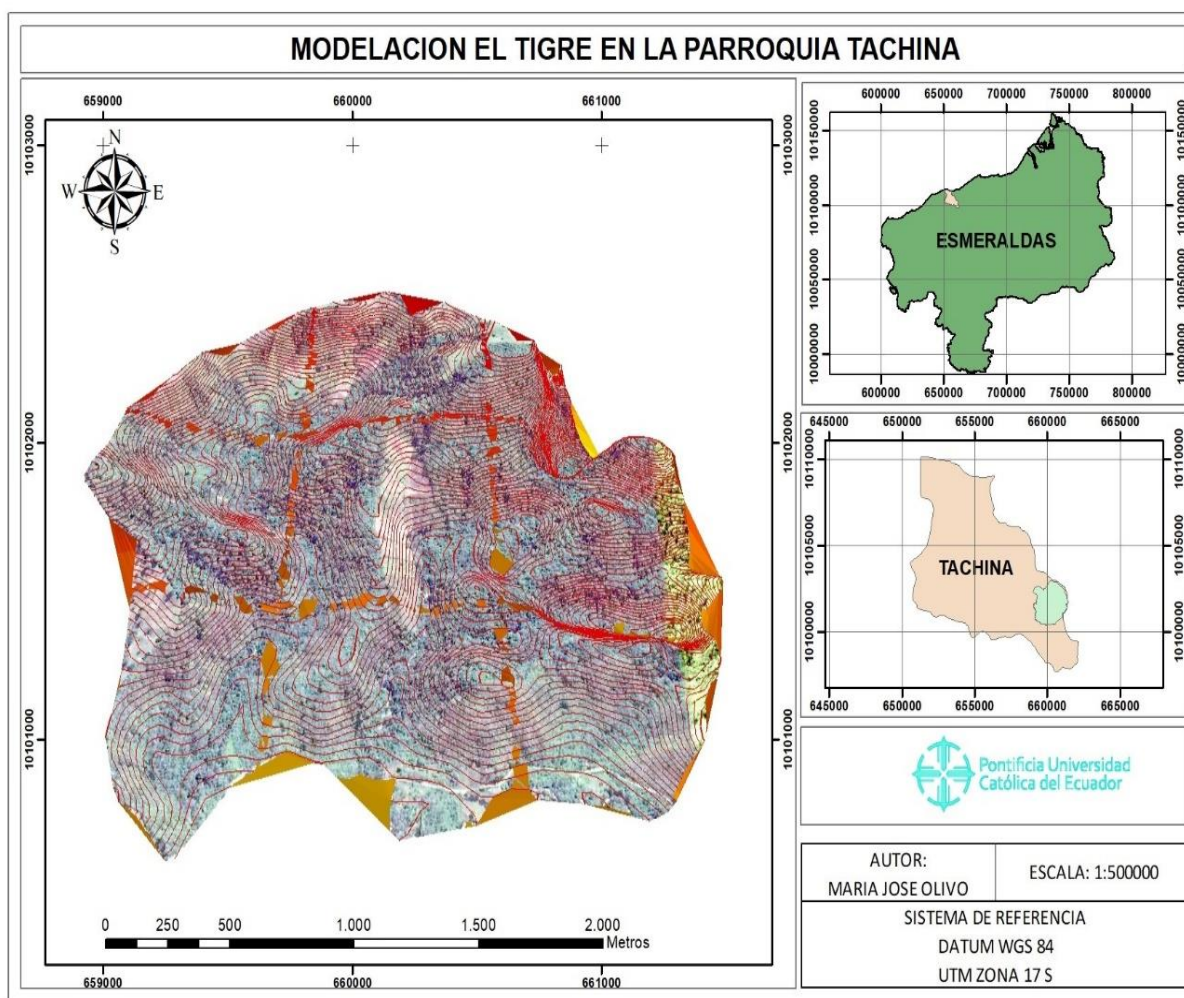
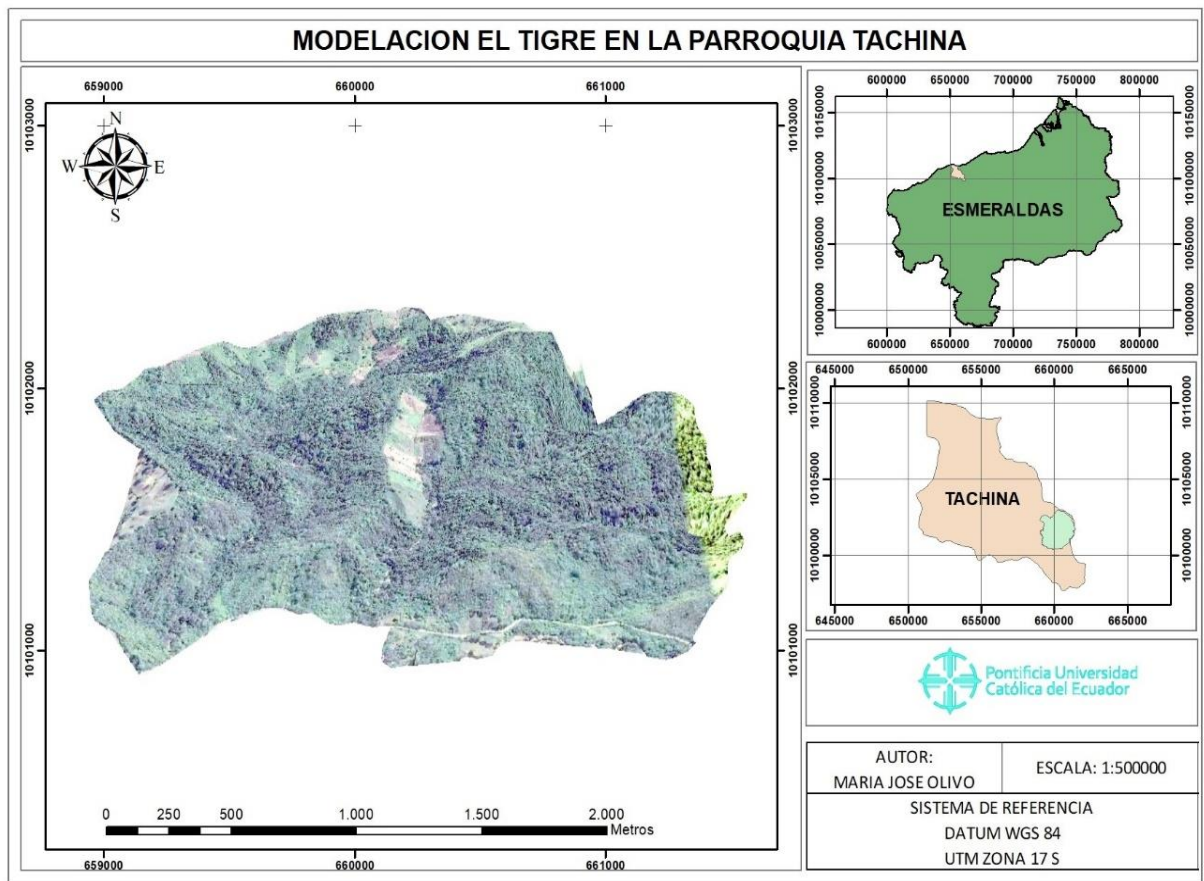


Figura 30. Mapa en ARCGIS de modelación de Predio El Tigre, Tachina



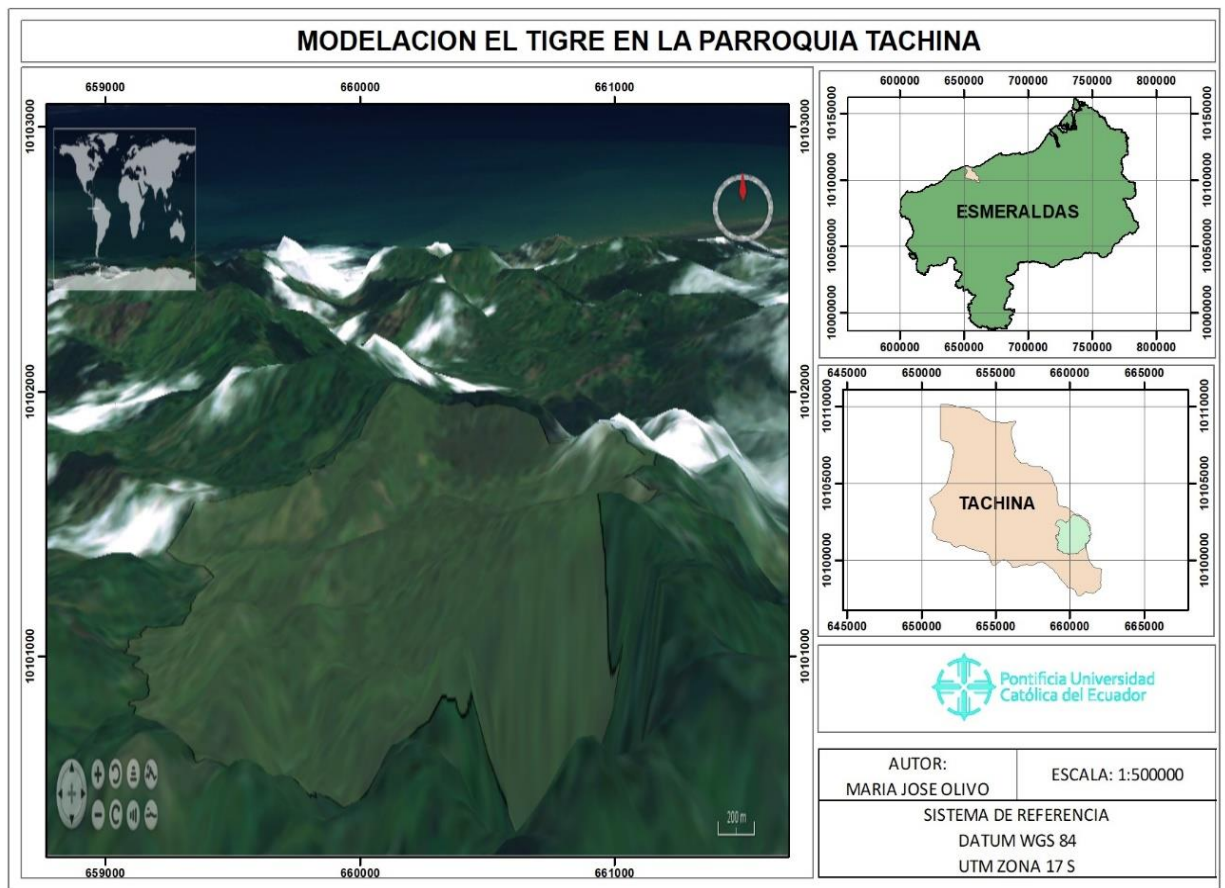


Figura 32. Modelación en GvSIG de modelación de Predio El Tigre, Tachina

La figura 33 establece que el modelo digital de un predio de la provincia de Esmeraldas graficado por medio de herramientas de Global Mapper muestra sus cotas de elevación diferenciadas por una degradación de colores, siendo las más oscuras las cotas mayores y las más claras las elevaciones menores, mediante herramientas de Global Mapper ha presentado una resolución clara de la imagen, un software que cuenta con herramientas de recorte de capas, escalas visibles y una leyenda que puede ser modificada, un software con características muy factibles para modelaciones de terrenos.

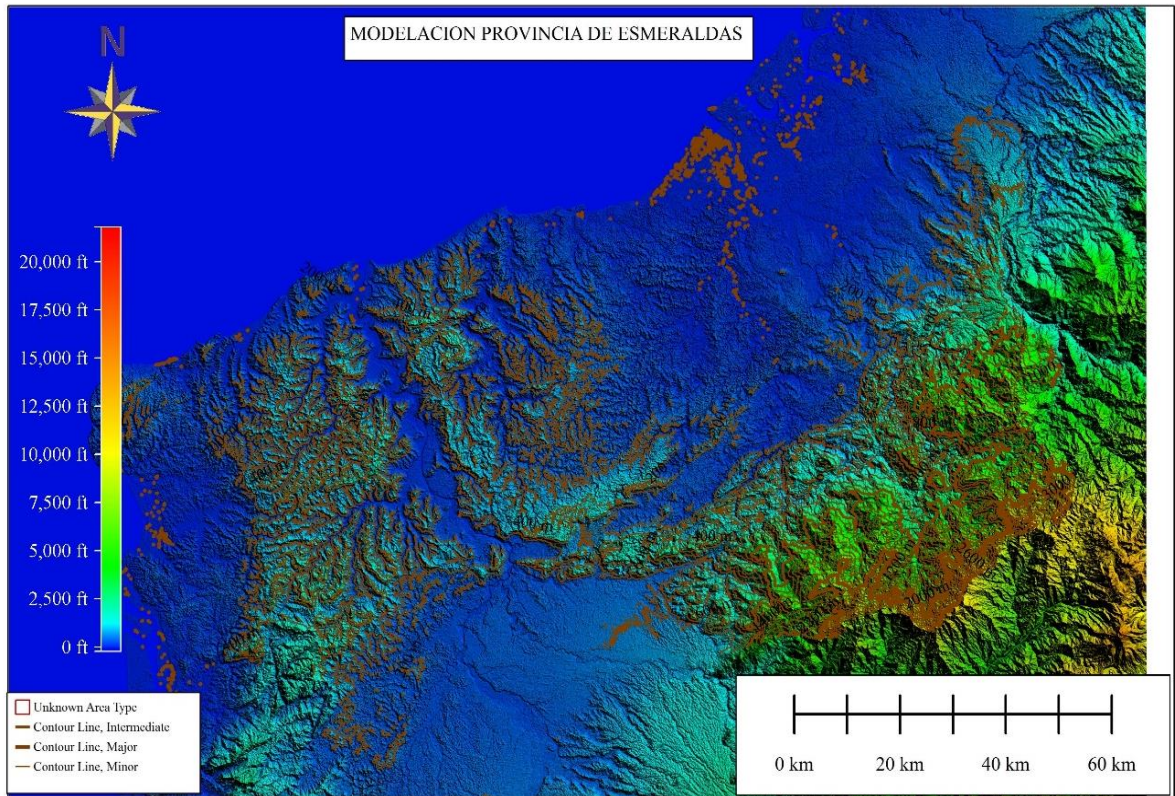


Figura 33. Mapa en Global Mapper de modelación de la Provincia de Esmeraldas

Cobertura de isotermas de la provincia de Esmeraldas

En la figura 34 se establece que la cobertura de isotermas que son puntos que representan la misma temperatura en la provincia de Esmeraldas cuenta con rangos desde 10 grados hasta un rango mayor de 28 grados de temperatura, pero es observable que la mayor parte del territorio cuenta con una temperatura que oscila entre los 24 a 26°. La cobertura de isotermas calculadas mediante herramientas de Qgis dieron como resultado rangos de frecuencia de la temperatura que no presento un orden descendente al igual que el orden espectral del color.

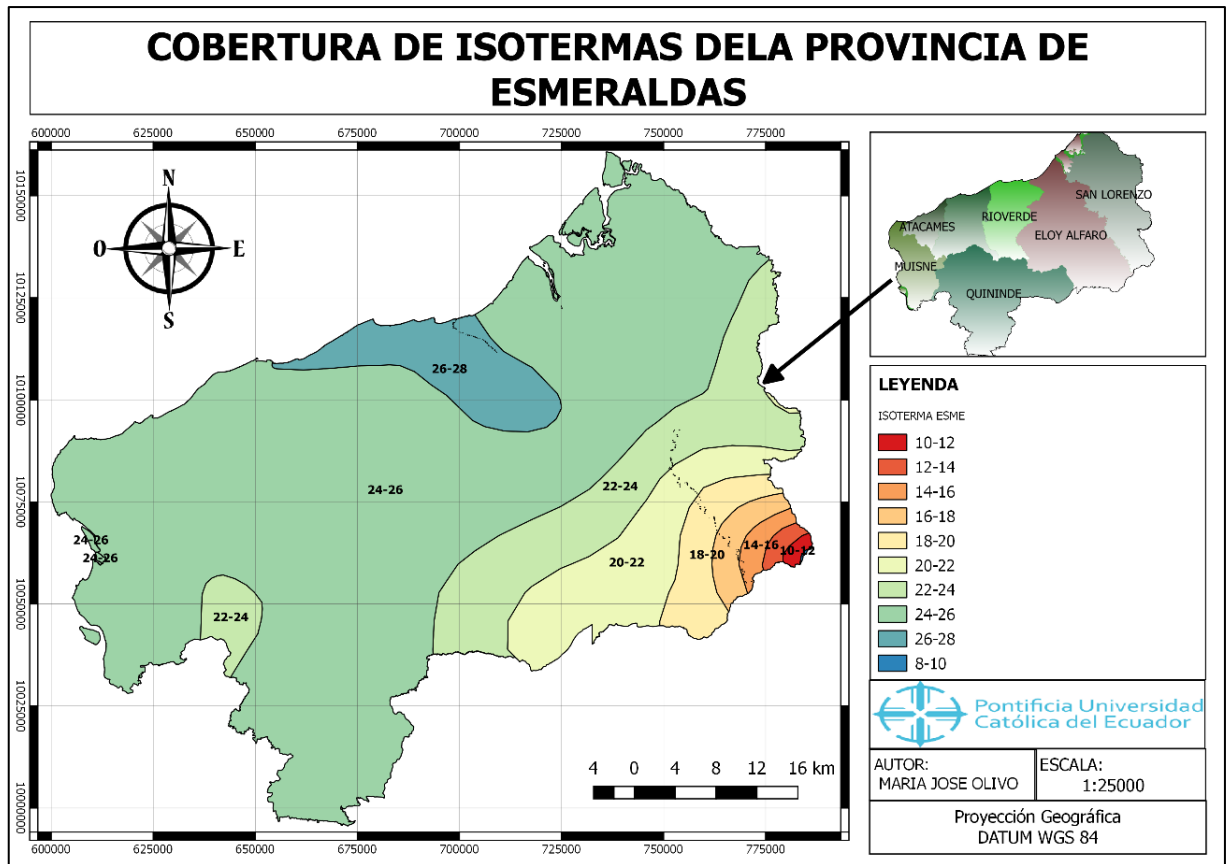


Figura 34. Mapa en QGIS de la cobertura Isotérmica

La figura 35 establece, que la cobertura de isotermas calculadas mediante herramientas de Arcgis dieron como resultado rangos de frecuencia de la temperatura las cuales presentaron un orden descendente al igual que el orden espectral del color, una mayor resolución de la imagen facilitando la interpretación al usuario.

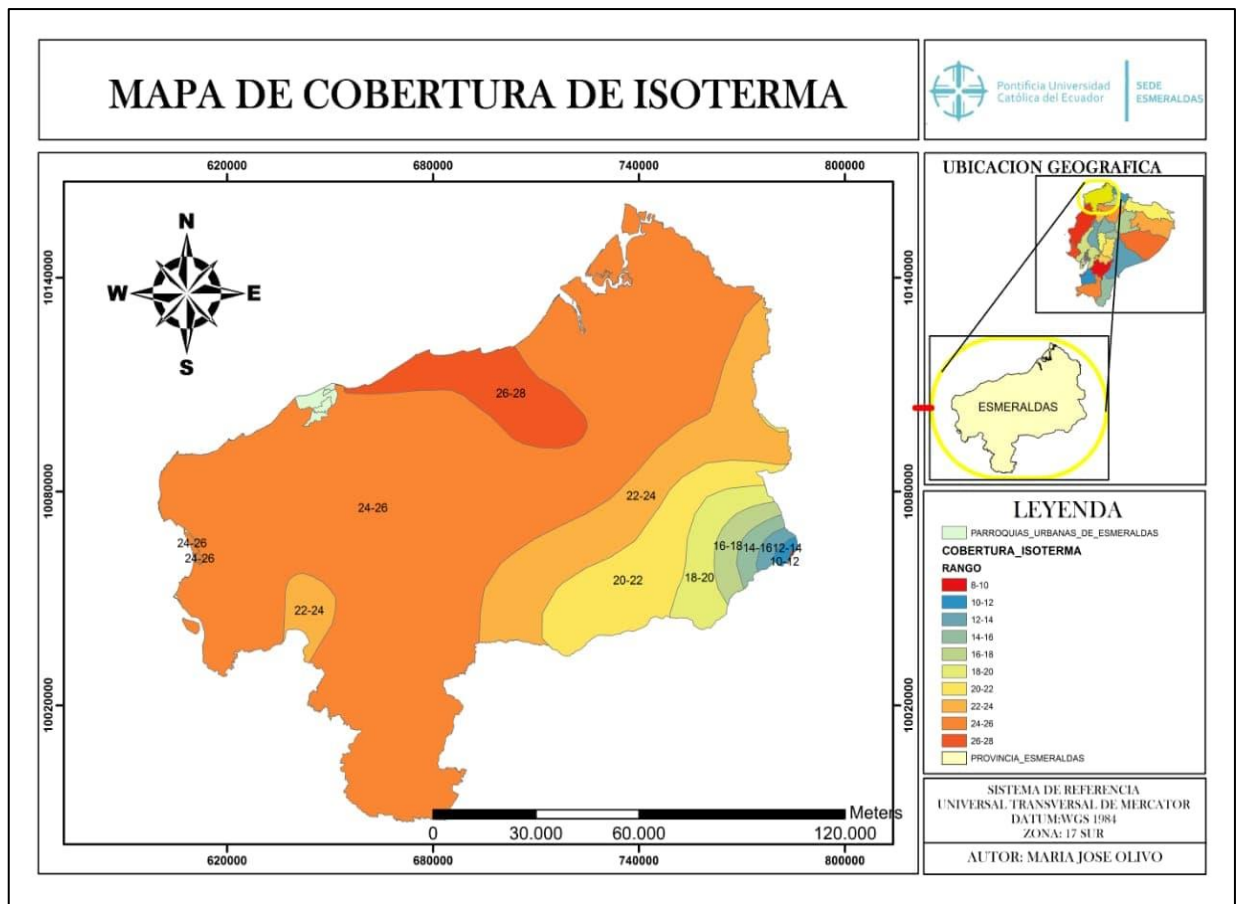


Figura 35. Mapa en ARCGIS de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas

La figura 34 establece que la cobertura de isoterma calculadas mediante herramientas de GvSIG dieron como resultado rangos de frecuencia de la temperatura que no presento un orden descendente al igual que el orden espectral del color y una resolución de las escalas no tanto visibles.

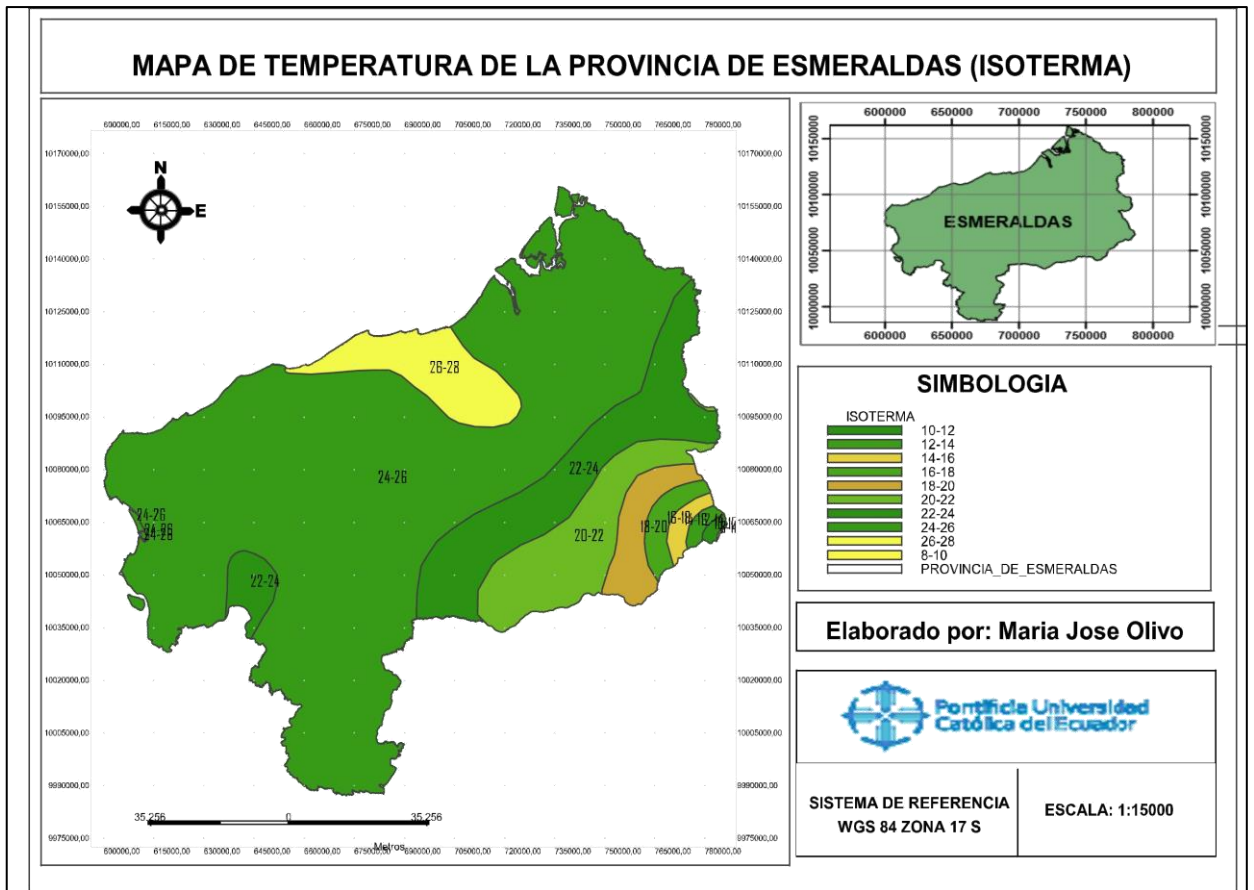


Figura 36. Mapa en GvSIG de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas

La figura 37 establece que la cobertura de isotermas calculadas mediante herramientas de Global Mapper dieron como resultado rangos de frecuencia de la temperatura que presentan un orden descendente al igual que el orden espectral del color y una resolución de las escalas muy visibles.

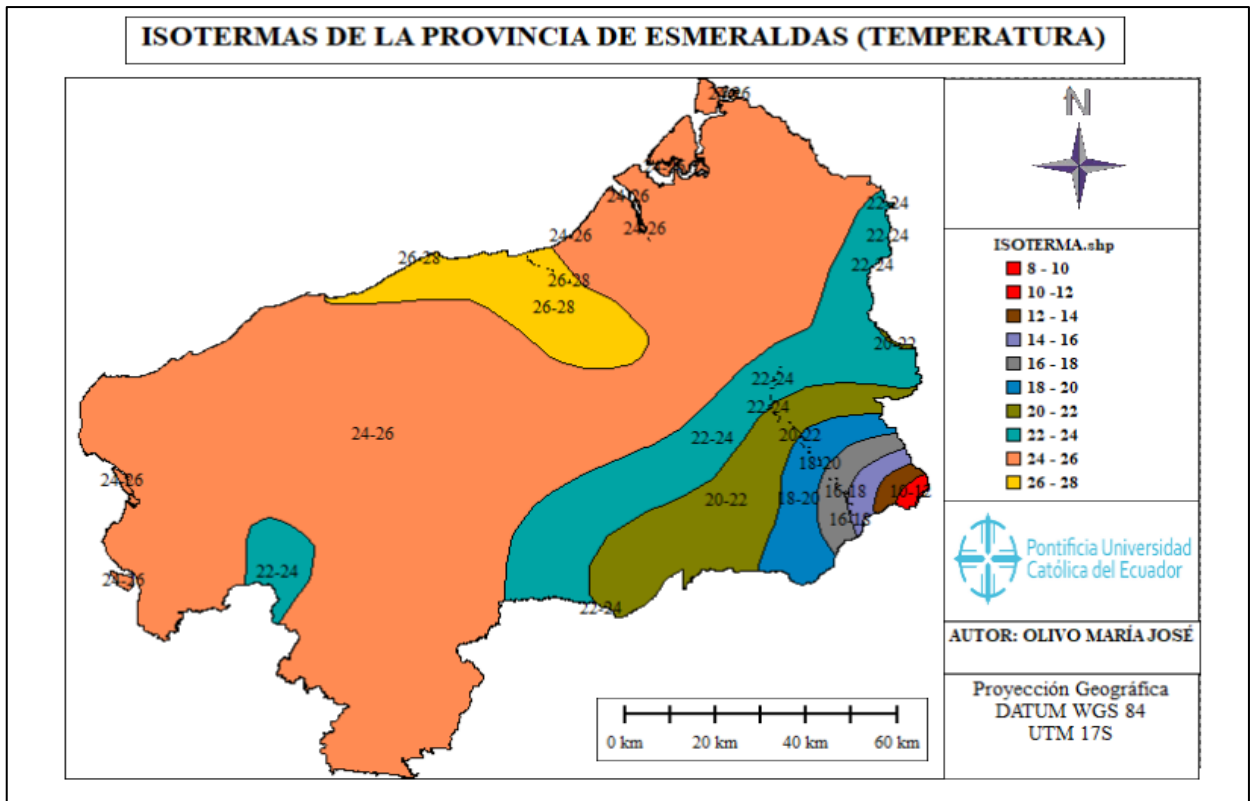


Figura 37. Mapa en Global Mapper de la cobertura Isotérmica de la Provincia de Esmeraldas.