



Determinación de zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial

Cachipundo Amagua, Verónica Elizabeth

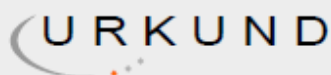
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente

PhD. Padilla Almeida, Oswaldo Vinicio

15 de septiembre del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Proyecto-Titulacion-Cachipuendo-Veronica.docx (D112055359)
 Submitted: 9/4/2021 4:20:00 PM
 Submitted By: revisiones.urbund.ecu@gmail.com
 Significance: 5 %

Oswaldo
Padilla
Almeida

Firmado digitalmente por Oswaldo
Padilla Almeida
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=Oswaldo Padilla Almeida,
o=Universidad de la Fuerza Armada
ESPE, ou=Departamento de Ciencias de
la Tierra y de la Construcción,
email=ospadilla@espe.edu.ec, c=EC
Fecha: 2021.09.04 16:36:29 -0500

Sources included in the report:

ANALISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DE SUELO..1.docx (D34591439)
 TESIS_COELLO.pdf (D54970324)
 INGRID_CHOEZ_DOCUMENTO_URKUND.docx (D40818898)
 Martha Romero.docx (D48654805)
 JosePichazaca.docx (D104761207)
[https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/461836/tfch1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=yCoello,](https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/461836/tfch1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=yCoello)
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7166/1/T-UCE-0004-33.pdf>
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17732/1/T-UCE-0004-CAG-065.pdf>
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23047/1/UCE-FAG-HERNANDEZ%20KATHERINE.pdf>
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3949/1/T-UTEQ-0104.pdf>
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3554/1/111812.pdf>
<https://docplayer.es/206776394-Universidad-tecnica-estatal-de-quevedo-facultad-de-ciencias-ambientales-carrera-de-ingenieria-en-gestion-ambiental.html>
http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16182/Estudio%20Multitemporal%20de%20Cambio%20de%20Uso%20de%20Suelo_Parroquia%20Tambill%2C%20Cant%3%B3n%20Mej%3%ADa%2C%20Pichincha%2C%20Per%3%ADodo%202001-2010%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<https://docplayer.es/94532360-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-la-construccion.html>
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6492/1/T-UCE-0004-31.pdf>



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Determinación de zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial" fue realizado por la señorita Cachipueno Amagua, Verónica Elizabeth el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos legales, teórico, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2021

Firma:

Oswaldo
Padilla Almeida

Firmado digitalmente por oswaldo padilla Almeida
nombre de reconocimiento: oswaldo padilla Almeida, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
equipo departamento de ciencias de la tierra y de la construcción, email: ospadilla@espe.edu.ec, C.I.C:
19024 2021.09.15 11:14:58 -0500'

PhD. Padilla Almeida, Oswaldo Vinicio

C. C. 1709776650



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Cachipundo Amagua, Verónica Elizabeth**, con cédula de ciudadanía 1721847232, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Determinación de zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teórico, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2021

Firma

Cachipundo Amagua, Verónica Elizabeth

C.C: 1721847232



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Cachipundo Amagua, Verónica Elizabeth**, con cédula de ciudadanía 1721847232, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: : **"Determinación de zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2021

Firma

Cachipundo Amagua, Verónica Elizabeth

C.C: 1721847232

Dedicatoria

A Dios por guiarme en este camino y brindarme sabiduría y fortaleza para culminar esta etapa con éxito.

A mi madre Rosario, por ser el pilar fundamental en mi vida, por brindarme su amor y apoyo incondicional en todo momento y ser quien me motiva a que mejore cada día.

A mis hermanos Cristina y Freddy, por ser mi inspiración y por siempre tener una palabra de aliento o un consejo cuando sentía que no podía más.

A mi sobrina Daniela por ser la luz en mi vida y a quien auguro muchos éxitos.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, a mis padres, hermanos y toda mi familia por sus bendiciones, apoyo incondicional y por la confianza depositada en mí para cumplir con esta meta.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE por darme la oportunidad de estudiar y cumplir con una de mis sueños, a todos los docentes quienes formaron parte de mi formación tanto personal como profesional, gracias por el tiempo, apoyo y la sabiduría que supieron brindar a diario.

Al PhD. Oswaldo Padilla, director de tesis, por la paciencia, confianza y valiosa guía en el desarrollo de este trabajo, sin su apoyo no hubiese sido posible culminar de manera exitosa, me guardo con mucho aprecio sus consejos y enseñanzas.

A mis amigas/os Anita, Les, Meli, Jazz, Ale, Karen, Sami, Chris, Joss, Nico y quienes me falta por nombrar, les agradezco infinitamente por su amistad, por los momentos y anécdotas compartidas y por hacer más llevadero este camino, sé que les augura muchos éxitos.

A todos quienes estuvieron para mí y formaron parte de mi crecimiento, gracias por las experiencias, las aventuras, enseñanzas y por hacer de esto una increíble etapa en mi vida.

Índice de contenido

Urkund.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos.....	7
Resumen	21
Abstract.....	22
Capítulo I.....	23
Aspectos Generales	23
Antecedentes	23
Planteamiento del Problema.....	26
Justificación e importancia	28
Área de estudio	30
Objetivos	31

Objetivo General.....	31
Objetivos Específicos	31
Metas	32
Hipótesis	32
Capítulo II.....	33
Marco teórico	33
Base teórica.....	33
Base Conceptual.....	37
Urbanización.....	37
Crecimiento urbano	38
Expansión urbana	38
Ordenamiento Territorial	39
Diagnóstico Territorial.....	40
Planificación territorial	41
Gestión Territorial	42
Análisis espacial	42
Teledetección	43

	10
Espectro electromagnético.....	44
Firma espectral.....	44
Sensores remotos.....	45
Resoluciones del sensor remoto.....	45
Imágenes satelitales y tipos	46
Programa Landsat.....	47
Landsat 7	47
Landsat 8.....	48
Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	49
Corrección geométrica	50
Corrección radiométrica	50
Corrección atmosférica	50
Clasificación de imágenes.....	50
Clasificación supervisada.....	51
Evaluación de la calidad de la clasificación	53
Matriz de confusión	53
Coeficiente Kappa.....	53

	11
Tasa de cambio anual.....	54
Cobertura y uso del suelo.....	55
Leyenda temática.....	55
Análisis multitemporal.....	56
Evaluación Multicriterio (EMC).....	58
Componentes de la Evaluación Multicriterio.....	59
Métodos de Evaluación Multicriterio.....	59
Método Analítico Jerárquico (AHP).....	60
Suma lineal Ponderada.....	62
Base legal.....	63
Constitución de la República del Ecuador.....	63
Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	63
Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP).....	64
Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales.....	65
Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo - LOOTUGS	65

	12
Capitulo III.....	67
Metodología.....	67
Recopilación de información.....	68
Análisis multitemporal del proceso de expansión urbana en el periodo 2001-2020.....	69
Adquisición y selección de imágenes satelitales	69
Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	70
Corrección geométrica	70
Calidad del registro geométrico entre imágenes Landsat	71
Corrección radiométrica	73
Fusión de imágenes – pansharpening.....	74
Corrección atmosférica	76
Re escalado de valores de reflectancia	77
Restauración de sectores perdidos – corrección del bandeo	78
Determinación de la escala de trabajo	79
Unidad mínima de mapeo	80
Generación de leyenda temática	82

Clasificación de imágenes	82
Selección de áreas de entrenamiento - Regiones de interés.....	83
Análisis de separabilidad.....	84
Clasificación supervisada – Máxima probabilidad	85
Validación	87
Evaluación Multicriterio (EMC) para la determinación de zonas óptimas para expansión urbana	88
Selección de datos.....	88
Identificación de criterios	88
Restricciones	88
Factores.....	91
Normalización de factores	92
Pendiente.....	93
Uso y cobertura del suelo.....	94
Suelo – Textura	97
Aptitud agrícola.....	99
Red hidrográfica	103

	14
Red vial.....	104
Zonas urbanizadas.....	105
Centros de salud.....	106
Establecimientos educativos.....	107
Servicios básicos.....	108
Línea de transmisión eléctrica.....	109
Densidad poblacional.....	110
Poblado.....	111
Localidades.....	112
Asignación de pesos a los factores.....	113
Generación de Geodatabase.....	115
Creación del repositorio web.....	117
Capitulo IV.....	119
Resultados.....	119
Estudio del proceso de expansión urbana en el periodo 2001-2020.....	119
Cobertura de suelo año 2001.....	119
Cobertura de suelo año 2004.....	120

	15
Cobertura de suelo año 2009.....	121
Cobertura de suelo año 2015.....	122
Cobertura de suelo año 2017.....	123
Cobertura de suelo año 2020.....	124
Análisis del proceso de expansión de las Zonas Antrópicas en el periodo 2001-2020.....	129
Determinación de zonas óptimas para expansión urbana.	132
Áreas con restricciones.....	132
Áreas preliminares de sitios óptimos para expansión urbana.....	133
Superposición de mapa de restricciones y mapa preliminar de zonas optimas	134
Capítulo V	138
Conclusiones y Recomendaciones	138
Conclusiones.....	138
Recomendaciones	140
Referencias Bibliográficas	142
Anexos	154

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de imágenes satelitales.....	46
Tabla 2 Características de las imágenes Landsat 7.....	48
Tabla 3 Características de las imágenes Landsat 8.....	49
Tabla 4 Intervalo de aceptación de los resultados del índice Kappa.....	53
Tabla 5 Definiciones de la Leyenda temática Nivel I de la cobertura y uso de suelo....	55
Tabla 6 Información geoespacial utilizada en el proyecto de investigación.	68
Tabla 7 Imágenes satelitales seleccionadas para el procesamiento.....	70
Tabla 8 Valores de calibración radiométrica establecidos.	73
Tabla 9 Resolución espacial de imágenes satelitales y escala cartográfica máxima ...	80
Tabla 10 Leyenda temática para la generación del mapa de uso y cobertura de suelo.	82
Tabla 11 <i>Factores empleados para determinar las zonas óptimas de expansión urbana</i>	92
Tabla 12 <i>Cobertura y uso del suelo del área de estudio</i>	94
Tabla 13 <i>Matriz de comparación de pares de la variable cobertura y uso de suelo</i>	95
Tabla 14 <i>Matriz de normalización y pesos de la variable cobertura y uso de suelo</i>	96

Tabla 15 <i>Textura del suelo</i>	97
Tabla 16 <i>Matriz de comparación de pares de la variable Suelo – textura</i>	98
Tabla 17 <i>Matriz de normalización y pesos de la variable Suelo – textura</i>	98
Tabla 18 <i>Aptitud agrícola del suelo</i>	99
Tabla 19 <i>Matriz de comparación de pares de la variable Aptitud agrícola</i>	101
Tabla 20 <i>VARIABLES ponderadas por categoría y subcategoría</i>	114
Tabla 21 <i>Análisis de coberturas para el periodo 2001-2020</i>	127
Tabla 22 <i>Tasa de Cambio de las coberturas en el periodo 2001-2020</i>	128
Tabla 23 <i>Proceso de expansión de las Zonas Antrópicas 2001-2020</i>	129
Tabla 24 <i>Reclasificación de los valores</i>	135

Índice de figuras

Figura 1	Ubicación de la zona de estudio	31
Figura 2	Proceso de teledetección	43
Figura 3	Espectro electromagnético.....	44
Figura 4	Esquema grafico de la metodología del proyecto de investigación	67
Figura 5	Distribución de puntos para evaluar la calidad del registro geométrico.....	71
Figura 6	Registro geométrico entre las imágenes Landsat.....	72
Figura 7	Corrección radiométrica de la imagen satelital.....	74
Figura 8	Fusión de imágenes - pansharpening.....	75
Figura 9	Corrección atmosférica y perfil espectral.....	77
Figura 10	Re escalado de valores de reflectancia	78
Figura 11	Corrección de bandeado	79
Figura 12	<i>Muestra de selección de ROI's para cada cobertura</i>	84
Figura 13	Reporte de separabilidad de clases.....	85
Figura 14	Clasificación supervisada de las imágenes satelitales en el periodo (2001-2020).....	86
Figura 15	Matriz de confusión de la clasificación supervisada.....	87
Figura 16	Conjunto de variables consideradas como restricciones	90

Figura 17 Variable pendiente.....	93
Figura 18 Variable de Cobertura del Suelo	96
Figura 19 Variable Suelo - Textura normalizada.....	99
Figura 20 Variable Aptitud agrícola	103
Figura 21 Variable Red Hidrográfica	104
Figura 22 Variable Red vial	105
Figura 23 Variable Zonas urbanizadas.....	106
Figura 24 Variable Centros de salud	107
Figura 25 Variable Establecimientos Educativos	108
Figura 26 Variable Servicios básicos	109
Figura 27 Variable Línea de transmisión.....	110
Figura 28 Variable Densidad Poblacional	111
Figura 29 Variable Poblado	112
Figura 30 Variable Localidades	113
Figura 31 Geodatabase	117
Figura 32 Configuración para la generación del repositorio web	118
Figura 33 Mapa de cobertura de suelo en el año 2001	120
Figura 34 Mapa de cobertura de suelo en el año 2004	121

Figura 35 Mapa de cobertura de suelo en el año 2009	122
Figura 36 Mapa de cobertura de suelo en el año 2015	123
Figura 37 Mapa de cobertura de suelo en el año 2017	124
Figura 38 Mapa de cobertura de suelo en el año 2020	125
Figura 39 Cambios de cobertura en el periodo 2001 – 2020	128
Figura 40 Proceso de expansión de las Zonas antrópicas en el periodo 2001-2020 .	129
Figura 41 Áreas de restricciones y no restricciones	133
Figura 42 Resultado preliminar de las zonas óptimas para expansión urbana.....	134
Figura 43 Mapa de las zonas óptimas para expansión urbana	136
Figura 44 Repositorio Web	137

Resumen

Conocer el territorio y evaluarlo en función de nuevos usos tiene relevancia dentro de los procesos de planificación urbanística, especialmente si se trata de crear armonía entre desarrollo y sostenibilidad. La parroquia de Machachi del cantón Mejía muestra un crecimiento urbano en el cual se invaden zonas sin aptitud para dicho fenómeno, influenciado por diferentes factores sociales, ambientales y económicos, ejerciendo una fuerza directa sobre las parroquias aledañas Aloasi y Alóag, generando problemas de diferentes ámbitos en el territorio esto por la falta de planificación. Por tanto, a través de la aplicación de técnicas de información geoespacial la presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio del proceso de expansión urbana en el periodo (2001 - 2020), y definir zonas óptimas para el futuro crecimiento con la finalidad de obtener insumos que ayuden en la gestión del territorio. La metodología empleada se basa en un análisis multitemporal de los años 2001,2004,2009,2015,2017 y 2020 por medio de los cuales se obtuvo mapas de cobertura donde se evidencia el proceso de crecimiento de la mancha urbana. Posteriormente con los insumos generados y con la cartografía seleccionada se desarrolla la evaluación multicriterio que determina las zonas óptimas para los futuros asentamientos dentro de la zona de estudio. Se evidenció que existe un crecimiento de la mancha urbana progresivo y continuo alrededor del núcleo urbano ya existente localizado en la parte central del área de estudio y sobre la cobertura de tierras agropecuarias. De igual forma se definen los sitios óptimos, los cuales se ubican en la parte central del área junto a la infraestructura ya existente, estos son insumos para una adecuada gestión donde se establezca delimitaciones urbanas claras orientadas al uso eficiente y equitativo del territorio.

Palabras clave:

- **EXPANSIÓN URBANA**
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL**
- **ZONAS ÓPTIMAS**
- **ESTUDIO MULTITEMPORAL**
- **EVALUACIÓN MULTICRITERIO**

Abstract

Knowing the territory and evaluating it in terms of new uses is relevant in urban planning processes, especially if the aim is to create harmony between development and sustainability. The parish of Machachi in the canton of Mejía shows an urban growth in which areas are invaded without aptitude for this phenomenon, influenced by different social, environmental and economic factors, exerting a direct force on the surrounding parishes of Aloasi and Alóag, generating problems in different areas in the territory due to lack of planning. Therefore, through the application of geospatial information techniques, this research aims to conduct a study of the urban expansion process in the period (2001-2020), and define optimal areas for future growth in order to obtain inputs that help in the management of the territory. The methodology used is based on a multitemporal analysis of the years 2001, 2004, 2009, 2015, 2017 and 2020 through which coverage maps were obtained showing the growth process of the urban stain. Subsequently, with the inputs generated and with the selected cartography, a multi-criteria evaluation is developed to determine the optimal zones for future settlements within the study area. It was found that there is a progressive and continuous growth of the urban stain around the existing urban nucleus located in the central part of the study area and on the agricultural land cover. Optimal sites are also defined, which are located in the central part of the area next to the existing infrastructure. These are inputs for an adequate management where clear urban delimitations oriented to the efficient and equitable use of the territory are established.

Key words:

- **URBAN EXPANSION**
- **LAND USE PLANNING**
- **OPTIMAL ZONES**
- **MULTITEMPORAL STUDY**
- **MULTICRITERIA EVALUATION**

Capítulo I

Aspectos Generales

El presente capítulo corresponde a una introducción referente a la temática a tratar donde se describe los antecedentes, el problema a resolver con la ejecución del proyecto de investigación, y la importancia que este tiene en ámbitos geoespaciales y urbanos.

Antecedentes

El estudio de la dinámica del crecimiento urbano en la actualidad se ha convertido en uno de los temas de mayor relevancia debido a que con esto se puede entender el desarrollo temporal y espacial de las ciudades y los posibles efectos que pueden tener sobre el territorio (P. Coello, 2019). El crecimiento urbano puede estar definido como la expansión espacial y demográfica de la ciudad causado por aspectos como la extensión física del tejido urbano, el incremento en las densidades de construcción y población o una combinación de los dos, generándose de manera espontánea o planificada. (H. O. Alvarado & Araya, 2014)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2018, en su publicación “Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo” expone que la urbanización seguirá de forma continua y acelerada, además estima que para el 2050 un 68% de la población mundial vivirá en zonas urbanas y el 95% de la expansión urbana se desarrollarán en los países de ingresos bajos y medios, lo que asegura que las ciudades se encuentran en un fuerte proceso de expansión (ONU, 2018). La expansión urbana se convierte en un fenómeno de ocurrencia mundial que generalmente se presenta en las periferias de las ciudades al igual que en las zonas

rurales ya sea por recursos o actividades de producción, y ante este acontecimiento se forman ciudades emergentes con baja densidad poblacional y una alta segregación, sin planificación en la selección de áreas óptimas para el crecimiento urbano lo que las convierte en focos de problemas de diferente índole. (Rocca & Sgroi, 2012)

El Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) en 1987 en su publicación “El espacio urbano en el Ecuador”, argumentan que el País mantiene el fenómeno de urbanización como el resto de los países de la región andina, y que la tasa de crecimiento de la población urbana en América Latina y Ecuador fue de 4.17% y 4.2% respectivamente entre los años de 1960 a 1979, lo que determina un notorio crecimiento de la población urbana en Ecuador (ORSTOM & IPGH, 1987). El país en el año 2015 era en su mayor parte urbano que rural, y se acrecentó en los últimos treinta años desde 1980 hasta el 2010, con un crecimiento urbano que iba a un ritmo acelerado que ha resultado en problemas socio espaciales que repercuten en el territorio y la población (MIDUVI, 2018). Por otro lado, se evidencia a su vez que el Ecuador posee un modelo urbano de desarrollo que no es sustentables refiriéndose a términos sociales, ambientales y también económicos formando ciudades inequitativas provocado por la falta de gestión y planificación del territorio, esto según el Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible expuesto por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (P. Coello, 2019)

El Ecuador es uno de los países predominantes en urbanizarse y es importante poner atención a esta tendencia al momento de planificar las ciudades, refiriéndose específicamente a la ciudad de Machachi, está constituye el principal centro urbano del

cantón Mejía, es la cabecera cantonal y la parroquia urbana más desarrollada del territorio, convirtiéndose en uno de los centros de acopio y de intercambio comercial más importante de la provincia de Pichincha (Boada, 2014). La parroquia de Machachi es considerada como una parroquia con una alta potencialidad para realizar actividades agrícolas y ganaderas debido a su clima, sus suelos fértiles y su ubicación geográfica. Sin embargo, en los últimos 11 años el área urbana se ha expandido hacia el área rural de manera desordenada, invadiendo suelos con aptitudes agropecuarias de la parroquia, produciendo la pérdida de productos agrícolas y productos ganaderos. A raíz de esto se ve en la necesidad de establecer un correcto manejo de su espacio territorial, para contar con una área urbana planificada y ordenada, con crecimiento regulado y sostenible. (Robayo, 2018)

En la parroquia de Machachi se han realizado varios estudios referentes al crecimiento urbano, uno de ellos es el propuesto por Dávila (2013) “Análisis multitemporal del crecimiento poblacional de la ciudad de Machachi con la utilización de ortofotos”, su estudio está enfocado a la ciudad propiamente y a través del uso de ortofotos realiza un análisis multitemporal del crecimiento poblacional, donde se logra apreciar un crecimiento desordenado, que resulta en la dispersión de las zonas concentradoras de población y dificulta la planificación urbana además de la aplicación de políticas públicas para gestionar el territorio.

Boada (2014) con el tema “Modelamiento de crecimiento urbano de la ciudad de Machachi para la planificación de servicios básicos con el uso de SIG” en el cual analizó el patrón de crecimiento de la población de la ciudad para poder planificar de mejor manera la dotación de los servicios básicos en la zona aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), generó áreas de crecimiento urbano como apoyo a la

toma de decisiones en la planificación, gestión y evaluación de políticas referentes al territorio y concluye con que el crecimiento urbano de la ciudad esta caracterizado por el fraccionamiento del terreno agrícola causado por la falta de planificación adecuada.

Por otra parte, Robayo (2018) en su estudio “Propuesta de reordenamiento de uso de suelo rural en la parroquia de Machachi para la conservación de tierras agrícolas y ganaderas”, genera la propuesta de reordenamiento a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) tomando en cuenta criterios de tipo físicos, ambientales y legales dejando a un lado los económicos, de infraestructura y de servicios concluyendo que el crecimiento de la mancha urbana en los últimos años tiene una tendencia que si no es controlada a tiempo con una adecuada planificación que tome en cuenta el ámbito ambiental y no solo el social ocasionará la pérdida del suelo dejando graves afectaciones al territorio y la población.

Con los antecedentes expuestos se observa que la parroquia de Machachi ha sido considerada una zona para la aplicación de investigaciones en el ámbito urbano, sin embargo, dentro de la misma no se ha elaborado un estudio sobre determinar zonas óptimas de expansión urbana en toda su área, además de analizar la tendencia del crecimiento urbano aplicando las técnicas de información geoespacial. Es por esto que la presente investigación permitirá localizar espacios en el territorio que tengan la aptitud para soportar el futuro crecimiento urbano convirtiéndose en un insumo para los actores de forma que se tenga un desarrollo planificado y ordenado de la parroquia.

Planteamiento del Problema

El ritmo acelerado con que la población crece resulta en un desorden en cuanto a la expansión de las áreas urbanas, generando un incumplimiento en la planificación

que se establece en cuando a un desarrollo adecuado de los territorios y siendo uno de los principales problemas de la gestión y ordenamiento territorial (León, 2015). La expansión urbana se convierte en un fenómeno que resulta en el deterioro de la naturaleza, debido a que a medida que crecen las ciudades los mercados de tierras urbanas van ejerciendo presión sobre los sistemas naturales circundantes. (Geoplades, 2009)

Una vez que se construye una ciudad, su estructura física y patrones del uso del suelo pueden permanecer durante generaciones, dando lugar a una expansión insostenible que conlleva una presión sobre la tierra y los recursos naturales que producen resultados indeseables. Alrededor del 90% de la expansión urbana de los países en desarrollo se registra en áreas próximas a zonas de riesgo y se traduce en asentamientos informales y no planificados generando problemas sociales, económicos y ambientales. (Grupo Banco Mundial, 2020)

Entre las características de la expansión Coello (2019) expresa que las zonas urbanas no se expanden de una forma homogénea y equilibrada en el suelo del territorio, en este sentido la parroquia de Machachi presenta una misma tendencia ya que se logra observar un desordenado crecimiento de las áreas urbanas, en donde en muchos de los casos se invaden suelos que no son aptos para soportar la carga de un desarrollo urbano, repercutiendo en problemas ambientales y sociales, producidos por la ausencia de control, planificación, además de una reglamentación y normativa urbana clara y conveniente, logrando que no se asegure el acceso a servicios básicos y equipamientos urbanos. (Robayo, 2018)

A raíz de esto, el planteamiento del presente proyecto de investigación parte de la premisa de que los procesos de planificación son viables y contribuyen a la gestión

de un crecimiento equilibrado y armónico del espacio territorial, por lo que se consideró importante determinar zonas óptimas para expansión urbana aplicando técnicas de información geoespacial de forma que sirva para tener un espacio urbano ordenado y conforme a lo que se establece en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, tomando el caso de estudio de la parroquia de Machachi del cantón Mejía.

Justificación e importancia

El desordenado proceso de expansión urbana que se ha venido dando sobre todo en los países en vías de desarrollo por la necesidad de espacios para nuevos asentamientos humanos se ha convertido en uno de los principales problemas del ordenamiento territorial (Jami, 2019). Pues al no contar con una adecuada planificación la población se asienta en zonas que no tienen la aptitud para soportar dicha demanda, ni las condiciones para ser consideradas como lugares habitables, sin embargo, si la urbanización se gestiona y planifica adecuadamente puede contribuir al crecimiento sostenible y equilibrado de una ciudad, representando un potencial amplio donde se garantice un adecuado desarrollo urbanístico y ocupación racional del suelo que minimice el impacto negativo sobre el mismo. (Domínguez & Díaz, 2013)

En este contexto se debe resaltar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados como iniciativa por las Naciones Unidas, que engloban temáticas muy importantes como el desarrollo sostenible, la inclusión social, el crecimiento económico y la protección del medio ambiente. En este punto se hace énfasis en lo que indica el décimo primer objetivo “Ciudades y Comunidades sostenibles”, el cual aborda que la planificación del territorio es primordial para lograr disminuir la vulnerabilidad ante cualquier tipo de desastres, así como proteger el patrimonio cultural y natural, reducir el tiempo de impacto ambiental por parte de las ciudades, de la misma manera se puede

desarrollar un sistema de transporte seguro y accesible, viviendas y servicios básicos adecuados, vínculo entre las zonas urbanas y rurales y sobre todo la óptima ubicación de zonas verdes y espacios públicos inclusivos y muy seguros. (ONU, 2015)

Se vuelve importante mencionar que los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se encuentran vinculados con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) “Toda una vida” el cual es en una herramienta importante para la planificación que con la finalidad de que se logre cumplir con dichos objetivos se organiza en tres Ejes Programáticos y nueve Objetivos Nacionales de Desarrollo sobre la base de sustentabilidad ambiental y el desarrollo territorial, y señala las estrategias territoriales a nivel nacional con la finalidad de promover las capacidades del territorio, estructurar acciones para el cumplimiento de los objetivos nacionales y establecer las directrices para la acción pública. (ODS Territorio Ecuador, 2018)

Conocer el territorio y evaluarlo en función de nuevos usos cobra importancia dentro de los procesos de planificación urbanística, especialmente si se trata de crear armonía entre desarrollo y sostenibilidad, no obstante, estudiar el territorio se convierte en un tema complejo tanto por la heterogeneidad de factores a considerar como por la dificultad de su análisis en conjunto, pero frente a este problema las tecnologías geoespaciales se convierten en herramientas útiles brindando la oportunidad para procesar y relacionar variables territoriales. Además, los procedimientos metodológicos basados en técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) cobran relevancia ya que permiten analizar el espacio geográfico de un territorio con fines de apoyo a su planificación, mostrando resultados satisfactorios y ayudando así a la toma de decisiones (Principi, 2017)

De esta manera, la presente investigación resulta ser un aporte al cantón Mejía, concretamente a la parroquia de Machachi debido a que intenta analizar cuál es la tendencia de crecimiento de las áreas urbanas en los últimos 19 años para así definir espacios óptimos para los futuros asentamientos, la temática cobra importancia no solo en el sentido de determinar zonas óptimas para expansión urbana, sino también que servirá de apoyo para el adecuado y planificado desarrollo de la ciudad, priorizando el uso eficiente y equitativo del espacio territorial.

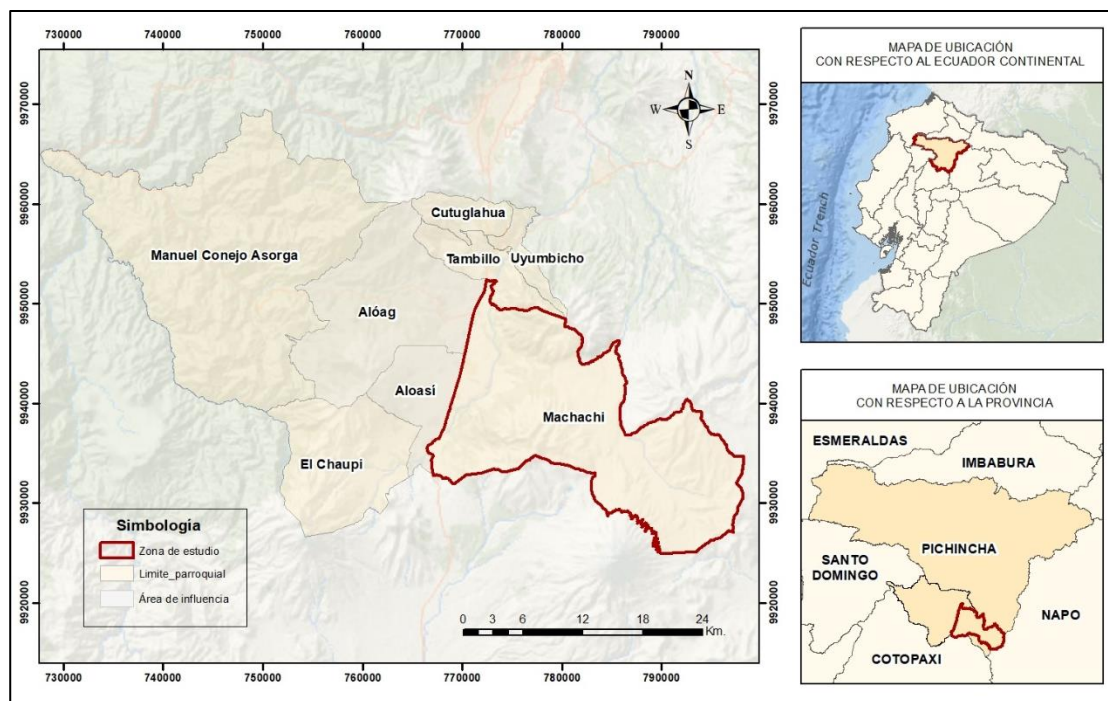
Área de estudio

El área de influencia para la presente investigación es la parroquia de Machachi ubicada en el sur de la provincia de Pichincha, en el centro norte de la Región Interandina del Ecuador, forma parte del cantón Mejía siendo la cabecera cantonal del mismo.

Machachi se encuentra a 2945 m.s.n.m con una superficie aproximada de 467.99 km² y limita al Norte con las parroquias de Tambillo, Uyumbicho, el cantón Rumiñahui y el cantón Quito, al Este con el cantón Archidona, al Sur limita con el cantón Latacunga y al Oeste limita con las parroquias de Aloasí y Alóag siendo estas consideradas como áreas de influencia y siendo de interés para el estudio.

Figura 1

Ubicación de la zona de estudio



Objetivos

Objetivo General

Determinar zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial.

Objetivos Específicos

- Elaborar una Geodatabase con información estructurada de las variables geoespaciales mediante el uso de herramientas geo-informáticas.

- Realizar un estudio del proceso de expansión urbana a través de un análisis multitemporal para determinar la tendencia de crecimiento en la parroquia de Machachi.
- Modelar las variables geoespaciales para ser analizadas mediante las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) de forma que se logre identificar las zonas con aptitud para expansión urbana.
- Realizar una valoración de los resultados obtenidos en la Evaluación Multicriterio con el fin de elaborar una propuesta de crecimiento urbano planificado.
- Generar un repositorio web con la información resultante a través de servidores de mapas.

Metas

- 1 Geodatabase con la información estructurada de las variables geoespaciales
- Mapas del proceso de expansión urbana en el periodo (2001-2020)
- Mapa resultante de la Evaluación Multicriterio donde se identifiquen las zonas óptimas para expansión urbana.
- Propuesta de crecimiento urbano planificado.
- 1 repositorio web con la información resultante

Hipótesis

La aplicación de técnicas de información geoespacial permite identificar las zonas óptimas de expansión urbana para tener un espacio ordenado y planificado.

La zona urbana en la parroquia de Machachi presenta una tendencia de crecimiento hacia el noreste del territorio, y los sitios para su futura expansión urbana se ubican en mayor proporción en el centro norte de la parroquia.

Capítulo II

Marco teórico

El presente capítulo se encuentra dividido en tres secciones que comprenden la base teórica, base conceptual y base legal que han sido la guía y sustento para el desarrollo del proyecto de investigación, englobando temáticas relacionadas con el área urbana, la planificación territorial, y las técnicas geoespaciales.

Base teórica

Determinar zonas óptimas para expansión urbana a través de técnicas de información geoespacial conlleva entender sobre algunas de las teorías pertenecientes a la Geografía Urbana y de principios y leyes de la Geografía relacionadas con el análisis espacial que permitan tener una base para el desarrollo del presente trabajo.

Las teorías relacionadas a la geografía urbana se relacionan con los aspectos espaciales del desarrollo urbano y por lo tanto estudia a la ciudad y los procesos de urbanización influenciados por aspectos como: los cambios sociales y económicos, la aparición del sistema urbano y el crecimiento de las áreas urbanas (Morales Gil & Delgado Viñas, 2016). En este contexto se hace especial énfasis al crecimiento urbano, Capel (1975) argumenta que para estudiar debidamente este fenómeno es necesario aclarar las características que distinguen a una zona urbana de forma que se pueda establecer con claridad los límites espaciales, por tal señala que entre las principales características del fenómeno urbano se encuentran la densidad y el tamaño, actividades de tipo no agrícola, el estilo de vida, y además la forma del núcleo como también aspectos sociales (Capel, 1975). Las zonas urbanas son aquellas cuyo suelo está ocupado por la agrupación de asentamientos humanos a diferentes escalas con

equipamientos e infraestructuras de servicios básicos interrelacionados con los espacios públicos y privados. Además, se caracterizan por tener una mayor densidad poblacional y generalmente el precio de la superficie es más elevado por la dinámica de las actividades productivas y de los mismos servicios básicos. (LOOTUGS, 2016)

Expuesto lo anterior, al referirse al crecimiento urbano este se entiende como el incremento demográfico, económico y físico de la ciudad producido por factores como la demanda de suelo para la ubicación de nuevas viviendas y de otras actividades relacionadas con esta finalidad, a su vez responde a la necesidad de suelo para atender los requerimientos de la población en relación a equipamientos, infraestructura, servicios básicos, transporte, entre otros (Santacruz, 2013). El proceso de crecimiento urbano empieza cuando se da un cambio de uso del suelo de rural a urbano, donde el primer cambio que se presenta es el valor del suelo; a medida que la ciudad se expande y añade suelo rural al perímetro urbano para futuros desarrollos. Ordoñez (citado en M. Romero, 2015), menciona que en este proceso se crean las áreas suburbanas que están definidas como las zonas de transición entre el suelo urbano y el rural, y por ende se entienden como zonas susceptibles de incorporar al suelo urbano presentándose así el fenómeno de expansión urbana. (M. Romero, 2015)

Al mencionarse la expansión urbana se vuelve importante decir que en la actualidad se ha convertido en uno de los temas de mayor relevancia con respecto a los estudios territoriales, y aunque ha sido objeto de debate se puede definir como el aumento de la mancha urbana que se presenta en cualquier territorio con un patrón irregular y no planificado originado generalmente por el crecimiento de la población ya sea por natalidad, por el fenómeno migratorio o por múltiples procesos que normalmente conducen a la utilización ineficiente de recursos. (Pombo, 2017)

Las poblaciones en su proceso de crecimiento necesitan una expansión del territorio y como producto de este fenómeno se puede evidenciar una tendencia de tres modelos diferentes tales como: la ciudad compacta entendida como un modelo de ciudad que estimula la cohesión social, garantiza la justicia urbana y promueve el uso del espacio público que potencia las diversas actividades desarrolladas en su contexto con efectos positivos en diversos ámbitos (ecológicos, sociales y culturales); por otro lado está la ciudad dispersa que se caracteriza por la preferencia del interés particular sobre el interés común y se evidencia la baja densidad poblacional, la proliferación de zonas periféricas, la fragmentación del territorio, el aislamiento espacial y gran relevancia para los vehículos particulares con la consiguiente contaminación ambiental, y por último se tiene a la ciudad policéntrica la cual es la ciudad que combina el desarrollo y cooperación competitiva a nivel económico, social y medioambiental, articulados a través de eficientes redes de comunicación. (Alarcón, 2020; Macchiavelli, 2017)

Nogués y Salas (2010), argumentan que dichos modelos se vuelven en una clasificación teórica ya que en la realidad se llega a formar una mezcla entre los mismos, pero con diferencia en cuanto a la intensidad produciendo zonas urbanas híbridas, y en ese aspecto el crecimiento de la infraestructura de la ciudad debe estar direccionado en aprovechar el espacio y tener una conectividad eficiente en cuanto a equipamiento y servicios. (Nogués & Salas, 2010)

Es un hecho que la expansión urbana trae consigo consecuencias como crecientes demanda de suelo, equipamientos, servicios, infraestructuras, sistemas de transporte, entre otras, como también la pérdida de la funcionalidad de la ciudad debido a que en algunos casos este proceso es discontinuo, y ocasiona una gran presión sobre

el territorio que no tiene la aptitud para soportar dicha demanda, además, se puede decir que este fenómeno no toma en consideración la sostenibilidad ambiental así como tampoco el suelo como un recurso natural no renovable, problema que se observa con mayor frecuencia en todas las ciudades en general. (Santacruz, 2013)

La presencia de este fenómeno sin una planificación previa genera el fraccionamiento del suelo, segregación socio espacial de la población, dispersión, aparecimiento de asentamientos de población en zonas de riesgo o en suelos con fuertes pendientes, asentamientos informales, entre otros. En definitiva, la planificación se convierte en la clave para un buen ordenamiento del territorio, pues al generar medidas y propuestas de regulación, intervención y gestión tomando en cuenta aspectos de tipo sociocultural, ambiental, políticos y económicos se puede lograr un desarrollo urbano equilibrado y ordenado (Jami, 2019).

Bosque y García (2000) expresan que desde un punto de vista geográfico la planificación territorial supone principalmente el establecimiento de los usos más apropiados para cada porción del territorio. La decisión sobre cuáles son estos usos depende, entre otros factores, de razones y criterios derivados de la conservación del ambiente natural y debe tener en cuenta tanto la vocación "intrínseca" de cada punto del territorio, determinada por su aptitud para cada uso o actividad, como el impacto potencial que tendrá sobre el medio ambiente la realización de una determinada actividad en ese punto del territorio (Bosque & García, 2000).

Daga (2009) menciona que uno de los aspectos más importantes de la planificación es la designación de sitios aptos para un apropiado uso del suelo, basados en un conjunto de criterios locales que benefician a la comunidad. Las diversas características de un sitio (uso del suelo, pendiente, disponibilidad de agua, distancia al

trabajo, etc.), influyen en la aptitud para un uso específico del territorio, un sistema de valores y ponderación se puede aplicar a los diversos aspectos para establecer la aptitud total de un uso de suelo específico, esto se logra gracias a la evolución de las técnicas de información geoespacial y un mayor acceso a las mismas, convirtiéndose en herramientas útiles para la planificación. (Daga, 2009)

Al combinarse las posibilidades de análisis que presentan estas técnicas para el entendimiento de la dinámica del suelo y su territorio llevadas bajo la planificación y ordenamiento se define la capacidad suficiente para responder a temáticas relacionadas con la capacidad de carga del territorio, distribución de infraestructuras, una adecuada ubicación para los futuro asentamiento, entre otras que ayuden a garantizar la calidad referente a administración, control y distribución de recursos y espacios en el territorio. (Lazo, 2014)

Base Conceptual

Urbanización

Fuentes y Pezoa (2019) expresan que estudiar propiamente lo urbano es algo complejo, pues es necesario realizar esfuerzos para poder definirlo y así analizar el alcance y las características de este fenómeno (Fuentes & Pezoa, 2019).

El proceso de urbanización inicio junto con la Revolución Industrial, transformándose en una de las características más importantes del siglo XX, adquiriendo gran rapidez e influyendo en que la población se concentre cada vez más en las ciudades (Pombo, 2017). Este proceso no puede ser definido únicamente bajo un enfoque de apropiación humana del espacio, debe considerarse sobre todo como un proceso donde se articulen los aspectos sociales, económicos, culturales y políticos entre grupos y clases sociales (Lozano, 1971). Para García (2008) este es un proceso

social global cuya dinámica se define por la interrelación de un conjunto de variables, estructuras y procesos siendo la más importante la dinámica poblacional la cual ocupa un espacio y lo convierte en un territorio con diferentes formas de apropiación. (García, 2008)

La urbanización es un fenómeno que se ha presentado a lo largo de la historia, puede entenderse como el crecimiento físico y el cambio de extensión o de magnitud de las áreas urbanas causado por los cambios locales y globales (Lewin et al., 2011). Y en base a algunas perspectivas empíricas se puede mencionar que el origen de la urbanización nace en el momento que la población urbana tiene un ritmo de crecimiento mayor que el de la población total. (V. Mejía, 2014)

Crecimiento urbano

Este término está definido como el crecimiento en aspectos como demografía economía y la parte física de la ciudad, es decir un incremento referente a la superficie urbana como resultado de la demanda de suelo para uso urbano. (Cerde, 2007)

Alvarado (2010) expresa que se entiende por crecimiento urbano a la expansión espacial y demográfica de la ciudad, ya sea por extensión física territorial del tejido urbano, por incremento en las densidades de construcción y población o como generalmente sucede por ambos aspectos, dicha expansión puede darse de forma espontánea o planificada. (H. Alvarado, 2010)

Expansión urbana

Se refiere al crecimiento de nuevas periferias residenciales como una de las transformaciones más relevantes de las regiones urbanas en los últimos años. Es un proceso por el cual se determina el crecimiento de la capacidad receptiva del organismo

urbano debido al incremento de población y de las diversas actividades que en él se desarrolla. (Rojas A. 2012).

El fenómeno de expansión urbana asociado al crecimiento físico de las ciudades, presente diversas definiciones, en este punto una definición afirma que: “la expansión urbana se considera tanto, como un patrón de suelo urbana (una configuración espacial de un área metropolitana) como un proceso, es decir como el cambio en la estructura espacial de las ciudades en el tiempo” (Pombo, 2017). Por otro lado, Bruegmann (citado en Lara et al., 2017)) establece una definición más precisa al afirmar que la expansión urbana es el “desarrollo urbano disperso y de baja densidad que resulta de la ausencia de un proceso de planeación sistemático o de una planeación de uso del suelo a escala regional” (Lara et al., 2017)

Ordenamiento Territorial

Existen diversas definiciones de ordenamiento territorial; se tiene así que según la Secretaria Técnica Planifica Ecuador (2014), el ordenamiento territorial es: “El proceso que permite organizar las actividades y recursos en el territorio de acuerdo a las estrategias de desarrollo socioeconómico, en armonía con las particularidades geográficas y culturales”.

Para Vargas (2002) el ordenamiento territorial se entiende como regular y controlar la ocupación, utilización y modificación del espacio o territorio conjuntamente con el bienestar colectivo, prevención de desastres y aprovechamiento de los recursos en un sentido sostenible. (Vargas, 2002). El ordenamiento territorial identifica, distribuye y regula las actividades humanas dentro del territorio, el cual debe estar ordenado para poder acogerlas, se convierte en un instrumento relevante para el desarrollo y se puede caracterizar como la proyección en el espacio del conjunto de políticas económica, social, cultural y ambiental, que establecen un desarrollo definido en el territorio,

además tiene por objetivo el desarrollo socioeconómico y equilibrado del territorio, la mejora de la calidad de vida, la gestión adecuada de los recursos y la utilización racional del espacio. (Santacruz, 2013)

Se puede expresar también que el termino ordenamiento territorial engloba un proceso que facilita ordenar el uso y ocupación del territorio, tomando en cuenta las potencialidades, limitaciones como las necesidades de la población. Y en este aspecto las entidades del sector público y Gobiernos Autónomos Descentralizados responsables de la administración de las sociedades pertenecientes a los diferentes niveles de gobierno, deben ser quienes se encarguen de esta gestión y verifiquen el cumplimiento de las funciones para que exista un territorio eficiente que vaya de la mano con los intereses colectivos y resulten en una convivencia óptima. (Coello, 2019)

Para Gómez Orea (2003), el ordenamiento territorial hace referencia a la acción conjunta y complementaria de tres facetas: el diagnostico territorial que analiza los aspectos históricos y tendencias del territorio, la planificación territorial que son las acciones para lograr el uso y ocupación del suelo de manera ordenada y la gestión territorial que son las diligencias para lograr los objetivos deseados. (Gómez, 2003)

Diagnóstico Territorial

El diagnostico territorial hace referencia a la interpretación del territorio en cuanto a la trayectoria historia y su evolución, de forma que se pueda detectar los conflictos que operan en él, los problemas actuales como también las potencialidades que presenta (Gómez & Gómez, 2014). Además, se entiende como la primera aproximación a la realidad del territorio motivo de estudio, analiza las características favorables, así como también los problemas más significativos que se presentan sin olvidar las oportunidades y amenazas que vienen del contexto anterior. (Aguirre, 2014)

Vega (2004) expresa este término engloba la formulación y articulación de instrumentos y políticas públicas además de la definición de mecanismos para la evaluación y seguimiento en los procesos y tomas de decisiones (Vega, 2004). En definitiva, se puede decir que se entiende por diagnóstico a la etapa en la cual se realiza una valoración de las potencialidades y limitaciones del territorio, se analiza la capacidad endógena y el potencial exógeno del mismo basado en las conexiones con otros territorios e identificando los principales problemas, es un proceso cíclico debido a que su desarrollo requiere de una permanente retroalimentación entre los diversos actores sociales, agentes económicos residentes en el territorio además de técnicos de las instituciones públicas de forma de que se llegue a consensos. (F. Coello, 2017)

Planificación territorial

Se entiende por planificación territorial las actividades, realizadas por cualquier agente público o privado, para establecer políticas que deben ser seguidas por la población y otros agentes económicos en cuanto al uso de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la localización óptima de las diferentes actividades. (Bosque & García, 2000)

Para Gómez (2001) la planificación territorial es un proceso técnico y estratégico que tiene una orientación hacia el futuro, ya que permite prever y decidir las acciones que pueden llevar desde el presente hasta un futuro deseable. Tiene por objetivo tomar decisiones que estén basadas en criterios racionales que definan la estructura espacial en la que se vayan a ubicar las actividades establecidas en las políticas de desarrollo (Gómez Orea, 2001). Es de importancia que esta disciplina se aproveche de la mejor manera con la finalidad de que se gestione responsablemente los recursos y se aproveche racionalmente el territorio.

Gestión Territorial

La gestión territorial corresponde a la continuación de los planes de ordenamiento y planificación, y se la puede definir como la mayor y mejor administración del espacio territorial y de sus recursos naturales, mediante la aplicación de políticas y metodologías que incluyen la participación de todos los actores en favor de una mejor calidad de vida. (H. Alvarado, 2010)

Para Mondragón (2018) la gestión territorial es “la implementación de un conjunto de acciones institucionales sobre el territorio, encaminadas a conseguir los objetivos emanados de una política de planificación en la que se señalan directrices para configurar un modelo territorial deseable”.(Mondragón Rivera, 2018)

Es el componente regulador de todo el proceso territorial, pues no solamente abarca las políticas, sino que también es un articulador de todos los procesos, planes y estrategias, el cual integra todos los elementos físicos, sociales, ambientales, económicos del territorio, es decir es la articulación de todos los procesos del estado. (Cruz, 2019)

Análisis espacial

Es una herramienta que permite la manipulación de diversos datos espaciales, tiene la capacidad de representar las características, dinámicas y los comportamientos de diferentes procesos ya sean sociales, económicos o ambientales que se desarrollan en el territorio; logrando definir los elementos que los conforman y la forma en cómo se relacionan, permitiendo así que se pueda transformar los datos en información que sea apoyo en la formulación de alternativas y propuestas enfocadas en beneficiar el espacio de interés. (Ojeda & Tovar, 2016)

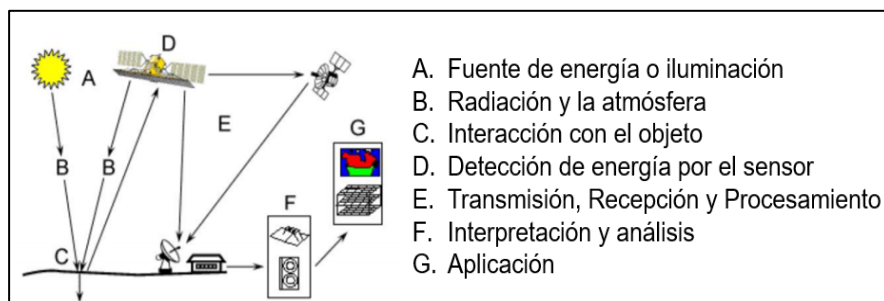
El análisis espacial pone en evidencia estructuras y formas de organización en el medio geográfico, los modelos centro-periferia, tramas urbanas jerarquizadas, tipos de redes o de territorios, analiza los procesos que están en el origen de las estructuras antes mencionadas. El análisis espacial, se vale de conceptos como la distancia, interacción espacial, alcance espacial, estrategia o elección espacial, territorialidad, leyes de la espacialidad vinculadas con esas formas y procesos y que están integradas con las teorías y modelos del funcionamiento y evolución de sistemas espaciales. (Montezuma, 2009)

Teledetección

La teledetección o percepción remota está definida como la técnica que permite la obtención de información a distancia con respecto a objetos situados sobre la superficie terrestre. Esta técnica se realiza a través de sensores a bordo de satélites aerotransportados, los cuales miden la radiación electromagnética que reflejan los objetos sobre la superficie terrestre permitiendo obtener información a distancia con respecto a los objetos. (Chuvienco, 2008)

Figura 2

Proceso de teledetección



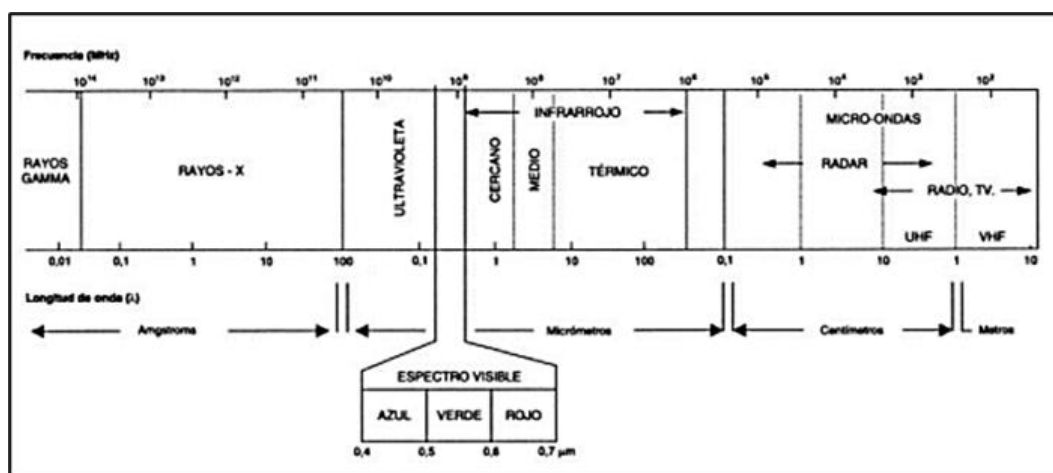
Nota. El gráfico presenta el proceso de teledetección además de sus elementos básicos para su correcto desarrollo. Recuperado de Sánchez (2012) y adaptado por el autor.

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas, alcanza desde longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X) hasta las kilométricas (telecomunicaciones), las cuales tienen frecuencias medidas en Hertz. (Chuvieco, 2008)

Figura 3

Espectro electromagnético



Nota. El grafico presenta la organización de longitudes de onda o frecuencia.

Recuperado de (Chuvieco, 2008)

Firma espectral

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. (Hernández & Montaner, 2009)

Sensores remotos.

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, la más común considera el procedimiento mediante el cual recibe la energía procedente de las distintas cubiertas, en este punto se logran diferencias dos tipos de sensores: activos cuando tiene la capacidad de emitir su propio haz de energía y pasivos cuando solo reciben la energía proveniente de un foco exterior a ellos. (Chuvieco, 2008)

Resoluciones del sensor remoto.

Chuvieco (1995) expresa que la resolución de un sensor remoto se puede definir como la habilidad para registrar información de detalle e implica al menos cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Resolución espacial. Se refiere al objeto más pequeño que se logra distinguir en una imagen, en unidades de longitud (mm sobre la foto o m sobre el terreno), además vale destacar que este depende de la longitud en dirección al foco de la cámara y la altura sobre la superficie. (Chuvieco, 1995)

Resolución espectral. Indica el número de anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. (Chuvieco, 1995)

Resolución radiométrica. Se refiere a la sensibilidad del sensor, esto es a la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que capta. Suele expresarse mediante el número de bits que son necesarios para almacenar cada pixel. (Chuvieco, 1995)

Resolución temporal. Hace referencia a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la superficie terrestre. (Chuvieco, 1995)

Imágenes satelitales y tipos

La imagen satelital está definida como el conjunto de matrices, una por cada canal del sensor, en la cual se encuentran números del 0 al 255, donde el cero muestra que desde ese punto no llega nada de radiación y 255 que llega el valor más alto de radiación, en este sentido se conoce a estos valores como niveles digitales (ND). Cada pixel de la imagen viene determinado por un número entero, lo que representa la radiancia que es recibida por el sensor para una cierta área de la superficie terrestre y una determinada banda del espectro. (Arévalo Durán, 2019)

Según (Labrador et al., 2014) se pueden distinguir los siguiente tipos de imágenes que son captadas mediante el sensor digital a bordo del satélite, mismas que han sido detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1

Tipos de imágenes satelitales

Tipo	Descripción
Imágenes pancromáticas	Captadas a través de un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético, los datos obtenidos de estas imágenes se representan por medio de imágenes en escala de grises (imagen en blanco y negro).
Imágenes multiespectrales	Imagen que lleva en cada pixel valores numéricos, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor, convirtiéndose en el producto más útil ya que proporciona la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen.
Imágenes hiperespectrales	Se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos o miles, la medida de la

Tipo	Descripción
	reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie.

Nota. Descripción de los tipos de imágenes satelitales. Información tomada de Sánchez (2012).

Programa Landsat

Bravo (2017), expresa que el programa Landsat responde al conjunto de misiones de observación de la Tierra por medio de satélites administrados colectivamente por el Servicio Geológico de los EE. UU y por la NASA. (Bravo, 2017)

La flota Landsat Tierra - observación de la NASA presenta el flujo de datos más largo de la superficie de la tierra vista desde el espacio, proporciona al planeta información sin antecedentes sobre los cambios de la cubierta terrestre y sus efectos residuales desde 1972 con la misión Landsat 1 hasta la actualidad con la misión Landsat 8 (Medina, 2015).

Landsat 7

Puesto en órbita el 15 de abril de 1999 con un sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), misión a cargo de la NASA y su comercialización a través de la USGS. Tiene la capacidad de adquirir imágenes en un área definida desde los 81° en latitud norte hasta los 81° en latitud sur y en todas las longitudes del globo terrestre, su tamaño aproximado es de 170 km en dirección norte a sur por 183 km en dirección este a oeste, una resolución temporal de 16 días y radiométrica de 8 bits. (Bravo, 2017). En la tabla 2 se presentan las características de las imágenes Landsat 7.

Tabla 2*Características de las imágenes Landsat 7*

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 7 – Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	(B1) Azul	0.45-0.52	30
	(B2) Verde	0.52-0.60	30
	(B3) Rojo	0.63-0.69	30
	(B4) Infrarrojo Cercano (NIR)	0.77-0.90	30
	(B5) Onda corta infrarroja (SWIR1)	1.55-1.75	30
	(B6) Thermal	10.40-12.50	60* (30)
	(B7) Onda corta infrarroja (SWIR2)	2.09-2.35	30
	(B8) Pancromática	0.52-0.90	15

Nota: Características de las bandas de las imágenes Landsat 7. Adaptado de Bravo (2017)

Landsat 8

Satélite lanzado el 11 de febrero de 2013, operado por la NASA y la USGS, transporta dos sensores OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor). El satélite completa su órbita de 705km de altura cada 99 minutos y revisita un mismo punto sobre la superficie cada 16 días con desfase de 8 días con respecto al satélite Landsat 7, aproximadamente tiene un tamaño de 170 km escena en sentido de norte a sur por 183 km en sentido de este a oeste. (Bravo, 2017). En la tabla 3 se detallan las características de las imágenes Landsat 8.

Tabla 3*Características de las imágenes Landsat 8*

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 8 – Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared (TIRS)	(B1) Ultra azul (costero/aerosol)	0.43-0.45	30
	(B2) Azul	0.45-0.51	30
	(B3) Verde	0.53-0.59	30
	(B4) Rojo	0.64-0.67	30
	(B5) Infrarrojo Cercano (NIR)	0.88-0.88	30
	(B6) Onda corta infrarroja (SWIR1)	1.57-1.65	30
	(B7) Onda corta infrarroja (SWIR2)	2.11-2.29	30
	(B8) Pancromática	0.50-0.68	15
	(B9) Cirrus	1.36-1.38	30
	(B10) Infrarrojo térmico (TIRS1)	10.60-11.19	100*(30)
	(B11) Infrarrojo térmico (TIRS2)	11.50-12.51	100*(30)

Nota: Características de las bandas de las imágenes Landsat 8. Adaptado de Bravo (2017)

Preprocesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes implica la manipulación e interpretación de imágenes digitales registradas por sensores remotos (Coronado, 2001). Antes de que esta información pueda ser recogida de una forma que sea útil para un sistema de elaboración de mapas o sistema de información geográfica, los datos de imágenes satelitales deben prepararse de forma que se elimine la distorsión de la imagen debido

a las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información.

(Garcia et al., 2013)

Corrección geométrica

La corrección geométrica es un proceso a través del cual se corrigen desplazamientos y distorsiones geométricas que puedan estar presentes en una imagen, los mismos son provocados por la inclinación y la posición del sensor en el momento de la captura, los errores sistemáticos relacionados con la imagen y la influencia del relieve del terreno (Garcia et al., 2013).

Corrección radiométrica

La corrección radiométrica se define como el proceso que designan diferentes técnicas para modificar los niveles digitales (ND) originales, con la finalidad de simular lo que se podría encontrar dentro de una imagen captada en un momento real; cabe destacar que considera a las distorsiones que son provocadas por la atmósfera, al igual que problemas radiométricos resultantes del sensor en mal funcionamiento. (Chuvienco, 1995)

Corrección atmosférica

Esta corrección se basa en un procedimiento que tiene como objetivo corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera, permitiendo de esta manera, restar de la imagen los valores que éstas agregan a los datos de la imagen. (Aguilar et al., 2014)

Clasificación de imágenes

La clasificación de imágenes tiene como principal objetivo el de sustituir el análisis visual (clasificación) de imágenes, con técnicas cuantitativas de forma que se

automatice la identificación de rasgos de una escena, en forma general esto implica el análisis de imágenes multiespectrales y la aplicación de reglas de índole estadístico de forma que se determine la identidad del tipo de cobertura de cada pixel en una imagen. De forma más concreta es el proceso por el cual se distribuyen los pixeles de la imagen basados en valores asociados en un numero finito de clases de datos. (Coronado, 2001)

Las técnicas de clasificación permiten la transformación de imágenes crudas como fotografías aéreas, imágenes de satélite, entre otras, en datos temáticos o mapas, mismo que representaran la información con un diferente enfoque (Cervantes, 2014).

Clasificación supervisada

Dentro de la teledetección la clasificación supervisada está caracterizada por la necesidad del usuario para definir con la máxima precisión cada una de las categorías que se pretende discriminar partiendo para esto de una etapa de entrenamiento; esta etapa se encuentra a cargo del analista u operador que selecciona áreas de identidad conocida de la cubierta terrestre de interés (cultivos, forestaciones, suelos, etc.), delineándolas sobre la imagen digital bajo formas de rectángulos o polígonos, en donde los datos numéricos quedan archivados en la computadora como regiones de interés formando los datos de entrenamiento. (Alvarado Quinde & Espinoza Zambrano, 2018; Cervantes, 2014)

Una vez que esté formado el conjunto de entrenamiento, el siguiente paso es seleccionar un clasificador o algoritmo que se va a aplicar a la imagen, es decir que a cada pixel de la imagen se la asignara a una de las categorías formadas en la fase de entrenamiento. (Alvarado Quinde & Espinoza Zambrano, 2018)

Método de Máxima Probabilidad “Likelihood”. Es un método que tiene como base la obtención de la media y la desviación estándar para cada clase, permitiendo usar algún modelo de distribución de probabilidad; consiste en que se determine una asignación de clase para cada celda sobre la base de la varianza y la correlación de los valores de celda en las clases del conjunto de entrenamiento ROI's que se determinaron. (Alvarado Quinde & Espinoza Zambrano, 2018)

Salamanca (2018) expresa que es mayormente utilizado debido a que presenta mayor robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición de los datos originales, pues el algoritmo interpreta que los valores de celda en cada clase de ROI tiene una distribución gaussiana o normal para la asignación de la probabilidad de que un pixel pertenezca a cada clase y de esta manera el pixel se asigna a la categoría más probable a pertenecer. (Salamanca, 2018)

Método de Mahalanobis. Este método es similar al de máxima probabilidad, pero asume que las covarianzas de las clases son iguales; permitiendo con esto el cálculo de la probabilidad a partir de las verosimilitudes, que son más fáciles de calcular. (Alvarado Quinde & Espinoza Zambrano, 2018)

Método de Distancia Mínima. Es uno de los métodos más antiguos y se basa en la determinación de las medidas de cada clase, en las cuales la asignación se realiza hacia la clase con menor distancia, es decir que asigna cada celda a una clase con respecto al vector de medida que este más próximo en el espacio de variables; no obstante, alguno de los pixeles puede quedarse sin clasificar si se introduce una distancia máxima a una desviación estándar máxima. (Alvarado Quinde & Espinoza Zambrano, 2018)

Evaluación de la calidad de la clasificación

Se trata de un proceso que se realiza con la finalidad de determinar la confiabilidad de la clasificación realizada anteriormente, utilizando una matriz de confusión y el Coeficiente Kappa. (Ponce, 2010)

Matriz de confusión

Se caracteriza por ser una matriz cuadrada, con filas y columnas las cuales representan clases de cobertura y las categorías derivadas de la clasificación respectivamente. Esta matriz indica los conflictos que se presentan entre las diferentes categorías de uso y cobertura del suelo y su principal interés proviene de su capacidad para plasmar dichos conflictos de forma que se conozca la exactitud conseguida para cada una de las clases. (Chuvieco, 1995; X. Mejía & Moncayo, 2012)

Coeficiente Kappa

Índice estadístico que tiene la finalidad de comprobar la fiabilidad de una clasificación y en donde se analiza las relaciones entre las diferentes clases, en este sentido ha sido uno de los índices estadísticos más utilizados para validar imágenes temáticas obtenidas de datos de sensores remotos. El valor obtenido para el índice kappa definirá el grado de dependencia que existe entre dos clasificaciones una de referencia y otra a ser comparada en la matriz de confusión. (X. Mejía & Moncayo, 2012)

Tabla 4

Intervalo de aceptación de los resultados del índice Kappa

VALOR DE KAPPA	CALIDAD
≤ 0.00	Pésima

VALOR DE KAPPA	CALIDAD
0.00 – 0.20	Mala
0.20 – 0.40	Razonable
0.40 – 0.60	Buena
0.60 – 0.80	Muy Buena
0.80 – 1.00	Excelente

Nota. En la tabla se indican ciertos valores del índice kappa con relación al grado de concordancia. Datos caracterizados por Landis y Kock (1997) citado en X. Mejía & Moncayo, 2012, p. 115.

Tasa de cambio anual

La tasa de cambio representa a un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se presenta el proceso de cambio. La FAO (1996) propone la ecuación (3), donde se estima la tasa de cambio anual para cada clase en los diferentes periodos de tiempo a estudiar. (Ruiz et al., 2013)

$$TDA = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (3)$$

Donde:

TDA: Tasa de cambio anual; si se requiere en porcentaje se multiplica por 100.

S_2 : Superficie tiempo 2

S_1 : Superficie tiempo 1

n : Número de años entre los dos tiempos

Cobertura y uso del suelo

La cobertura del suelo se entiende como la cubierta biofísica que se logra observar sobre la superficie terrestre a diferencia del uso que está representado por las actividades además de insumos que el ser humano empieza en un determinado tipo de cobertura para producir, cambiar o mantener (Medina, 2015).

Este tipo de cartografía resulta básica en la planificación del territorio debido a que se vuelve importante conocer la dedicación actual de terreno para proponer cualquier mejora. (Morocho, 2013)

Leyenda temática

La leyenda temática se refiere al conjunto de clases que se han definido por el usuario de una determinada clasificación de acuerdo a un objetivo y tema del mismo. Cada leyenda es particular y mantiene las especificidades propias del mapa diferenciándose de otras por la escala en la que estas se emplean. (J. Pérez, 2016)

Para el presente estudio la leyenda temática aplicada se basa en el sistema de clasificación generado por el MAE- MAGAP – CLIRSEN (2014), misma que fue establecida en forma jerárquica combinando el nivel I que pertenece a las clases de cobertura/uso definido por el Panel Gubernamental de Cambio Climático (IPCC)

Tabla 5

Definiciones de la Leyenda temática Nivel I de la cobertura y uso de suelo.

NIVEL I	DEFINICIÓN OPERATIVA
Bosque	Comunidad vegetal de mínimo una hectárea, posee árboles de 5m de altura y un mínimo de 30% de cobertura del dosel o capa aérea vegetal.

NIVEL I	DEFINICIÓN OPERATIVA
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Áreas cubiertas por arbustos y vegetación herbácea producto de un proceso biológico natural, que no incluye áreas agropecuarias.
Tierras Agropecuarias	Áreas bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran dentro de una rotación entre estos.
Cuerpos de Agua	Área que se encuentra cubierta o saturada de agua estática o en movimiento, natural o artificial que reposa sobre la superficie terrestre por todo o una parte del año.
Zona Antrópica	Asentamiento humano y la infraestructura que lo complementa.
Otras Tierras	Áreas con poca o ninguna vegetación, afloramientos rocosos, glaciares y otras clases que no estén incluidas en ninguna de las otras categorías.
Sin Información	Corresponde a áreas que no han podido ser mapeadas.

Nota. Información obtenida del Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013-2014, escala 1:100000. MAE & MAGAP (2015, p. 7)

Análisis multitemporal

Bowen (2018), expresa que un análisis multitemporal a través de imágenes satelitales permite detectar cambios espaciales en clases temáticas (comúnmente cobertura y uso del suelo), y además conlleva estudiar la dinámica temporal de una determinada zona de estudio que incluye los espacios urbanos y rurales, entre otras. (Bowen, 2018)

Para Posada (citado en Coello, 2019) el análisis multitemporal requiere una serie de procedimientos previos sobre las imágenes con la finalidad de que se garantice la comparabilidad entre sus datos, en este contexto los tratamientos hacen referencia al

procesamiento digital orientado al análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes que involucran los siguientes pasos:

- Preprocesamiento: Enfocado en el procesamiento inicial de las imágenes seleccionadas, en donde se realizan las correcciones apropiadas de forma que se tengan insumos adecuados para su posterior tratamiento
- Mejoramiento: Se trata de procesos que realzan, enfatizan o suprimen características de una imagen en base al objetivo que se desee conseguir, esto con el propósito de mejorar la interpretación visual de la misma.
- Clasificación y análisis: Por último, se realiza la clasificación de datos digitales a través de diferentes algoritmos que permitan reconocer clases o grupos con características en común, las mismas que deben ser diferentes espectralmente y contener un valor con información para un posterior análisis.

Es importante señalar que, las imágenes deben estar separadas un tiempo mínimo de 3 años, ya que resulta ideal para revelar los cambios del área en estudio, además se debe procurar que sean de la misma con la finalidad de facilitar la interpretación y la confiabilidad en los resultados. (Jumbo, 2019)

El análisis multitemporal se convierte en una herramienta de gran relevancia para estudios relacionados con temáticas de ordenamiento y planificación de una zona, esto por la gran capacidad de identificar potencialidades y problemas dentro del territorio además de crear objetivos y reglamentos que ayuden a la conservación y el adecuado uso de recursos. (Geoplades, 2009)

Evaluación Multicriterio (EMC)

La evaluación multicriterio resulta en una herramienta de gran ayuda para la toma de decisiones espaciales que estén encaminadas a la planificación del territorio, ya que facilitan el establecimiento de usos de suelo y la definición de áreas óptimas, destinando zonas que presenten mayor aptitud y menor impacto posible. El EMC ayuda también en la evaluación de la aptitud del territorio, así como para el establecimiento de nuevas poblaciones, con lo cual es mucho más factible la administración del crecimiento urbano hacia las zonas más óptimas, conforme a las características de las actividades productivas de la población. (Da Silva & Cardozo, 2015)

Cabe mencionar que la evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión. Se basa en la ponderación y compensación de variables que van a influir de manera positiva (aptitud) o negativa (impacto) sobre la actividad objeto de decisión que deben ser inventariados y clasificados previamente. (J. G. Romero, 2016)

Los métodos de decisión multicriterio se clasifican de dos formas: discretos cuando las alternativas de solución son finitas y multiobjetivo cuando el problema toma un número finito de valores y conduce a un número infinito de alternativas. Entre los métodos discreto más utilizados se tienen: WMS (Modelo de suma ponderada), aplicada cuando los criterios se pueden plantear en las mismas medidas. WMP (modelo de producto ponderado), se diferencia puesto que elimina las unidades de medida. AHP (Proceso analítico jerárquico) permite obtener evaluaciones numéricas de fenómenos cuantitativos y cualitativos. (Arcos, 2020)

Componentes de la Evaluación Multicriterio.

Coello (2019) describe que la EMC puede resumirse como un proceso que necesita los pasos y componentes que a continuación se detallan:

- Definir el objetivo: Se refiere a un análisis claro del objetivo de estudio, permitiendo identificar hacia donde está orientada la investigación.
- Criterios de evaluación: Permiten establecer la base para la toma de una decisión, antes de realizar la evaluación. Existen dos tipos de criterios, restricciones consideradas como criterios que descartan la zona de estudio y factores que tienen influencia en la viabilidad de la meta u objetivo planteado.
- Reglas de decisión: Corresponden a procedimientos de los cuales se obtiene una evaluación.
- Evaluación: Hace referencia a la normalización, ponderación, y jerarquización de los datos obtenidos aplicando los criterios seleccionados.

Métodos de Evaluación Multicriterio

Para Montserrat & Barredo (citado en Bone, 2019), los distintos métodos dentro de la EMC se diferencian por sus procedimientos matemático-estadísticos que cambian, tanto a la matriz de evaluación como a las prioridades. Cada uno de estos métodos contiene un determinado número de requerimientos, características y propiedades que los hacen únicos, entre los principales se encuentra:

- Suma Lineal Ponderada: Esta es la técnica que generalmente se utiliza para llevar a cabo toma de decisiones espaciales multiatributo, pues

permite la ponderación de una serie de alternativas en función de un grupo de criterios. (J. G. Romero, 2016)

- Jerarquías Analíticas: Consiste en la comprensión intuitiva de problemas complejos a través de la construcción de un modelo jerárquico, teniendo como principal propósito generar una estructura visual del problema mediante la implementación de un modelo que contiene tres niveles: objetivos, criterios y alternativas. (J. G. Romero, 2016)
- Análisis de concordancia: Basado en la comparación de diferentes alternativas por pares resultando en una clasificación ordinal. (Lamelas Gracia, 2014)
- Análisis del punto ideal: Esta técnica ordena el conjunto de alternativas a partir de la separación del punto ideal considerado como inalcanzable. (Lamelas Gracia, 2014)

Plata Rocha, et al. (2010) expresan que las técnicas de evaluación multicriterio junto con los sistemas de información geográficas son las herramientas más útiles para diseñar modelos territoriales óptimos ya que consideran la aptitud e infraestructura del territorio para que sobre el mismo se desarrolle una actividad específica. (Plata Rocha et al., 2010)

Método Analítico Jerárquico (AHP)

Se trata de un método propuesto por Thomas Saaty en 1980, que ayuda en la toma de decisiones permitiendo generar escalas de prioridades basadas en juicios de expertos manifestadas a través de comparaciones pareadas por medio de una escala de preferencia (Nantes, 2019). Para Taoufikallah (1990) el proceso de este método se basa en 4 pasos:

1. Definir criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos, es decir que la jerarquización se construye en niveles: al inicio está el objetivo principal, luego se definen los criterios y subcriterios para finalmente describir las alternativas a ser comparadas.
2. Evaluar los diferentes criterios, subcriterios y alternativas en función de la importancia referente a cada nivel. Pueden ser comparados criterios cualitativos y cuantitativos por medio de juicios de expertos utilizando una matriz pareada donde se calcula un vector de prioridad que es usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz.
3. La técnica AHP permite evaluar la congruencia de los juicios a través del cálculo de la razón de consistencia (RC), para obtener este dato se debe estimar el índice de consistencia (CI) de una matriz de juicios $n \times n$, donde CI viene definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Donde:

λ_{max} : es el máximo autovalor de la matriz

n: es el número de alternativas

Una vez que se obtiene este valor se procede a calcular el índice de consistencia aleatoria (IA) que viene definido por:

$$IA = \frac{1.98 - n}{n} \quad (5)$$

Donde:

n: es el número de alternativas

1.98: es una constante en IA

Finalmente se calcula la razón de consistencia (RC)

$$RC = \frac{CI}{IA} \quad (6)$$

El valor resultante de RC se considera aceptable si es inferior o igual a 0.1, caso contrario se trata de una inconsistencia que refleja una desviación de los juicios por lo cual el proceso de evaluación debe ser repetido.

4. Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes. Para cada alternativa se calcula el nivel de preferencia en una escala de 0 a 1, obteniendo la jerarquización en función de los criterios de decisión evaluados.

Suma lineal Ponderada

Cruz (2019) expresa que se trata de un procedimiento que se aplica con la finalidad de obtener mapas de aptitud para una actividad determinada, su ecuación viene definida por:

$$a_i = \sum_{j=1}^j w_j * x_{ij} \quad (7)$$

Donde:

a_i : es la variable ponderada definida como objetivo

w_j : el peso del criterio o factor

x_{ij} : es la variable ponderada definida como objetivo

Base legal

Constitución de la República del Ecuador

Dentro de la normativa nacional en la Constitución de la República del Ecuador (2008), los siguientes artículos son de relevancia para el presente estudio ya que se relacionan con el derecho a la ciudad.

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajo los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural.

Art. 241.- A través de la planificación se garantiza el ordenamiento territorial y será de índole obligatorio en todos los gobiernos autónomos descentralizados.

Art. 264.- Régimen de competencias.

Referente a la planificación y formulación de los planes de ordenamiento territorial estos se realizarán de forma articulada en todos los niveles de gobierno con la finalidad de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural.

Art. 415.- El Estado Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados están en la obligación de adoptar políticas que sean integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso de suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes.

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Establece que se fortalezca el proceso de autonomías y descentralización, con la finalidad de que se incentive un ordenamiento territorial equilibrado y equitativo,

además de implementar el derecho a un hábitat seguro, una vivienda en las circunscripciones territoriales, el proyecto se alinea al siguiente artículo:

Art. 54.- Funciones del gobierno autónomo descentralizado:

c) Se determinará las condiciones de urbanización, parcelación, lotización, división o cualquier otra forma de fraccionamiento de conformidad con la planificación del territorio.

Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP)

La investigación se alinea al Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP) haciendo referencia a los siguientes artículos:

Art. 12.- La planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial es competencia de los gobiernos autónomos descentralizados en sus territorios. Se ejercerá a través de sus planes propios y demás instrumentos, en articulación y coordinación con los diferentes niveles de gobierno, en el ámbito del Sistema Nacional Descentralizado de Planificación Participativa.

Art. 43.- Los planes de ordenamiento territorial son los instrumentos de la planificación del desarrollo que tienen por finalidad ordenar, concordar y convenir decisiones estratégicas referentes a los asentamientos humanos, las actividades económico-productivas y el manejo de los recursos naturales en función de las cualidades territoriales.

Art. 44.- Los planes de ordenamiento territorial cantonal y/o distrital definirán y regularán el uso y ocupación del suelo que engloba las actividades que se asiente en el territorio y las disposiciones normativas que se definan para el efecto.

Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales

La ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales tiene por objetivo reglar el uso y acceso a la tierra rural y su derecho a la propiedad que deberá cumplir con la función social y ambiental. Uno de los artículos que se alinea a la investigación es el artículo 6 que habla sobre las competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos los cuales pueden declarar zonas industriales y de expansión urbana en suelos rurales que no tienen aptitudes para el desarrollo de actividades agropecuarias.

Por otra parte, el artículo 46 de esta ley determina que “El ordenamiento garantizará la soberanía alimentaria, respetará la aptitud agraria de la tierra rural, la protección y uso sustentable de la capa fértil, el incremento de la productividad de las áreas dedicadas a actividades agropecuarias y regulará el crecimiento urbano sobre las tierras rurales”, demostrando que es importante el ordenamiento y planificación del territorio para poder determinar una zona de expansión urbana sin que se afecte el suelo sin esa aptitud.

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo - LOOTUGS

Es una herramienta que establece reglamentos y principios que especifican las competencias de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo urbano y rural que promueve el desarrollo equitativo y equilibrado del territorio y propicien el ejercicio del derecho a la ciudad, al hábitat seguro y a una vivienda digna.

En este contexto el apartado que es relevante para la presente investigación es el referente al Título II: Ordenamiento Territorial, considerando al artículo 10 que hace énfasis al objeto del ordenamiento territorial y el artículo 11 referente al alcance del

componente de ordenamiento territorial, ambos importantes porque describen como debe ser manejado el espacio territorial.

La ley también menciona en su artículo 18 que para la delimitación de suelo urbano se debe considerar de forma obligatoria los parámetros sobre las condiciones básicas como gradientes, sistemas públicos de soporte, accesibilidad, densidad edificatoria, integración con la malla urbana, entre otros aspectos, y por otro lado, en el artículo 19 expresa que el suelo rural podrá ser habilitado para el uso urbano bajo la conformidad del plan de uso y gestión del suelo y será colindante con el suelo urbano del cantón o distrito metropolitano.

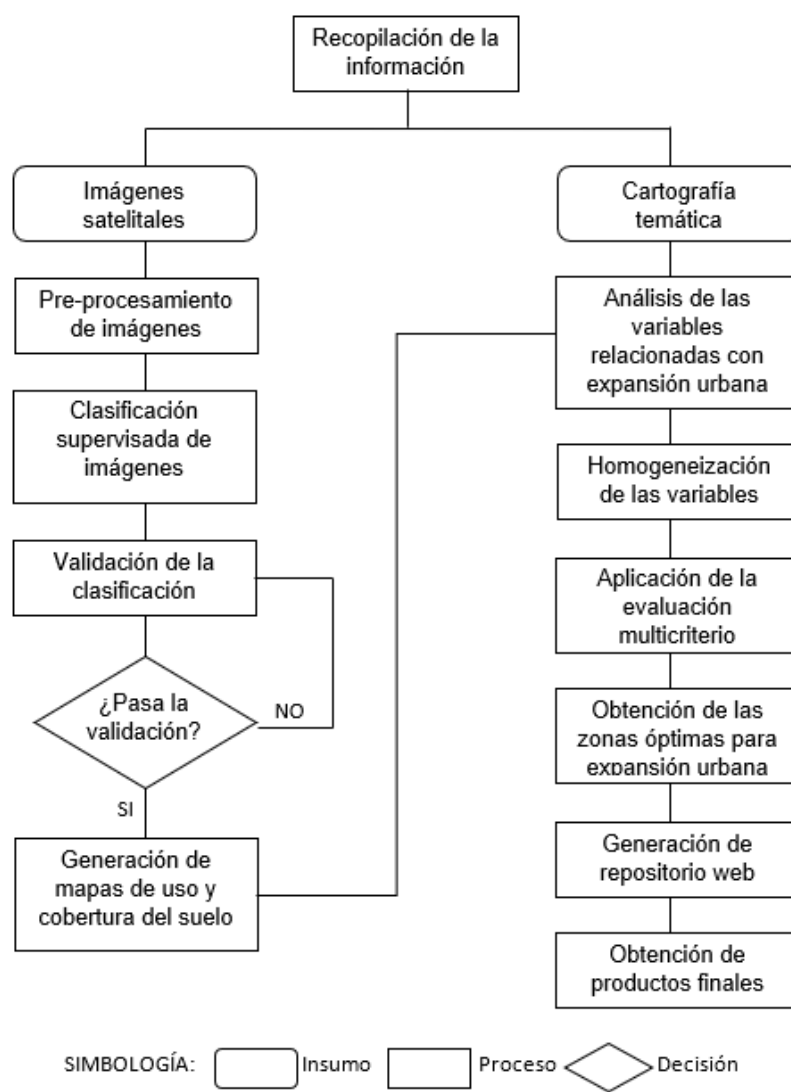
Capítulo III

Metodología

En el presente capítulo se detalla de manera secuencial el proceso que se realizó para cumplir con los objetivos planteados. En la Figura 4 se puede observar de forma resumida un esquema gráfico de la metodología.

Figura 4

Esquema grafico de la metodología del proyecto de investigación



Recopilación de información

Se recopiló información bibliográfica y geoespacial correspondiente al área de estudio provenientes de diferentes instituciones ya sean públicas o privadas como: Instituto Geográfico Militar (IGM), Sistema Nacional de Información (SNI), Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, entre otras. En la tabla 5 se detalla la información disponible para el área de estudio.

Tabla 6

Información geoespacial utilizada en el proyecto de investigación.

Variable	Escala	Fuente de información
Bosques protectores	1:50000	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Sistema Nacional de Áreas protegidas	1:250000	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Fenómeno volcánico	1:50000	Instituto Geofísico (IGENP)
Movimientos en masa	1:50000	Sistema Nacional de Información (SNI)- STGR
Riesgo a inundaciones	1:1000000	Sistema Nacional de Información (SNI)- INAMHI/MAGAP
Pendiente	-	Elaboración propia – Insumo MDT del Sigtierras
Aptitud agrícola	1:25000	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Suelo - Textura	1:25000	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Uso y cobertura del suelo	1:50000	Elaboración Propia
Zonas urbanizadas	1:50000	Elaboración Propia
Red Hidrográfica	1:50000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Red Vial	1:50000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Centros de salud	1:50000	Sistema Nacional de Información (SNI) - MSP

Variable	Escala	Fuente de información
Establecimientos educativos	1:50000	Sistema Nacional de Información (SNI) - MINEDUC
Línea de transmisión eléctrica	1:50000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Instalaciones petróleo - gas	1:50000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Estación de servicio	1:50000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Poblado	1:50000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Localidades	1:50000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Servicios básicos	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Densidad poblacional	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Imágenes satelitales	-	USGS

Análisis multitemporal del proceso de expansión urbana en el periodo 2001-2020

El presente apartado describe la metodología para la ejecución del análisis multitemporal del proceso de expansión urbana en el periodo 2001 – 2020 para el área de estudio correspondiente a las parroquias: Machachi, Alóag y Aloasí, abarcando temas como la adquisición de imágenes satelitales, el preprocesamiento, clasificación, validación y obtención de los mapas de cobertura de suelo para los años correspondientes.

Adquisición y selección de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas a través de la plataforma de Earth Explorer de la USGS (United States Geological Survey por sus siglas en inglés), debido a que responde a una de las plataformas más eficaces y eficientes para la evaluación y análisis de sensores Landsat (MMS, ETM y OLI) (Carrillo & Choquehuanca, 2019)

El criterio para la selección y descarga de imágenes se basó en que presenten un máximo de 15% de nubes y sombras en el área de estudio, para lo cual se evidenciaron un total de 6 imágenes en el periodo de tiempo 2001 hasta 2020 sobre las que se podría realizar el análisis, mismas que se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

Imágenes satelitales seleccionadas para el procesamiento.

Fecha			Descripción y/o escena	Satélite
Año	Mes	Día		
2001	11	03	LE07_L1TP_010060_20011103_20170202_01_T1	Landsat 7
2004	01	28	LE07_L1TP_010060_20040128_20170122_01_T1	Landsat 7
2009	09	06	LE07_L1TP_010060_20090906_20161218_01_T1	Landsat 7
2015	09	15	LC08_L1TP_010060_20150915_20170404_01_T1	Landsat 8
2017	09	20	LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1	Landsat 8
2020	09	20	LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1	Landsat 8

Preprocesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se encuentran con una serie de interferencias que resultan por fallos en los sensores, distorsiones por movimientos de los mecanismos de captación, interferencia de la atmosfera; estas anomalías fueron corregidas a través de los siguientes procesos.

Corrección geométrica

Las 6 imágenes satelitales Landsat 7 y 8 utilizadas en el proyecto presentaron un nivel de tratamiento L1T (imágenes orto rectificadas), es decir que son productos que presentan correcciones geométricas sistemáticas aplicadas por medio de puntos de control terrestre (GCP) y modelos de elevación digital (DEM) obteniendo imágenes

registradas a una proyección cartográfica referenciada al sistema WGS84 y adicionalmente con la corrección topográfica que es causada por el desplazamiento del terreno debido al relieve. (Garcia et al., 2013)

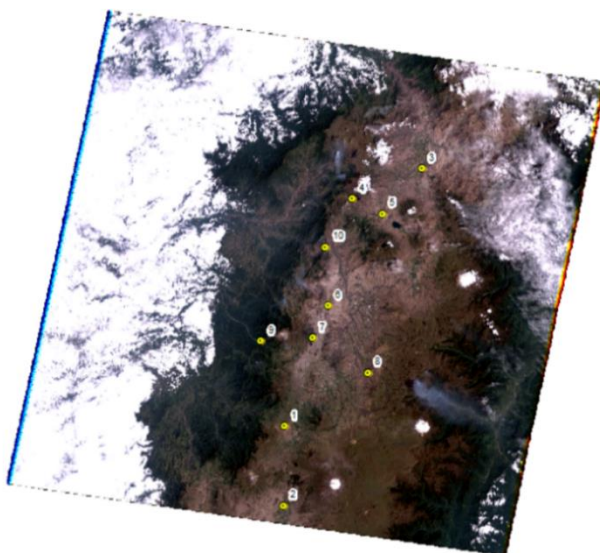
Calidad del registro geométrico entre imágenes Landsat

Es necesario evaluar entre imágenes de múltiples fechas la calidad del registro geométrico, con la finalidad de garantizar que los cambios de cobertura y uso de la tierra mapeados sean reales y no correspondan a un desplazamiento relativo con respecto a la posición de objetos comunes entre las dos imágenes. (Peralvo & Bastidas, 2014)

En base a lo sugerido por Peralvo y Bastidas (2014) se evaluaron un total de 10 puntos distribuidos en la imagen satelital como se puede observar en la Figura 4, de manera que se logre evaluar la calidad geométrica de las mismas.

Figura 5

Distribución de puntos para evaluar la calidad del registro geométrico

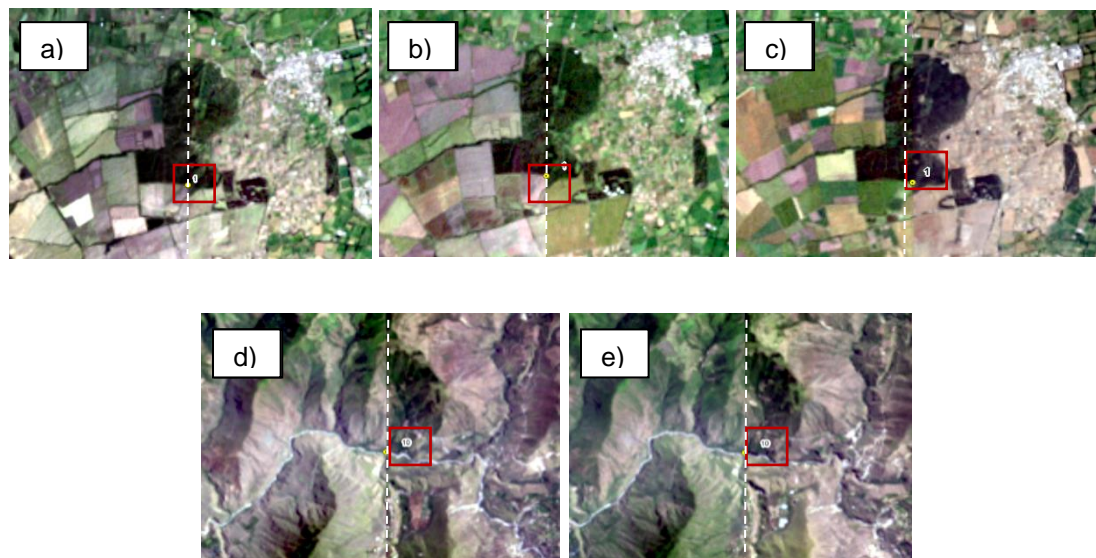


Nota. En la figura se puede observar un total de 10 puntos de evaluación distribuidos en toda la imagen satelital.

Debido a la resolución de las imágenes Landsat de 30 metros se dificulta realizar una comparación cuantitativa que se base en puntos identificables como el cruce de ríos o vías, construcciones, entre otras; con esto se deduce que el error de registro entre imágenes es menor que el tamaño del pixel y por tanto se realizó de forma cualitativa es decir se comparó visualmente las imágenes para los 10 puntos seleccionados como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Registro geométrico entre las imágenes Landsat



Nota. La figura muestra la evaluación del punto 1 y 10 entre imágenes a una escala visual 1:50 000. a) imagen derecha: 28/01/2004 / imagen izquierda: 03/11/2001, b) imagen derecha: 06/09/2009 / imagen izquierda: 28/01/2004, c) imagen derecha: 15/09/15 / imagen izquierda: 06/09/2009, d) imagen derecha: 20/09/2017 / imagen izquierda: 15/09/15, e) imagen izquierda: 20/09/2017 / imagen derecha: 20/09/2020.

Finalmente, se observó que las imágenes con nivel 1LT para el área de estudio presentan una adecuada calidad de registro geométrico para su posterior proceso.

Corrección radiométrica

La radiancia que es capturada por el sensor que se encuentra a bordo del satélite está representada en valores en un formato de nivel digital (ND), los cuales deben ser transformados en unidades de energía reflejada o conocido como calibración radiométrica. (Carrillo & Choquehuanca, 2019).

La corrección radiométrica se realizó tanto a las bandas multiespectrales como a la banda pancromática de cada imagen satelital, con la finalidad de poder realizar posteriormente la fusión de imágenes. El proceso se ejecutó mediante la herramienta *Radiometric Calibration* bajo el entorno del programa ENVI 5.3 donde se realizó un recorte a la imagen (*Spatial Subsetting*) utilizando un polígono que cubra el área de estudio de forma que se reduzca el tiempo de trabajo además se utilizó los datos descritos en la tabla 8.

Tabla 8

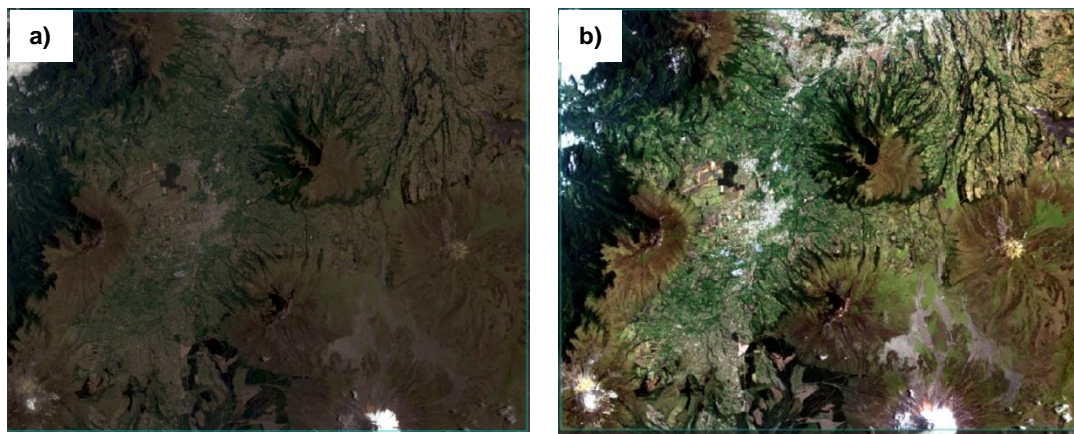
Valores de calibración radiométrica establecidos.

Campo	Valor
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	BIL
Tipo de dato de salida	Flotante
Factor de escala	1.0
Carpeta de salida	Nombre y carpeta de salida

Este proceso se realizó para las seis imágenes satelitales y como resultado se obtienen imágenes en valores de radiancia en formato de imagen *.dat y codificación BIL como se observa en la figura 6.

Figura 7

Corrección radiométrica de la imagen satelital



Nota. La figura muestra la imagen satelital Landsat 8 del año 2017: a) imagen sin corregir, b) imagen con corrección radiométrica.

Fusión de imágenes – pansharpening

La fusión de imágenes se realiza para agudizar los datos multiespectrales utilizando datos pancromáticos de una alta resolución espacial, existen diversos métodos para fusionar las imágenes, sin embargo, el método de Gram-Schmidt es más preciso y recomendado para la mayoría de las aplicaciones.

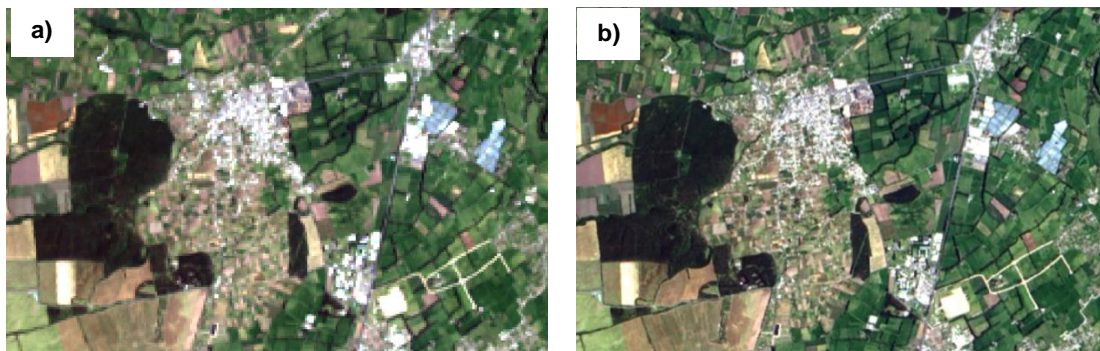
El algoritmo de Gram Schmidt se basa en un proceso denominado ortogonalización de vectores, esto con respecto a las imágenes cada banda corresponde a un vector de alta dimensión (igual número de píxeles de la imagen), mismos que rotan para producir un conjunto nuevo de vectores no correlacionados; la ortogonalización mencionada es una técnica cuyo propósito es eliminar información

redundante (o correlacionada), generalmente presente en bandas que están próximas del espectro electromagnético. (Pesántez, 2015)

Con las imágenes corregidas radiométricamente tanto para las bandas multiespectrales como la banda pancromática se realizó el proceso mediante la herramienta Gram-Schmidt Pan Sharpening del programa ENVI 5.3, el cual presenta un flujo de trabajo donde en primera instancia se ingresa el subsistema multiespectral de baja resolución, luego la banda de alta resolución en este caso la banda pancromática y se determinan los parámetros como el tipo de sensor sea este Landsat 8 OLI o Landsat 7 ETM dependiendo la imagen y el tipo de remuestreo bilinear, obteniendo así un producto en formato *.dat y con una resolución de 15m como se observa en la figura 8.

Figura 8

Fusión de imágenes - pansharpening



Nota. La figura muestra el resultado de la fusión de imágenes de la imagen satelital Landsat 8 del año 2017 a) imagen satelital con resolución espacial de 30m, b) imagen satelital con resolución espacial de 15m.

Corrección atmosférica

El paso siguiente corresponde a la corrección atmosférica, Alzate & Sánchez (2018) mencionan que esta corrección se realiza debido a la presencia de distorsiones que resultan del proceso en el cual el tren de ondas atraviesa a la atmósfera terrestre y pasa por los procesos de dispersión y absorción es decir la presencia de vapores ya sea de agua o de dióxido de carbono. (Alzate & Sánchez, 2018)

Para la corrección atmosférica se aplicó el método QUAC (*Quick Atmospheric Correction* por sus siglas en inglés), este método determina parámetros de compensación atmosférica obtenidos directamente de la información perteneciente a cada escena. Su modelo asume una ecuación lineal de transporte de radiación en el cual los valores de datos se convierten en espectros de reflectancia a través de un espectro de desplazamiento o línea base y un espectro de ganancia, esta línea base determina los valores mínimos de los píxeles en cada banda espectral que se producen con la sombra, cuerpos de agua o vegetación en tono verde oscuro. (Abadía et al., 2015; MAE & MAGAP, 2015)

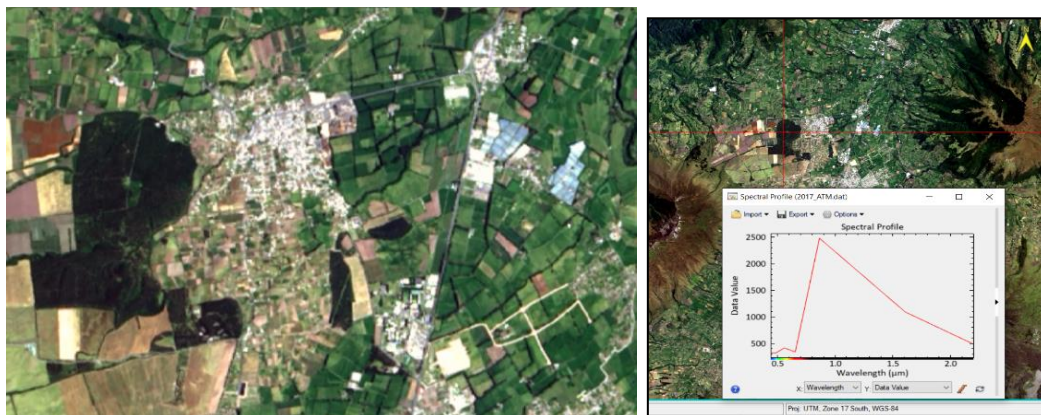
El proceso se realizó a través del módulo *QUAC* del programa ENVI 5.3, donde para las imágenes tanto Landsat 7 como Landsat 8 se determinó el tipo de sensor Landsat TM/ETM/OLI para obtener un nuevo producto con formato *.dat y con valores de reflectancia.

La figura 9 presenta la imagen con corrección atmosférica y el perfil espectral de la cobertura bosque en valores de reflectancia donde se observa una curva que presenta una ligera respuesta espectral en la banda verde (B2), absorción en la banda rojo (B3) y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano, esto haciendo referencia a que

la reflectividad en las coberturas vegetales se encuentra en el rango del espectro visible debido a la presencia de clorofila.

Figura 9

Corrección atmosférica y perfil espectral



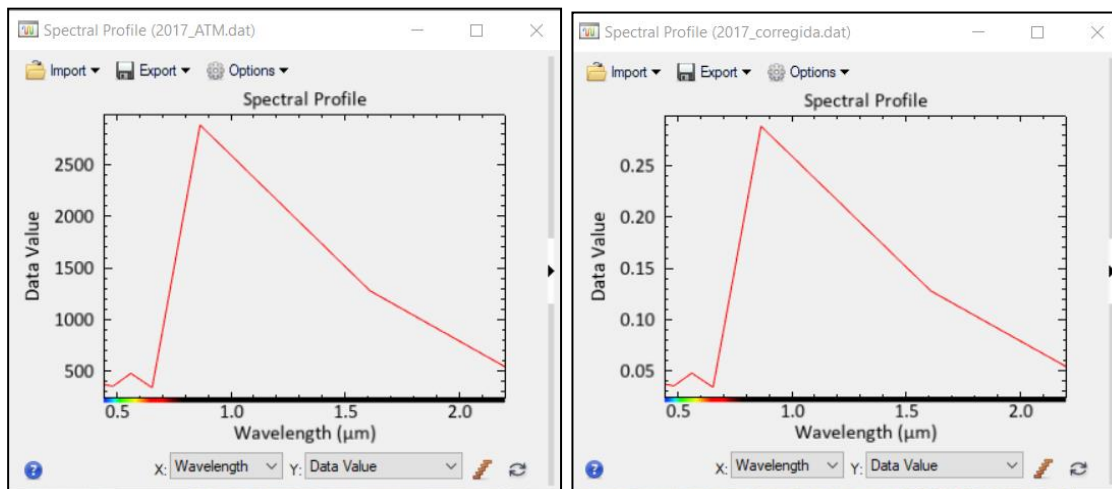
Nota. La figura muestra en la izquierda imagen con corrección atmosférica y en la derecha el perfil espectral de la cobertura bosque en valores de reflectancia.

Re escalado de valores de reflectancia

Las imágenes con corrección atmosférica contienen valores de reflectancia que han sido multiplicados por un factor de escala, por tanto, se re escaló los valores obtenidos dentro de una escala que va en el rango de 0 a 1, con la finalidad de trabajar con datos más fáciles de leer e interpretar. Para este proceso se ejecutó el módulo *Gain and Offset Values* que trabaja con el conjunto de bandas de la imagen, el algoritmo se encarga de encontrar los factores de proporción en donde para cada banda contenida en los *Gain Values* se reemplaza su factor de escala con el valor de 0.0001. El resultado se verifica con los valores que se presentan en las firmas espectrales en cada imagen como se observa en la figura 10.

Figura 10

Re escalado de valores de reflectancia



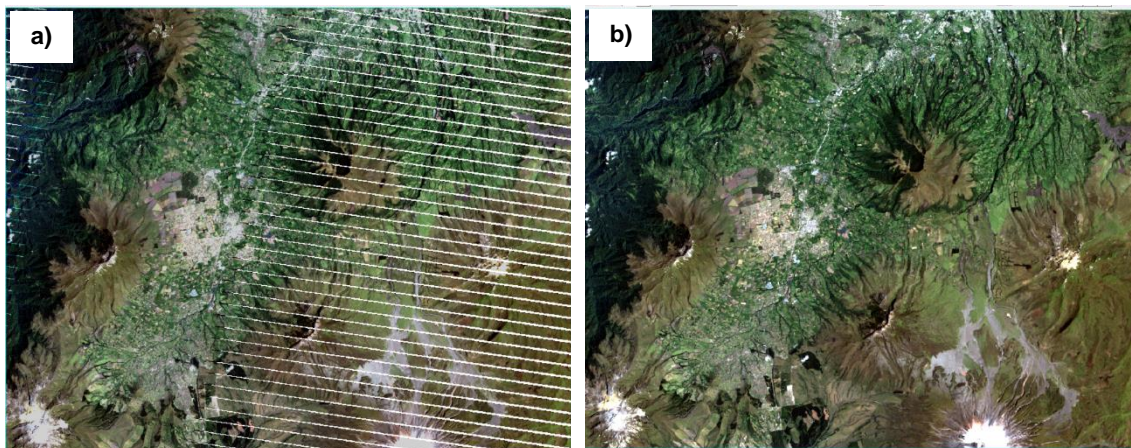
Nota. La figura muestra la comparación de la firma espectral de la cobertura bosque, en la izquierda se encuentra la firma espectral de la imagen que resultó de la corrección atmosférica y en la derecha la firma espectral con el re escalado de valores.

Restauración de sectores perdidos – corrección del bandeo

Algunas de las imágenes obtenidas del satélite Landsat 7 presentaban bandas con gaps o líneas de ausencia de información causadas por un problema en el sistema SLC (Scan Line Corrector) del sensor ETM+, por tanto, para solucionar este defecto y rellenar el bandeo en las imágenes se procedió a trabajar con la extensión *Landsat_GAPFILL* del entorno de ENVI 5.3, la cual se encarga de completar estos vacíos con los valores que componen la imagen ya calibrada como se observa en la figura 11. De esta manera se concluye con las correcciones para todas las escenas obteniendo insumos aptos para el siguiente proceso.

Figura 11

Corrección de bandeo



Nota. La figura muestra la imagen Landsat 7 del año 2003 a) Imagen con bandeo y b) Imagen corregida.

De esta forma se concluye el paso correspondiente al preprocesamiento de imágenes satelitales obteniendo un total de 6 imágenes para los años 2001, 2004, 2009, 2015, 2017, 2020 corregidas y con una resolución espacial de 15 metros.

Determinación de la escala de trabajo

La escala de trabajo está en función de la resolución espacial del sensor, en este caso el programa Landsat con sus misiones Landsat 7 – ETM+ y Landsat 8 – OLI/TIRS, presentan una resolución espacial de 30m para las bandas multiespectrales, sin embargo, esta resolución se mejoró al emplear la técnica de fusión de imágenes o pansharpened usando la banda pancromática incorporada en las dos misiones, obteniendo imágenes satelitales con una resolución de 15m.

La escala de trabajo idónea se determinó en base a lo expuesto en (Lencinas & Siebert, 2009) quienes presentan las escalas máximas en las cuales se pueden sacar el mayor potencial de productos cartográficos para diferentes tipos de datos satelitales como se detalla en la tabla 9. En este sentido se estableció una escala de trabajo de 1:50000 para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 9

Resolución espacial de imágenes satelitales y escala cartográfica máxima

Datos satelitales	Resolución espacial	Escala cartográfica máxima
Landsat	30m	1:100000
ASTER	15m – 30m	1:50000
ALOS	2.5m	1:5000
	10m	1:15000

Nota. Información recuperada y adaptada de Lencinas & Siebert (2009, p.104)

Unidad mínima de mapeo

Definir la unidad mínima de mapeo (UMM) tiene como principal objetivo brindar al mapa una coherencia respecto a la distribución espacial de las diferentes entidades que se logran mapear y además generar entendimiento para el usuario que lee el mapa. En este sentido al establecer la UMM hace que, a través de técnicas de generalización, polígonos que sean menores a la UMM se adhieran a sus vecinos más cercanos de manera que no se dificulte la distinción entre las entidades mapeadas. (X. Mejía & Moncayo, 2012; J. Pérez, 2016)

Para establecer la unidad mínima de mapeo se basó en la metodología planteada por el Ministerio de Agricultura Ministerio de Agricultura, Ganadería,

Acuicultura y Pesca (MAGAP) junto con el Programa de Regulación y Administración de Tierras Rurales (PRAT) en el año 2008, donde se establece la ecuación (7)

$$UMM = UMV * ET \quad (7)$$

Donde:

UMM: Unidad mínima de mapeo

UMV: Unidad mínima visible

ET: Escala de trabajo

La unidad mínima visible se refiere al área más pequeña que puede ser representada legiblemente en el mapa, y siguiendo la recomendación de Salichev 1979 citado en (X. Mejía & Moncayo, 2012), se estableció una UMV de 4 mm x 4 mm valor que garantiza la operatividad cartográfica del mapa.

En este sentido con una escala de trabajo 1:50 000 donde 1 mm en el mapa representa a 50 metros en el terreno, se procede a reemplazar los valores en la ecuación 7 y se obtiene que:

$$UMM = UMV * ET$$

$$UMM = \frac{(4mm * 4mm) * (50m * 50m)}{1mm * 1mm}$$

$$UMM = \frac{16mm^2 * 2500 m^2}{1mm^2}$$

$$UMM = 40\ 000m^2 \text{ o } 4ha.$$

Generación de leyenda temática

La leyenda temática fue establecida en función del sistema de clasificación creado por el MAE-MAGAP-CLIRSEN (2014). Se consideró las coberturas correspondientes al Nivel I esto debido a la facilidad para visualizar los detalles en las imágenes satelitales y a través de una inspección visual de las imágenes se estableció cinco clases para la leyenda temática.

Tabla 10

Leyenda temática para la generación del mapa de uso y cobertura de suelo.

NIVEL I
Bosque
Vegetación Arbustiva y Herbácea
Tierras Agropecuarias
Zonas Antrópicas
Otras tierras

Clasificación de imágenes

El proceso de clasificación o también denominado fase de asignación se ejecuta a través de los niveles digitales correspondientes a cada pixel en cada una de las bandas que son seleccionadas para el proceso, resultando en una nueva imagen en la cual los ND determinan la clase a la que cada pixel pertenece. (Betancourt, 2015)

La clasificación se realizó con la metodología de clasificación supervisada mediante el algoritmo de agrupación de máxima probabilidad. Este método es el más utilizado en percepción remota debido a que es uno de los procedimientos de discriminación más acertados y eficientes cuando los datos presentan una distribución normal, ajusta con mayor rigor a la disposición original de datos y cada pixel se

incorpora a una de las clases dependiendo la media y varianza de las firmas, además su aplicación e interpretación de resultados se vuelve más sencilla. (P. Coello, 2019; MAE & MAGAP, 2015; Moreno, 2017)

Las imágenes se clasifican de manera independiente siguiendo un proceso que consta de dos fases: la primera corresponde a la selección de áreas de entrenamiento localizados en la imagen para luego construir las clases de coberturas determinadas, en la segunda fase se calcula para cada pixel la probabilidad de pertenencia a cada categoría con relación a su respuesta espectral de manera que se determine la clase con más probabilidad a pertenecer.

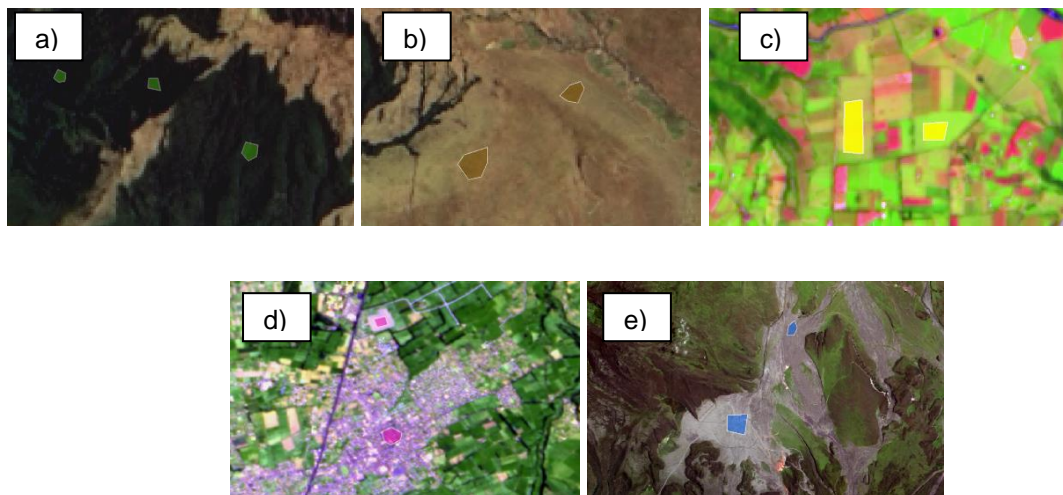
Selección de áreas de entrenamiento - Regiones de interés

La selección de áreas de entrenamiento tiene la finalidad de reunir un grupo de estadísticas que describan el patrón de respuesta espectral para cada categoría o tipo de cobertura presente en la imagen, de forma que es importante que las regiones de interés (ROI's) sean representativas y completas. (MAE & MAGAP, 2015)

Para determinar el tamaño mínimo de la muestra en pixeles se basó en el criterio de Chuvieco (1995) quien expresa que el ROI debe ser mayor al resultado del número de bandas + 1 de forma que se asegure la representatividad estadística de la misma. Se selecciono alrededor de 15 muestras por cada clase y para la selección de áreas de entrenamiento se utilizó la combinación en falso color de las imágenes satelitales como se muestra en la figura 11. Este proceso se realizó a través de la herramienta *ROI Tools* del software ENVI 5.3, la cual permite controlar la calidad de las zonas de entrenamiento mediante algunas alternativas como la separabilidad espectral, planos adimensionales entre otros.

Figura 12

Muestra de selección de ROI's para cada cobertura



Nota: La figura presenta ejemplos de las muestras de ROI's y combinaciones para cada cobertura: a) Muestras para cobertura de bosque, b) Muestras para cobertura de vegetación arbustiva y herbácea, c) Muestras para cobertura de tierras agropecuarias, d) Muestras para cobertura de zonas antrópicas, e) Muestras para cobertura de Otras tierras.

Análisis de separabilidad

Una vez obtenidos las regiones de interés, se realiza un análisis de separabilidad espectral entre las muestras para verificar estadísticamente que son diferentes una de otra. La herramienta *ROI Tools* permite generar un reporte donde se despliega el promedio de separabilidad obtenida de dos métodos que calculan la distancia normalizada entre dos categorías: método de la Divergencia Transformada y método de Jeffries-Matusita. (D. Pérez, 2012)

El resultado de realizar este proceso es un archivo que indica la separabilidad de cada par de clases con valores en un rango de 0 a 2, donde valores mayores a 1.9

indican una buena separabilidad, por el contrario, valores menores representan una baja separabilidad que obliga a revisar las muestras para reubicarlas o eliminarlas, el reporte se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Reporte de separabilidad de clases

```

ROI Separability Report
File
Input File: 2015_corregida.dat
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

OTRAS TIERRAS:
ZONA ANTROPICA: (1.96449536 2.00000000)
TIERRAS AGROPECUARIAS: (1.96689173 2.00000000)
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA : (1.99033334 1.99995066)
BOSQUE: (1.99999995 2.00000000)

ZONA ANTROPICA:
OTRAS TIERRAS: (1.96449536 2.00000000)
TIERRAS AGROPECUARIAS: (1.98694294 1.99999999)
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA : (1.99708396 2.00000000)
BOSQUE: (1.99959659 2.00000000)

TIERRAS AGROPECUARIAS:
OTRAS TIERRAS: (1.96689173 2.00000000)
ZONA ANTROPICA: (1.98694294 1.99999999)
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA : (1.95684347 1.99999994)
BOSQUE: (1.99520518 2.00000000)

VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA :
OTRAS TIERRAS: (1.99033334 1.99995066)
ZONA ANTROPICA: (1.99708396 2.00000000)
TIERRAS AGROPECUARIAS: (1.95684347 1.99999994)
BOSQUE: (1.99679479 1.99999982)

BOSQUE:
OTRAS TIERRAS: (1.99999995 2.00000000)
ZONA ANTROPICA: (1.99959659 2.00000000)
TIERRAS AGROPECUARIAS: (1.99520518 2.00000000)
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA : (1.99679479 1.99999982)

Pair Separation (least to most):
TIERRAS AGROPECUARIAS and VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA - 1.95684347
OTRAS TIERRAS and ZONA ANTROPICA - 1.96449536
OTRAS TIERRAS and TIERRAS AGROPECUARIAS - 1.96689173
ZONA ANTROPICA and TIERRAS AGROPECUARIAS - 1.98694294
OTRAS TIERRAS and VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA - 1.99033334
TIERRAS AGROPECUARIAS and BOSQUE - 1.99520518
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA and BOSQUE - 1.99679479
ZONA ANTROPICA and VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA - 1.99708396
ZONA ANTROPICA and BOSQUE - 1.99959659
OTRAS TIERRAS and BOSQUE - 1.99999995

```

Nota. La figura muestra el reporte de separabilidad entre clases con valores que indican una buena separabilidad espectral para la imagen del año 2015. Para el resto de imágenes los reportes se encuentran en el Anexo A.

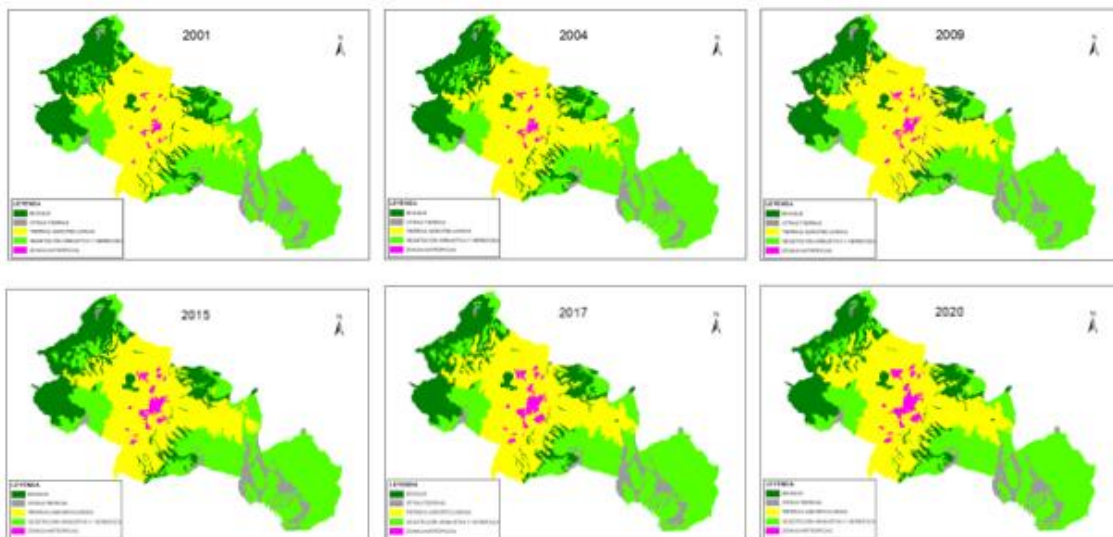
Clasificación supervisada – Máxima probabilidad

Una vez que se revisó la separabilidad espectral de las regiones de interés, se procedió con la clasificación supervisada, el proceso se realizó en el software ENVI con la herramienta automatizada para clasificación de imágenes *Classification Workflow*,

como primer paso se ingresó la imagen y las regiones de interés previamente determinadas, luego se seleccionó el algoritmo *Maximun Likelihood* definiendo el factor de escala igual a 1 (debido a que los valores de reflectancias están estandarizados de 0 a 1), por ultimo esta herramienta permite realizar una mejora a la clasificación a través de un suavizado que elimina el ruido de moteado, para lo cual se empleó un tamaño de kernel de 3 (3*3 pixeles) donde el pixel central de la matriz cuadrada se reemplazará con el valor de clase mayoritario dentro de la matriz, es decir se asignará a una clase predominante en pixeles vecinos, finalmente se obtiene una imagen con cinco clases definidas para cada periodo de tiempo como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Clasificación supervisada de las imágenes satelitales en el periodo (2001-2020)



Nota. La figura muestra el resultado de la clasificación supervisada para las seis imágenes con las cinco clases de cobertura de suelo predefinidas.

Validación

La validación o también denominada post clasificación deja conocer hasta que punto se confiable la clasificación realizada, además de la exactitud de los datos que se obtuvieron, en este sentido se usó el coeficiente kappa el cual calcula la diferencia que existe entre la exactitud obtenida y la posibilidad de una clasificación correcta obteniendo las matrices de confusión para cada imagen como se muestra en la figura 15, para el resto de imágenes las matrices se presentan en los anexos.

Figura 15

Matriz de confusión de la clasificación supervisada

Class Confusion Matrix					
File					
Confusion Matrix: C:\TESIS\CLASIFICACION\2015\2015_CLASF_final.dat					
Overall Accuracy = (41/44) 93.1818%					
Kappa Coefficient = 0.9130					
Class	Ground Truth (Pixels)				
	PUNTOS_2015_U	PUNTOS_2015_U	PUNTOS_2015_U	PUNTOS_2015_U	PUNTOS_2015_U
Unclassified	0	0	0	0	0
BOSQUE	7	0	0	1	0
OTRAS TIERRAS	0	6	0	0	0
TIERRAS AGROP	0	0	12	0	2
VEGETACION AR	0	0	0	10	0
ZONA ANTROPIC	0	0	0	0	6
Total	7	6	12	11	8

Nota. La figura muestra la matriz de confusión generada para el año 2015. Para el resto de imágenes se presentan en el Anexo B.

Finalmente, con el objetivo de reducir el ruido restante de las imágenes clasificadas se procedió a eliminar áreas que sean menores a la unidad mínima de mapeo (UMM) establecida en la ecuación 7, para este proceso se empleó la herramienta *Eliminate*, en el software ArcGis 10.6.1 la cual combina los polígonos seleccionados con los polígonos vecinos si estos tienen la mayor frontera compartida o el área más grande, de forma que se obtienen los mapas finales de cobertura de suelo para cada año como se presentan en el Anexo C.

Evaluación Multicriterio (EMC) para la determinación de zonas óptimas para expansión urbana

El presente apartado corresponde a la metodología que se ejecutó para desarrollar la evaluación multicriterio (EMC) con la finalidad de determinar zonas óptimas para expansión urbana, abarcando procesos como la selección e identificación de criterios, la normalización de las variables, la obtención del resultado preliminar y el producto final.

Selección de datos

Parar el desarrollo del objetivo se recopilaron variables espaciales tomando en cuenta la información que se encuentra disponible del área de estudio en las diferentes instituciones que proporciona información georreferenciada, incluyendo la búsqueda y el análisis de los datos validando su información, de forma que se logre la ejecución de los objetivos establecidos.

Identificación de criterios

Los criterios se clasifican en dos tipos: restricciones y factores. Las restricciones hacen referencia a las limitantes que influirán en la obtención del objetivo planteado y los factores corresponden a variables que ayudan a llegar a la meta. Para una adecuada selección se debe considerar ciertos aspectos como son los objetivos, las características del territorio y la información disponible, además de trabajos relacionados con la temática.

Restricciones

Las restricciones bajo un punto de vista ambiental engloban las limitaciones totales impuestas para la realización de un proyecto sobre un área geográfica específica, no obstante, para esta investigación fue necesario tomar en cuenta

restricciones adicionales propias del área de estudio definidas por la infraestructura física existente. La información fue fusionada por medio de álgebra de mapas para obtener un único ráster con valores binarios donde las zonas restringidas toman un valor de 0 y las zonas que no presentan restricción valores de 1. Las variables utilizadas para las restricciones son:

Áreas pertenecientes al Sistema Nacional Áreas Protegidas (SNAP). Está conformada por las áreas definidas por el SNAP que se encuentran dentro de la zona de estudio y es considerada como variable debido a que los futuros asentamientos no estarán en zonas con valor ecológico y ambiental.

Áreas pertenecientes a bosques protectores. Abarca a los bosques protectores que encuentran localizadas dentro de la zona de estudio, de igual forma es considerada como variable debido a que los futuros asentamientos no estarán en zonas con valor ecológico y ambiental.

Fenómeno volcánico. Variable que engloba los diferentes peligros volcánicos; emisión de flujos piroclásticos y lahares; para este estudio se trabajó las áreas que presentaban un alto grado de fenómeno volcánico siendo estas zonas en las que definitivamente no se puede establecer nuevos asentamientos.

Susceptibilidad a caída de ceniza. Corresponde al grado de caída de ceniza que se presentan en diferentes partes del área, de igual forma se optó por trabajar con las zonas que presenten una probabilidad de caída de ceniza alta siendo sitios en los que no se deben expandir nuevas urbanizaciones.

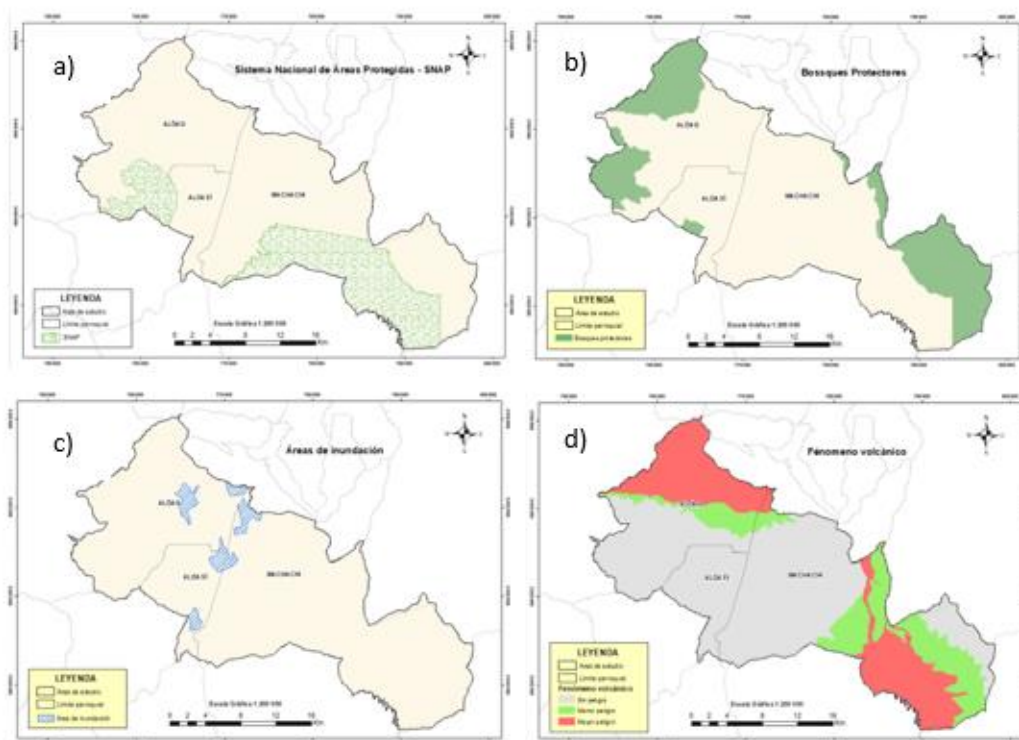
Riesgo a inundación. Corresponde a áreas que presentan riesgo de inundación, se trabajó con la cobertura que se encuentre dentro del área de estudio, consideradas como aquellas en las que no se deberán estar los futuros asentamientos.

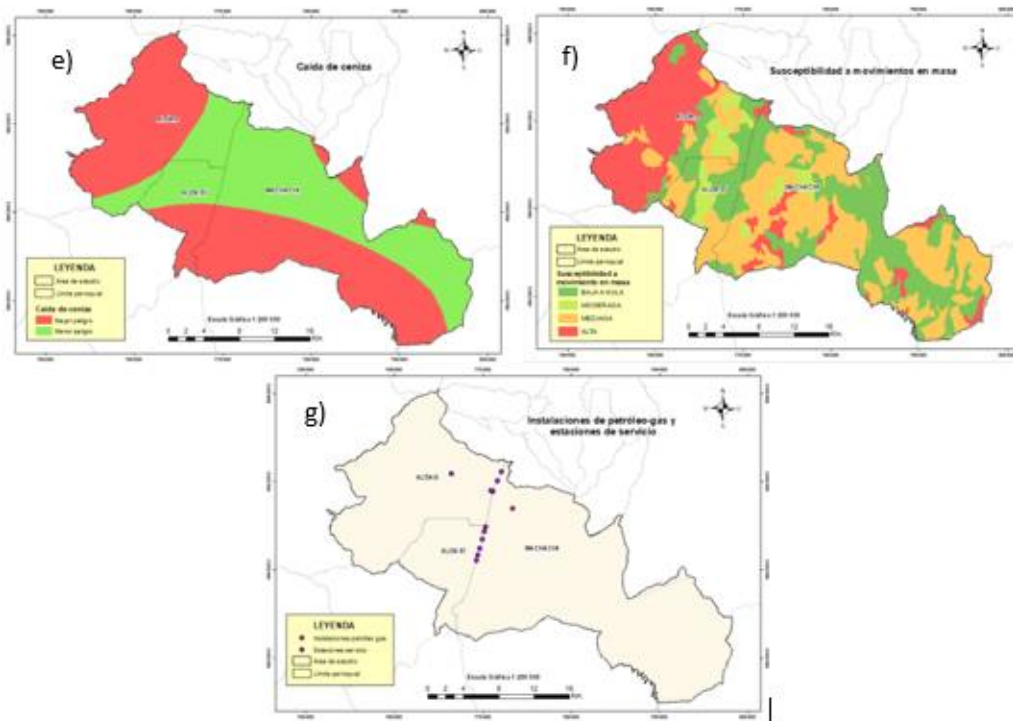
Susceptibilidad a movimientos en masa. Define áreas que son inestables y que de alguna manera afecten a las zonas urbanas, se optó por trabajar con las que presenta un alto grado ya que esto no garantiza un proceso adecuado para la expansión urbana

Áreas cercanas a infraestructuras: instalaciones petróleo – gas y estaciones de servicio. Estas variables corresponden a sitios donde se localizan instalaciones encargadas de la distribución de derivados de petróleo, para lo cual se estableció áreas de protección en las cuales no se pueda urbanizar.

Figura 16

Conjunto de variables consideradas como restricciones





Nota. La figura presenta el conjunto de variables considerados como restricciones: a) Áreas pertenecientes al Sistema Nacional Áreas Protegidas (SNAP), b) Áreas pertenecientes a bosques protectores, c) Riesgo de inundación, d) Fenómeno volcánico, e) Susceptibilidad a caída de ceniza, f) Susceptibilidad a movimientos en masa, g) Instalaciones petróleo – gas y estaciones de servicio.

Factores

Los factores fueron determinados tomando en consideración a varios autores relacionados con la temática y a su vez con la disponibilidad de la información cartográfica. Estos fueron agrupados de forma que se facilite el proceso referente al análisis multicriterio que permitirá determinar las zonas que son óptimas para futuras áreas de expansión urbana y considerando los componentes a los Planes de Ordenamiento Territorial tal y como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Factores empleados para determinar las zonas óptimas de expansión urbana

CATEGORIA	SUBCATEGORIA
Biofísico	Pendiente
	Uso y cobertura del suelo
	Suelo - Textura
	Aptitud agrícola
	Distancia a Ríos
Accesibilidad	Distancia a vías primarias
	Distancia a vías secundarias y locales
Proximidad a centros urbanos y equipamientos	Distancia a Zonas urbanizadas
	Distancia a Centros de salud
	Distancia a Establecimientos educativos
Disponibilidad de servicios básicos	Servicios básicos
	Distancia a Línea transmisión eléctrica
Asentamientos humanos	Densidad poblacional
	Poblado
	Localidades

Normalización de factores

Para obtener las zonas óptimas de expansión urbana fue necesario analizar la información y adecuar las variables a un formato en el cual se puede realizar los cálculos necesarios para cumplir con el objetivo, es decir, la información adquirida en su totalidad se encontraba en formato vectorial, siendo estos puntos, líneas y polígonos; misma que ha sido transformada a formato ráster. Además, como parte del cálculo es necesario que se normalicen los factores, de forma que puedan ser utilizados en una sola unidad de medida

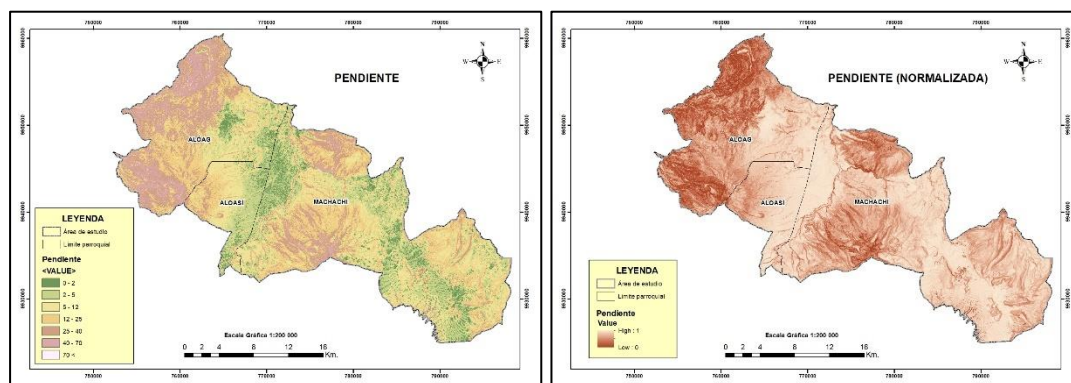
Pendiente

En forma general la pendiente hace referencia el porcentaje de inclinación del terreno, esta variable es una de las más importantes en relación a la expansión urbana tanto por la accesibilidad a estas zonas como la inversión que se tiene que realizar para instalarse en zonas de alta pendiente, además involucra el tema de riesgos naturales que pueden generarse en estas zonas, por lo que se considera a zonas de llanuras o pequeñas colinas como áreas óptimas para el crecimiento urbano.

Para la obtención de la pendiente fue necesario el modelo digital de terreno (MDT), el cual fue descargado de la página oficial del SIGTIERRAS con tamaño de pixel de 10m. Para el manejo de la información en formato ráster se calculó la distancia euclidiana y se normalizó la variable, donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 17

Variable pendiente



Nota. La figura presenta en la izquierda la variable pendiente y en la derecha el resultado de la normalización de la variable pendiente.

Uso y cobertura del suelo

Describe el uso o cobertura que tiene el suelo, la información se generó a partir de las imágenes satelitales como se detalló en el apartado anterior, obteniendo las clases que se detallan en la Tabla 12 mismas que han sido consideradas para cumplir con los objetivos planteados.

Tabla 12

Cobertura y uso del suelo del área de estudio

Clases	Descripción
Tierras agropecuarias	Áreas bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran dentro de una rotación entre estos.
Vegetación arbustiva y herbácea	Áreas cubiertas por arbustos y vegetación herbácea producto de un proceso biológico natural, que no incluye áreas agropecuarias.
Bosques	Comunidad vegetal de por lo menos una a hectárea, con árboles de 5m de altura y con un mínimo de 30% de cobertura del dosel o capa aérea vegetal.
Otras Tierras	Áreas con poca o ninguna vegetación, afloramientos rocosos, glaciares y otras clases que no estén incluidas en ninguna de las otras categorías.
Zona Antrópica	Asentamiento humano y la infraestructura que lo complementa.

Nota. Información obtenida del Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013-2014, escala 1:100 000. MAE & MAGAP (2015, p. 7)

Para esta variable se aplicó la metodología de Evaluación Multicriterio (Saaty) con la finalidad de definir los pesos para cada clase, la escala de calificación se determinó de forma que el valor más alto corresponda a la mejor alternativa. En este

sentido se ha considerado a la clase de tierras agropecuarias y vegetación arbustiva como las más óptimas para urbanizar esto debido a que no presentan tantas dificultades para el asentamiento de viviendas y por otro lado la clase bosques otras tierras y zonas antrópicas se consideran como las de menos prioridad debido a las características que presentan.

En la Tabla 13 se presenta un cuadro de doble entrada donde se comparan las alternativas utilizando una escala de calificación previamente asignada.

Tabla 13

Matriz de comparación de pares de la variable cobertura y uso de suelo

	Tierras agropecuarias	Vegetación arbustiva y herbácea	Bosques	Otras Tierras	Zona Antrópica
Tierras agropecuarias	1.0	1.3	1.8	3.0	9.0
Vegetación arbustiva y herbácea	0.8	1.0	1.4	2.3	7.0
Bosques	0.6	0.7	1.0	1.7	5.0
Otras Tierras	0.3	0.4	0.6	1.0	3.0
Zona Antrópica	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0
Suma	2.778	3.571	5.000	8.333	25

A continuación, se realiza la matriz de normalización, que consiste en dividir cada valor para la suma total de la columna para posterior calcular los pesos de cada alternativa como se observa en la tabla.

Tabla 14

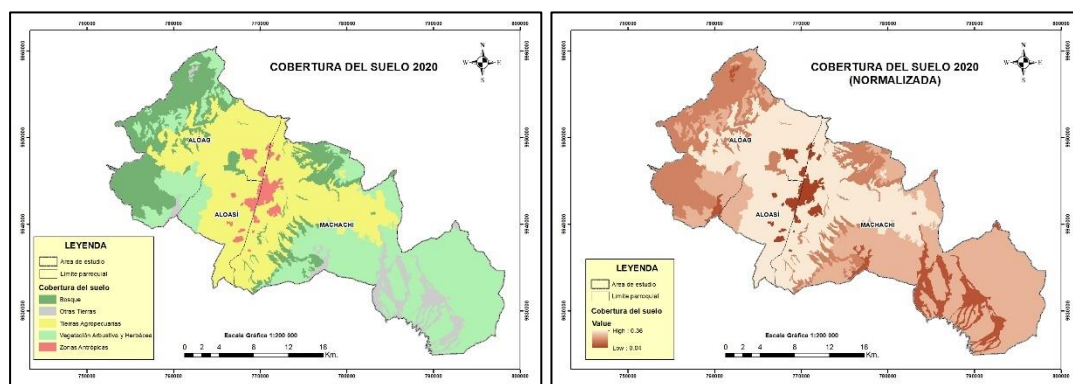
Matriz de normalización y pesos de la variable cobertura y uso de suelo

	Tierras agropecuarias	Vegetación arbustiva y herbácea	Bosques	Otras Tierras	Zona Antrópica	Peso
Tierras agropecuarias	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Vegetación arbustiva y herbácea	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Bosques	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Otras Tierras	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Zona Antrópica	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$RC = 0$						

Nota. En la tabla se presenta los valores obtenidos de la normalización, el peso para cada alternativa y la razón de consistencia (RC) que determina la validez de la matriz.

Figura 18

Variable de Cobertura del Suelo



Nota. La figura presenta a la izquierda la variable cobertura del suelo 2020 y a la derecha el resultado de la normalización.

Suelo – Textura

La textura del suelo representa una variable relevante en cuanto a la planificación del territorio esto debido a que sobre el mismo se construirán infraestructuras, viviendas entre otras, por lo cual se debe identificar los tipos de textura existentes dentro del área de estudio de forma que se determine cual es tipo más óptimo para soportar la futura expansión. En la Tabla 15 se presenta los tipos de textura presentes dentro del área de estudio.

Tabla 15

Textura del suelo

Textura	Descripción
Franco arenoso	Muestran mayor capacidad de uso agrícola
Franco limoso	Muestran mayor capacidad de uso agrícola
Franco	Compuesto por arena, limo y arcilla en equilibrio o proporciones óptimas o cercanas, no es demasiado arcilloso y ni muy arenoso y con una gran productividad agrícola.
Arenosa	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado.
No aplicable	Para unidades no consideradas como formas del relieve, que se las adquiere de la cartografía base; incluye principalmente centros poblados y cuerpos de agua.

Nota. La información fue recuperada de Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016). Mapa de Suelos (Variables Pendiente, Taxonomía y Textura) Ecuador continental, escala 1:250.000, año 2003.

Para esta variable se aplicó la metodología de Evaluación Multicriterio (Saaty) con la finalidad de definir los pesos para cada alternativa, la escala de calificación se determinó de forma que el valor más alto corresponda a la mejor alternativa. En este

sentido bajo la revisión de la literatura relacionada a esta temática se ha determinado que es posible construir en cada uno de los tipos por lo cual se consideró los costos de inversión que se tendría que hacer para construir y de esta forma priorizar alguna de las alternativas.

En la Tabla 16 se presenta un cuadro de doble entrada donde se comparan las alternativas utilizando una escala de calificación previamente asignada.

Tabla 16

Matriz de comparación de pares de la variable Suelo – textura

	Franco arenoso	Franco limoso	Franco	Arenosa	No aplicable
Franco arenoso	1.0	1.3	1.8	3.0	9.0
Franco limoso	0.8	1.0	1.4	2.3	7.0
Franco	0.6	0.7	1.0	1.7	5.0
Arenosa	0.3	0.4	0.6	1.0	3.0
No aplicable	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0
Suma	2.778	3.571	5.000	8.333	25

A continuación, se realiza la matriz de normalización, que consiste en dividir cada valor para la suma total de la columna para posterior calcular los pesos de cada alternativa como se observa en la Tabla 17.

Tabla 17

Matriz de normalización y pesos de la variable Suelo – textura

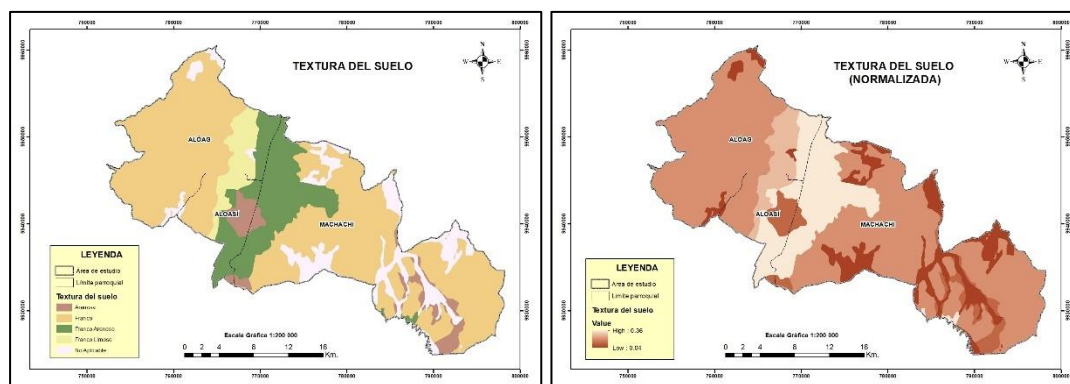
	Franco arenoso	Franco limoso	Franco	Arenosa	No aplicable	Peso
Franco arenoso	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Franco limoso	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Franco	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Arenosa	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
No aplicable	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

$$RC = 0$$

Nota. En la tabla se presenta los valores obtenidos de la normalización, el peso para cada alternativa y la razón de consistencia (RC) que determina la validez de la matriz.

Figura 19

Variable Suelo - Textura normalizada



Nota. La figura presenta el resultado de la normalización de la variable Suelo - Textura normalizada

Aptitud agrícola

Corresponde a la capacidad que tiene el suelo para su aprovechamiento bajo un tipo de utilización. En la tabla 18 se indica las categorías de aptitud agrícola presente en el área de estudio, se optó por trabajar con la categoría ya que facilita el proceso además que reduce información redundante.

Tabla 18

Aptitud agrícola del suelo.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
BOSQUES	Bosques de producción	Zonas con limitaciones importantes (pendiente, textura, pedregosidad,

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
		fertilidad). Zonas aptas para la producción forestal, por las características de suelos, pendiente y las condiciones climáticas marginales para cultivos.
	Bosques de protección	Zonas con limitaciones muy importantes (pendiente, profundidad efectiva, textura, pedregosidad, fertilidad, drenaje). Se recomienda la reforestación y/o el mantenimiento de la cobertura natural existente.
CULTIVOS	Cultivos de ciclo corto	Agricultura sin y/o con limitaciones ligeras (pedregosidad superficial), suelos profundos, mecanización y riego muy fáciles.
	Cultivos semipermanentes	Agricultura con limitaciones importantes (pendiente, profundidad efectiva, textura superficial, pedregosidad), mecanización y riego de fácil a difícil.
	Cultivos permanentes	Agricultura con limitaciones muy importantes (pendiente, profundidad efectiva, textura superficial, pedregosidad, toxicidad, salinidad, fertilidad), mecanización y riego difícil. Se recomienda medidas de manejo.
PASTIZALES	Pastizales	Zonas marginales para la agricultura por presentar limitaciones importantes. Se recomienda un mejoramiento de pastos existentes.
SIN USO AGROPECUARIO	Sin uso agropecuario	Suelos sin diferenciación, fuertes pendientes, afloramientos rocosos, zonas marginales para otro tipo de utilización. Se recomienda la reforestación,

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
		protección y/o el mantenimiento de la cobertura natural existente.
NO APLICABLE	No aplicable	Áreas pobladas, cuerpos de agua, afloramientos rocosos, áreas en procesos de erosión, áreas erosionadas, áreas salinas, bancos de arena, eriales, flujos de lava recientes, playas, glaciares, nieve y hielo, e infraestructura antrópica.

Nota. La información fue recuperada de Ministerio de Agricultura y Ganadería (2020). Mapa de Aptitudes Agrícolas del Ecuador continental, escala 1:25.000, año 2019.

Para esta variable se aplicó la metodología de Evaluación Multicriterio (Saaty) con la de forma que se defina los pesos para cada alternativa, la escala de calificación se determinó de forma que el valor más alto corresponda a la mejor alternativa. En este sentido con respecto a expansión urbana se ha determinado que la categoría cultivos y pastizales tienen más prioridad frente a los bosques, y demás categorías que están caracterizados por fuertes pendientes, áreas erosionadas, entre otras que no son óptimas para la construcción de viviendas.

En la Tabla 19 se presenta un cuadro de doble entrada donde se comparan las alternativas utilizando una escala de calificación previamente asignada.

Tabla 19

Matriz de comparación de pares de la variable Aptitud agrícola

	Cultivos	Pastizales	Bosques	Sin uso Agropecuario	No aplicable
Cultivos	1.00	1.29	1.80	3.00	9.00
Pastizales	0.78	1.00	1.40	2.33	7.00
Bosques	0.56	0.71	1.00	1.67	5.00
Sin uso Agropecuario	0.33	0.43	0.60	1.00	3.00
No aplicable	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	2.78	3.57	5.00	8.33	25.00

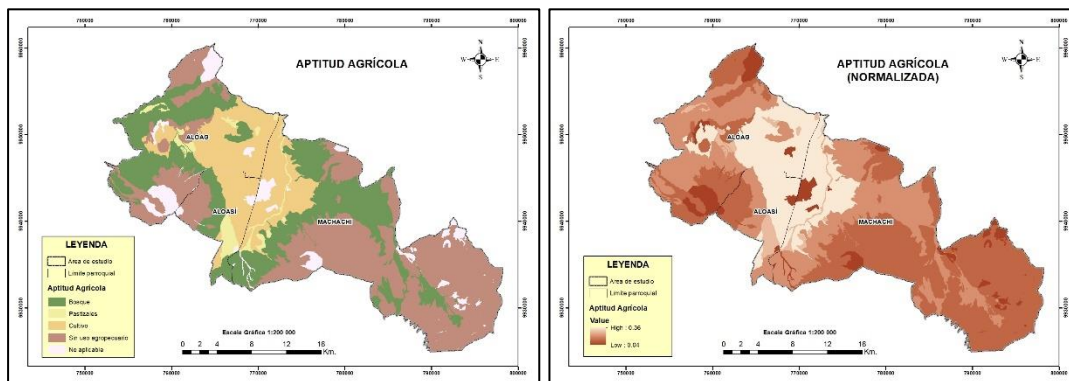
A continuación, se realiza la matriz de normalización, que consiste en dividir cada valor para la suma total de la columna para posterior calcular los pesos de cada alternativa como se observa en la tabla 20.

Tabla 20

Matriz de normalización y pesos de la variable Aptitud agrícola

	Cultivos	Pastizales	Bosques	Sin uso Agropecuario	No aplicable	Peso
Cultivos	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Pastizales	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Bosques	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Sin uso Agropecuario	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
No aplicable	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
<i>RC = 0</i>						

Nota. En la tabla se presenta los valores obtenidos de la normalización, el peso para cada alternativa y la razón de consistencia (RC) que determina la validez de la matriz.

Figura 20*Variable Aptitud agrícola*

Nota. La figura presenta el resultado de la normalización de la variable aptitud agrícola.

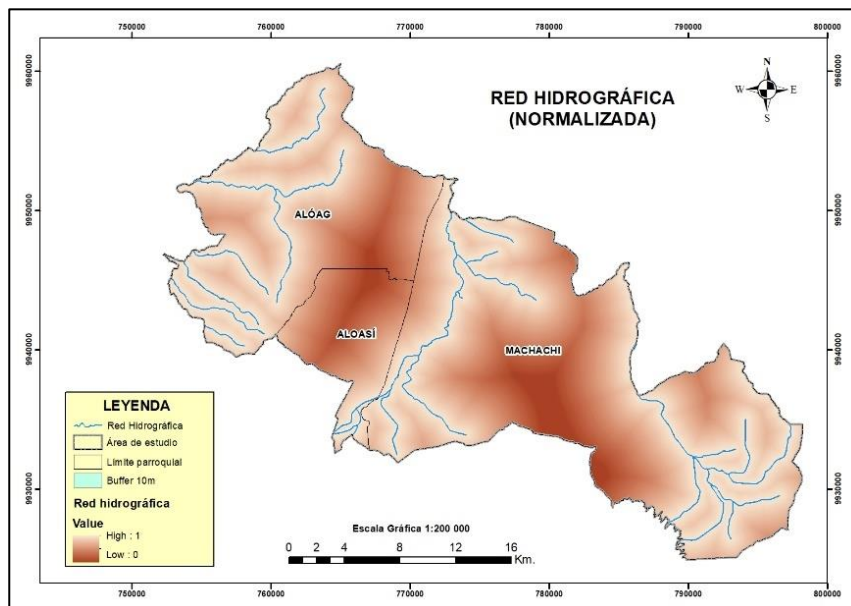
Red hidrográfica

Proximidad a ríos. Para esta variable se trabajó con los ríos perennes, siendo estos los más representativos dentro del área de estudio, además es importante que se tome en cuenta las franjas de protección que se debe considerar para el establecimiento de nuevas áreas urbanas cerca de los mismos. El GAD Mejía en el año 2017 determina las franjas de protección para ciertos criterios y establece que para los ríos se debe tener un retiro mínimo de 10 metros a cada lado desde los bordes o riveras y en función al cauce, caudal y topografía, el cual ha sido empleado para la presente investigación.

Para esta variable se calculó la distancia euclidiana hacia las franjas de protección y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 21

Variable Red Hidrográfica



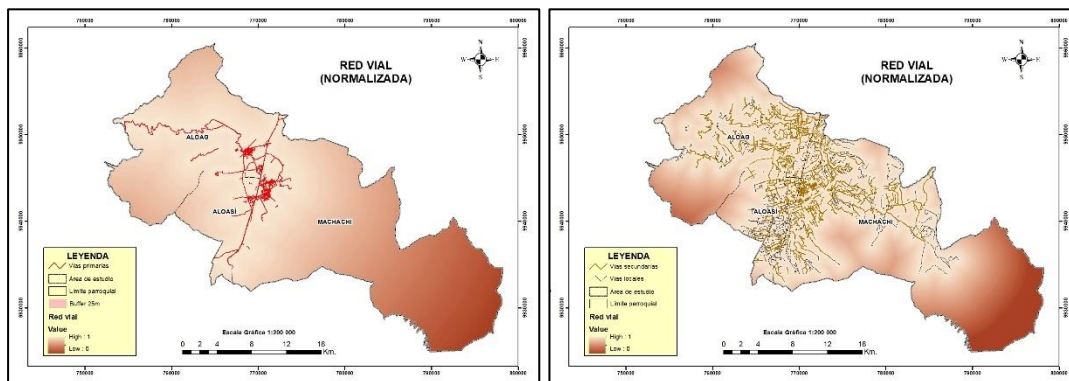
Nota. La figura presenta el resultado de la normalización de la variable red hidrográfica

Red vial

Proximidad a vías. Las vías conforman una de las variables de importancia, esto porque a través de ellas se analiza la accesibilidad a los nuevos sitios urbanos. En este estudio se optó por trabajar con las vías primarias, secundarias y locales, siendo estas las más representativas en el área. Para las vías primarias en primera instancia se estableció una franja de protección de 25m como se establece en la ley de caminos del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, posterior se calculó la distancia euclidiana hacia las franjas de protección y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana; en cuanto a las vías secundarias se calculó directamente la distancia euclidiana y se normalizó la variable.

Figura 22

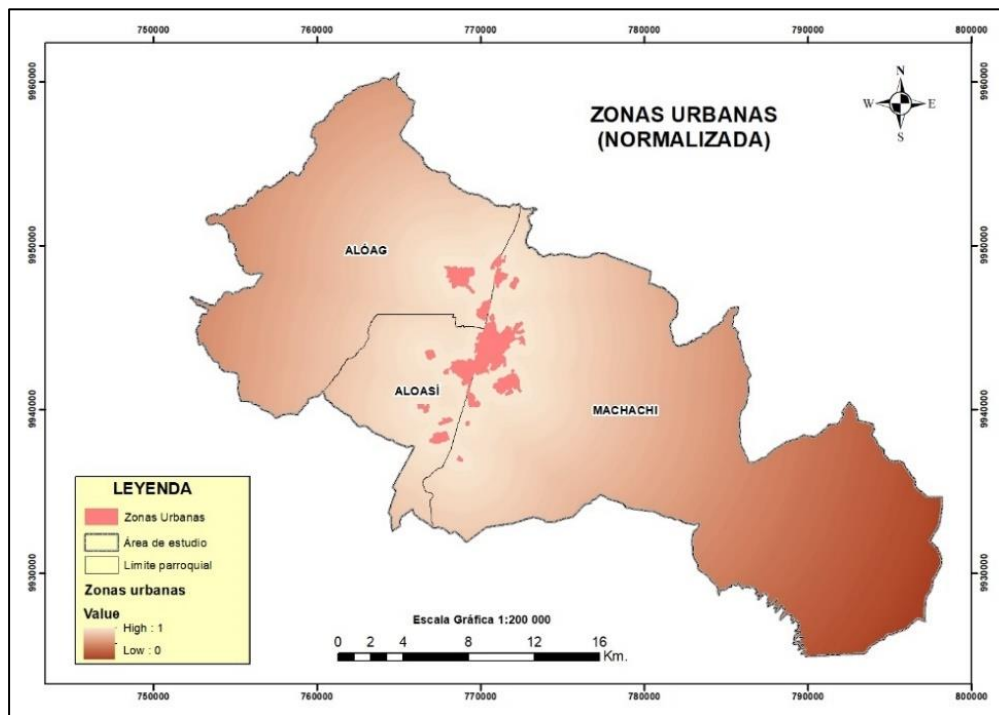
Variable Red vial



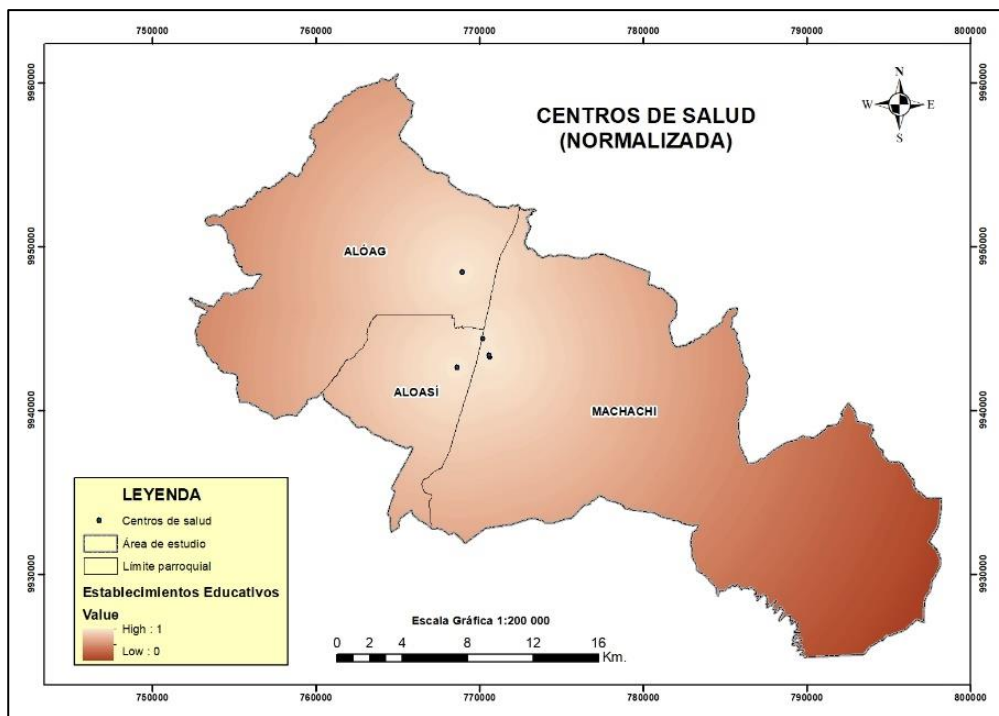
Nota. La figura presenta el resultado de la normalización de la variable red vial, en la izquierda se encuentran las vías primarias y a la derecha las vías secundarias y locales.

Zonas urbanizadas

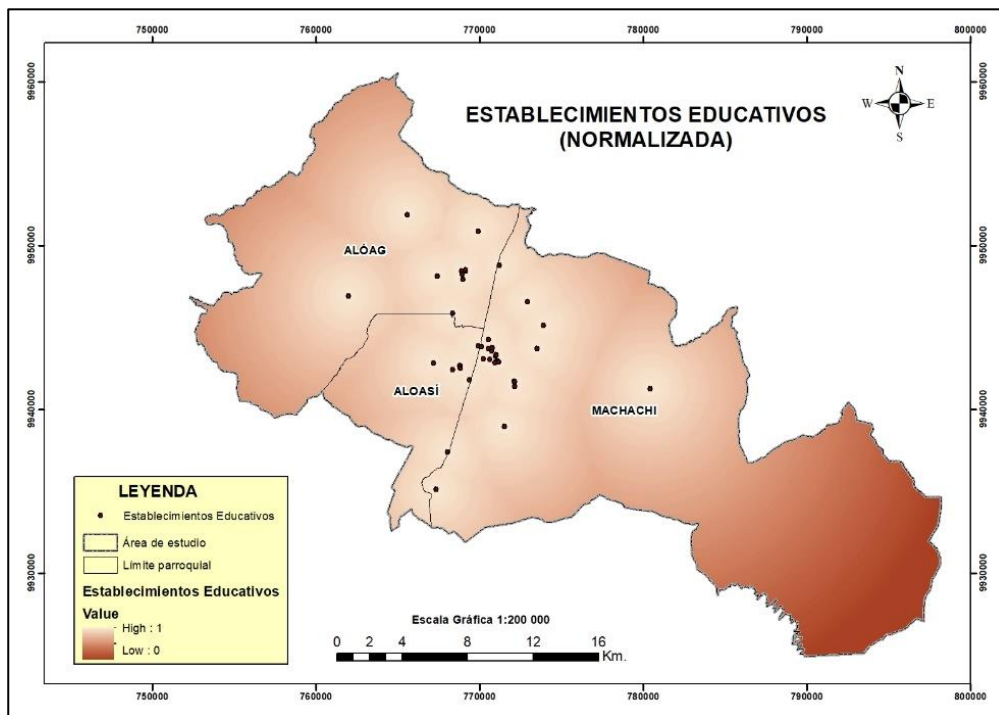
Desarrollar un proceso adecuado para urbanizar recae en localizar las futuras zonas de crecimiento cerca de sitios urbanos que ya existen, en este sentido se trabajó con las zonas antrópicas del año 2020 obtenidas del estudio multitemporal. Para esta variable se calculó la distancia euclidiana hacia las zonas urbanas y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 23*Variable Zonas urbanizadas****Centros de salud***

La disponibilidad de equipamientos como los centros de salud en futuras zonas de expansión urbana es de gran relevancia ya que esto asegura el acceso a una calidad de vida digna para los habitantes y es importante considerar la cercanía a la que se encuentren. Para esta variable se calculó la distancia euclidiana hacia los centros de salud y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 24*Variable Centros de salud****Establecimientos educativos***

Al igual que los centros de salud, equipamientos como los establecimientos educativos también se consideran importantes a la hora de establecer nuevas áreas urbanas con la finalidad de que los habitantes tengan una calidad de vida digna. Para esta variable se calculó la distancia euclidiana hacia los establecimientos educativos y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 25*Variable Establecimientos Educativos****Servicios básicos***

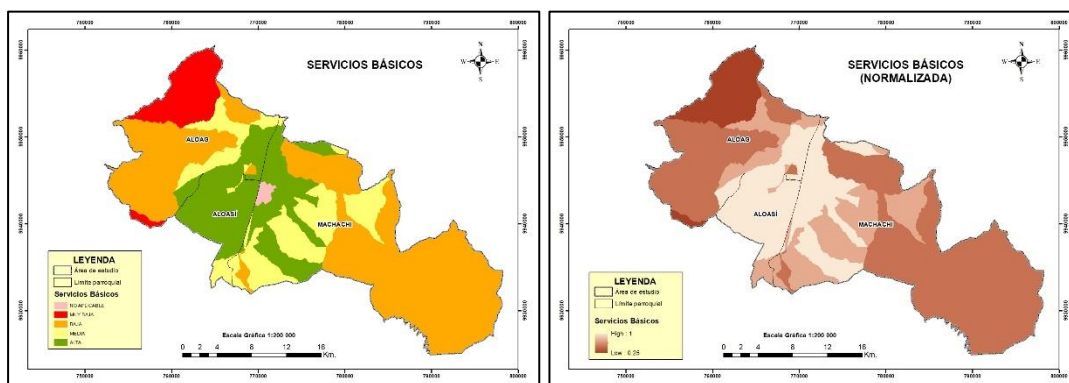
Los procesos de expansión urbana se dan de tal forma que debido a la aparición de nuevos asentamientos se deben incrementar los servicios básicos refiriéndose a agua potable, alcantarillado, luz eléctrica, recolección de basura, entre otros, lo que representa una inversión con altos costos, por ende, para futuras áreas de expansión es recomendable planificar cerca de las redes ya existentes.

Para esta variable se tuvo acceso a la disponibilidad de servicios básicos por zona censal, cada una de ellas presentaba valores entre 1 a 4 donde 1 corresponde a zonas que presentan escasos servicios, 2 corresponde a que tienen acceso a 1 de los servicios, 3 corresponde que se tiene acceso a 2 de los servicios y 4 corresponde acceso a todos los servicios, se procedió a normalizar dividiendo estos valores para el

mayor de forma que se obtiene valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 26

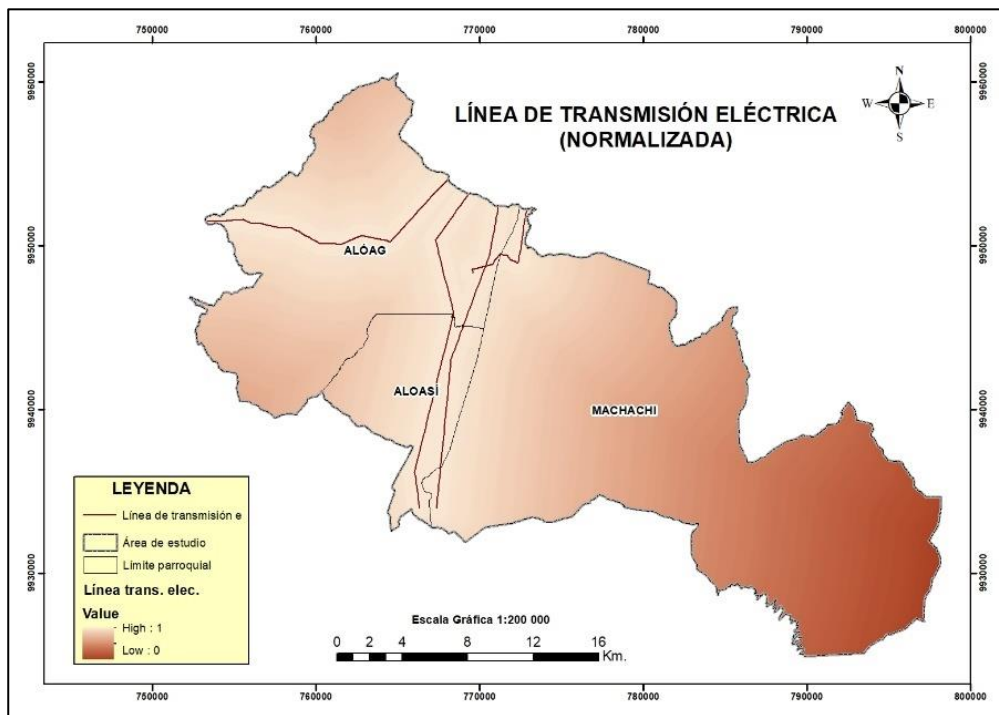
Variable Servicios básicos



Nota. La figura se encuentra: en la izquierda la variable de servicios básicos y a la derecha el resultado de la normalización.

Línea de transmisión eléctrica

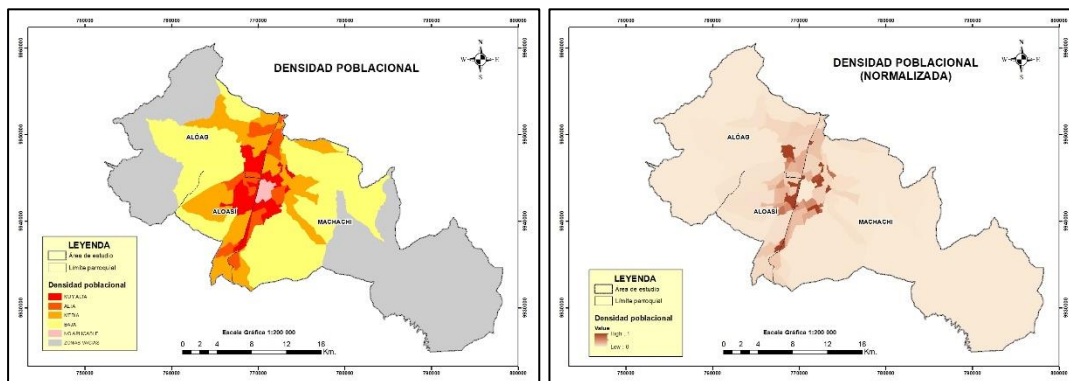
La línea de transmisión eléctrica corresponde al medio físico por el se lleva energía eléctrica a grandes distancias, y para futuras expansiones contar con este medio se vuelve importante debido a que permite asegurar una calidad de vida digna. Para esta variable se calculó la distancia euclidiana hacia la línea de transmisión eléctrica y se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 27*Variable Línea de trasmisión****Densidad poblacional***

En esta variable se identifica la cantidad de habitantes que existen por kilómetro cuadrado, considerándose importante debido a que los nuevos asentamientos deberán estar cerca de áreas que presenten más densidad poblacional. Para este análisis se tuvo como insumo la densidad poblacional por kilómetro cuadrado de cada zona censal. El proceso que se realizó para normalizar la variable consta en dividir cada valor de densidad para el mayor valor presente en la tabla presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana.

Figura 28

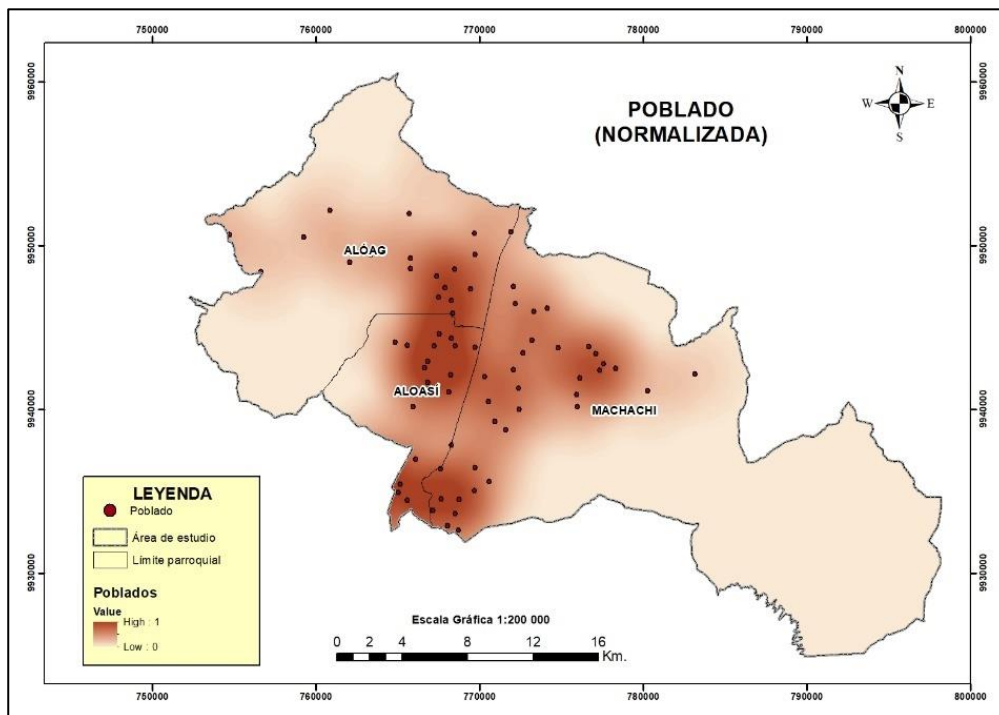
Variable Densidad Poblacional



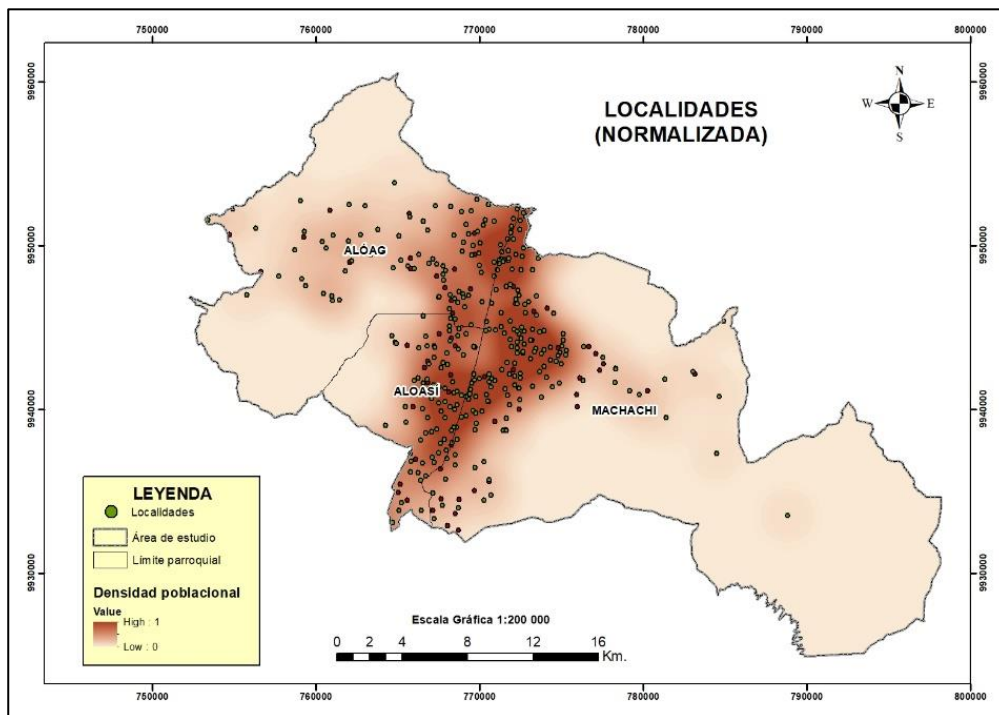
Nota. La figura se encuentra: en la izquierda la variable de densidad poblacional y a la derecha el resultado de la normalización.

Poblado

La variable corresponde a los poblados con concentración de pocas viviendas dentro de la zona de estudio, en este sentido para un proceso adecuado de expansión urbana es necesario que se realice cerca a estos puntos. Para esta variable por el tipo de información se optó por calcular la densidad de puntos, obteniendo áreas donde existe o no concentración de poblados, y para obtener el insumo final se normalizó la variable presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana

Figura 29*Variable Poblado***Localidades**

La variable corresponde a localidades rurales que se encuentran en la zona de estudio, y al igual que los poblados se considera importante que los futuros asentamientos se encuentren cercanos a estos puntos. Para esta variable se calculó la densidad de puntos obteniendo áreas de gran concentración siendo estas las más adecuadas para las futuras áreas de expansión, se normalizó presentando valores entre 0 y 1 donde el valor más cercano a 1 corresponde a lo óptimo para la expansión urbana

Figura 30*Variable Localidades***Asignación de pesos a los factores**

La asignación de pesos para cada uno de los factores que fueron considerados para la presente investigación se determinó a través de la metodología de Evaluación Multicriterio (Saaty), su escala de calificación fue determinada en tal sentido que el valor más alto corresponde a la mejor alternativa.

En la tabla se observa la ponderación para cada categoría y subcategoría, se consideró de mayor prioridad a la categoría correspondiente a la disponibilidad de servicios básicos ya que el acceso a estos resulta en asegurar una calidad de vida digna para los habitantes además desde un punto económico se puede reducir gastos de inversión en nuevas instalaciones.

La siguiente categoría con alta ponderación corresponde a la proximidad a centros urbanos y equipamientos que abarca a variables como las zonas urbanas, centros de salud y establecimientos educativos los cuales se vuelven de gran relevancia para obtener un adecuado proceso de expansión urbana.

La categoría asentamientos humanos que está compuesta por variables como poblado, localidades y zonas urbanizadas, al igual que las anteriores se vuelve de mayor prioridad ya que como se mencionó un adecuado proceso de expansión recae en asentarse en zonas que ya estén desarrolladas y por ende cuentan con algunos de los requisitos que garantizan a los habitantes una mejor calidad de vida.

La categoría accesibilidad es la siguiente, comprende a las vías primarias, secundarias y locales siendo estas variables importantes al momento de establecer una nueva área urbana ya que se garantiza la accesibilidad a las mismas.

Por último, se encuentra la categoría biofísica que al tener la menor ponderación igual se considera importante ya que comprende variables representativas como la pendiente, uso y cobertura del suelo, textura del suelo, la aptitud agrícola y los ríos. En este sentido para cada una de las subcategorías y categorías se calculó el peso obteniendo los valores que se muestran en la tabla 20.

Tabla 20

Variables ponderadas por categoría y subcategoría

Peso Categoría	Categoría	Subcategoría	Peso Subcategoría
		Pendiente	0.28
0.09	Biofísico	Uso y cobertura del suelo	0.25
		Suelo - Textura	0.22

Peso Categoría	Categoría	Subcategoría	Peso Subcategoría
		Aptitud agrícola	0.16
		Ríos	0.09
0.16	Accesibilidad	vías primarias	0.63
		vías secundarias y locales	0.38
	Proximidad a	Zonas urbanizadas	0.39
	centros	Centros de salud	0.33
0.25	urbanos y	Establecimientos	0.28
	equipamientos	educativos	
	Disponibilidad	Servicios básicos	0.63
0.28	de servicios	Distancia a Línea de	0.38
	básicos	transmisión eléctrica	
	Asentamientos	Densidad poblacional	0.44
0.22	humanos	Poblado	0.38
		Localidades	0.19

Generación de Geodatabase

Una Geodatabase cuenta con un modelo de información integral con la finalidad de administrar información geográfica, almacena información de diferentes tipos como *Feature Class* (capas de tipo punto, línea o polígono), o *Feature Dataset* (grupo de feature class), cada uno de ellos bajo una misma extensión y sistema de coordenadas.

La geodatabase está conformada por la información cartográfica base y otros insumos temáticos empleados para la determinación de zonas óptimas para

expansión urbana, divididos en 6 grupos que se describen a continuación:

Restricciones: Representa el *Dataset* que contiene 6 *feature class* que corresponden a las variables que fueron consideradas como restricciones para el establecimiento de zonas urbanas.

Variables biofísicas: *Dataset* que contiene 5 *feature class* que representan variables que tienen un grado de influencia en el entorno natural sobre el que la población se asienta y realiza actividades.

Variables de accesibilidad: Corresponde al *Dataset* que contiene 2 *feature class* que son: vías principales, secundarias y locales que favorecen a la accesibilidad y conexión del territorio.

Variables de proximidad a centros urbanos y equipamientos: Representa el *Dataset* que contiene 3 *feature class* relacionados con las variables de educación, salud, y las zonas urbanas.

Variables de disponibilidad de servicios básicos: *Dataset* que contiene 2 *feature class* relacionados al acceso a servicios básicos por zonas censales y la proximidad a la línea de transmisión eléctrica.

Variables de asentamientos humanos: Es el *Dataset* que posee 3 *feature class* referentes a variables como poblados, localidades y densidad poblacional. De forma adicional se agregó el ráster *dataset* que corresponde a la variable pendiente.

Figura 31

Geodatabase



Nota. En la figura se observa la geodatabase generada con las variables analizadas para la determinación de zonas óptimas de expansión urbana

Creación del repositorio web

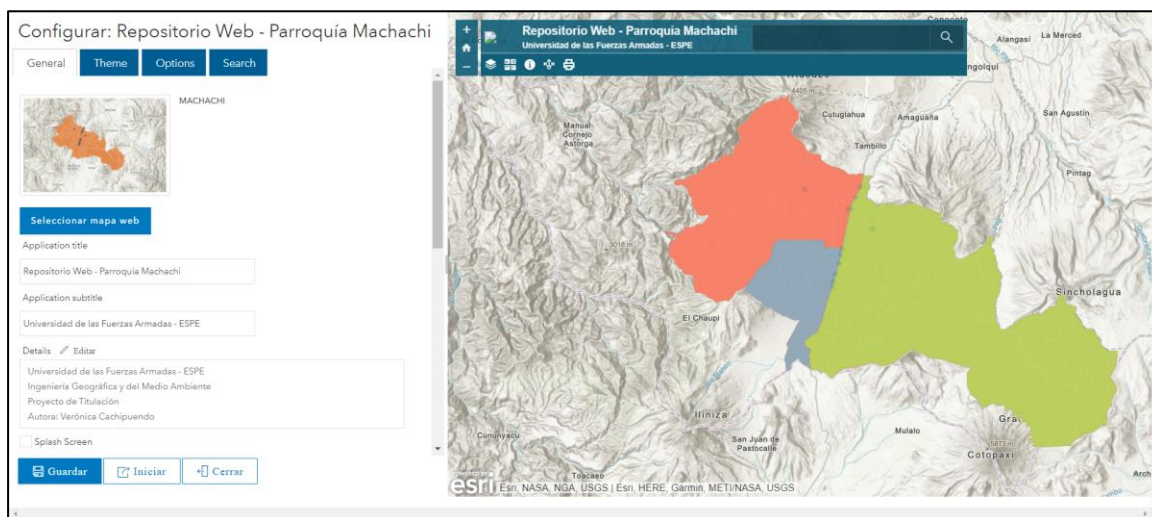
Una vez que se obtiene toda la información y se ha generado la geodatabase, se procede a crear el repositorio web, el mismo que se realizó a través de la aplicación *web mapping* de ArcGIS Online, para lo cual previamente se creó una cuenta de ArcGIS *for developers*, el cual es un entorno web que tiene la finalidad de crear, administrar y publicar aplicativos multiplataforma (desktop, web, mobile), ofreciendo de forma completa herramientas y recursos que crean soluciones de mapeo y análisis.

El proceso consiste en trabajar dentro de la plataforma de ArcGIS Online en donde se creó un mapa que estará conformado por toda la información que se encuentra dentro de la geodatabase, para que la información se suba, cada variable debe estar en archivo shapefile comprimido (ZIP).

A continuación, se comparte el mapa creando una aplicación web, donde se escoge previamente una plantilla que facilitará el proceso, para este caso se trabajó con un visor básico que permite mostrar un conjunto de herramientas de uso frecuente en un panel flotante. Se configuraron las opciones como: título, subtítulo, tema y lo demás se optó por dejarlo por defecto.

Figura 32

Configuración para la generación del repositorio web



De tal forma se obtiene la aplicación web que será de acceso a todo el público y al cual se tendrá ingreso con el link que se generó previamente, concluyendo de esta forma con tener un repositorio web de la zona de estudio constituida por la parroquia de Machachi y sus áreas de influencia parroquia Alóag y Aloasí.

Capítulo IV

Resultados

Estudio del proceso de expansión urbana en el periodo 2001-2020

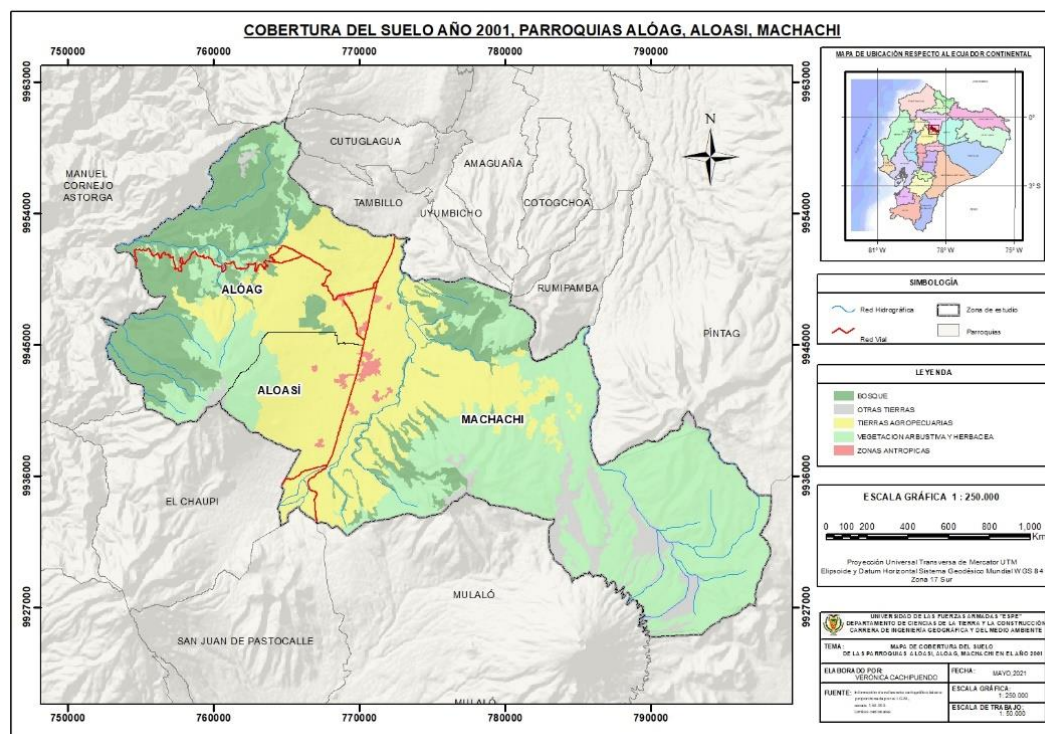
El análisis multitemporal planteado en la presente investigación se realizó con la finalidad de que a través de la interpretación de las imágenes satelitales seleccionadas en el periodo (2001-2020) se logre evidenciar el comportamiento del proceso de expansión urbana que ha experimentado la parroquia de Machachi y sus áreas de influencia: parroquia Alóag y Aloasi.

Cobertura de suelo año 2001

Para el año inicial se puede evidenciar que la cobertura referente a Zonas Antrópicas posee una superficie de 520.22 hectáreas que corresponde al 0.77% del total del área de estudio, la cobertura que predomina el área es la Vegetación Arbustiva y Herbácea con una superficie de 27792.24 hectáreas que corresponde al 41.36% del total del área, seguido de la cobertura Tierras Agropecuarias con 22180.10 hectáreas que corresponde al 33.01%, la cobertura Bosque presenta 13507.55 hectáreas que corresponde al 20.10% y por último la cobertura Otras Tierras con 3198.17 ha que corresponde al 4.76% del total del área de estudio.

Figura 33

Mapa de cobertura de suelo en el año 2001

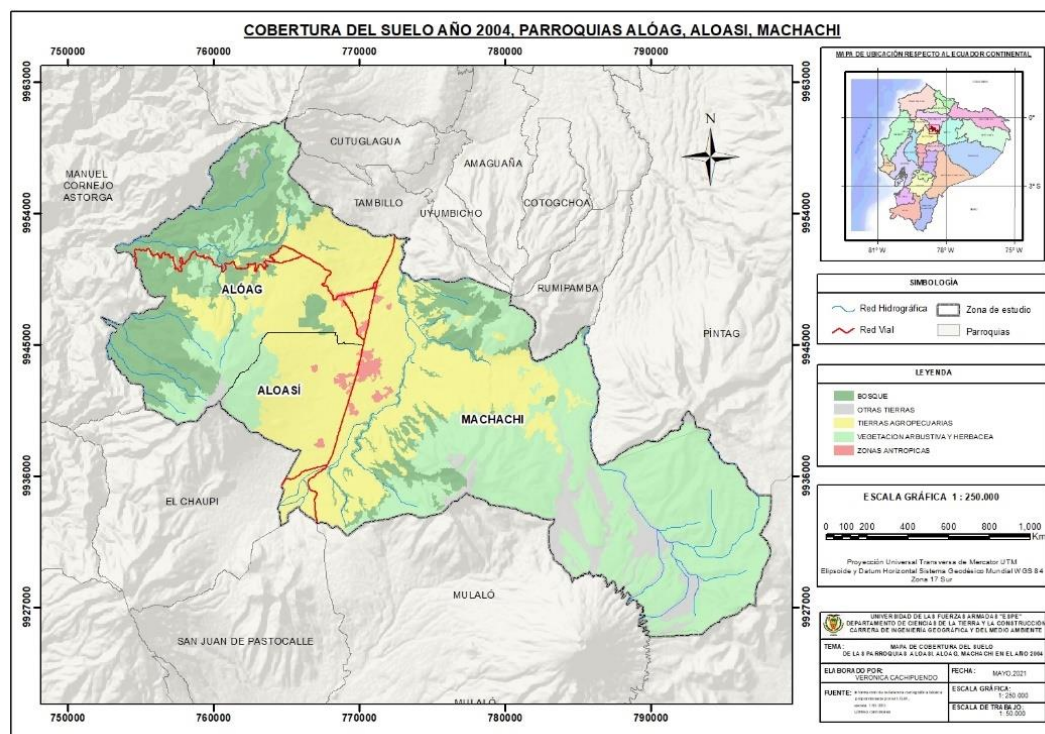


Cobertura de suelo año 2004

En el año 2004 se logra ver que la cobertura de Zonas Antrópicas posee una superficie de 685.17 hectáreas que corresponde al 1.02% del total del área de estudio presentando un aumento con respecto al año 2001, la cobertura que predomina el área es la Vegetación Arbustiva y Herbácea con una superficie de 26271.07 hectáreas que corresponde al 39.79% del total del área, seguido de la cobertura Tierras Agropecuarias con 22864.25 hectáreas que corresponde al 34.03%, la cobertura Bosque presenta 13478.51 hectáreas que corresponde al 20.06% y por último la cobertura Otras Tierras con 3429.28 hectáreas que corresponde al 5.10% del total del área de estudio.

Figura 34

Mapa de cobertura de suelo en el año 2004

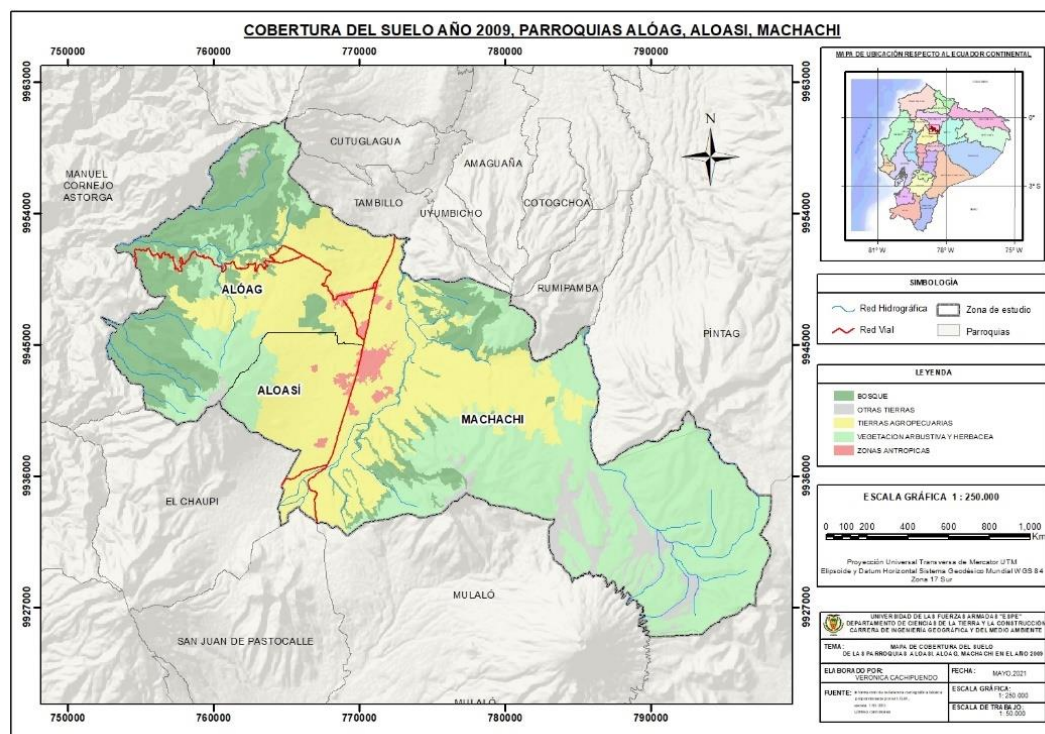


Cobertura de suelo año 2009

Para el año 2009 la zona antrópica presenta una superficie de 1017.74 ha que representa 1.51% del total de la superficie del área de estudio presentando un representativo aumento con respecto al año anterior; la cobertura que predomina en el área para este año es la Vegetación Arbustiva y Herbácea con una superficie de 26551.20ha que corresponde al 39.51% del total del área, seguido de la cobertura Tierras Agropecuarias con 23593.09 ha que corresponde al 35.11%, la cobertura bosque presenta 13109.36 ha que corresponde al 19.51% y por último la cobertura Otras Tierras con 2926.89 ha que corresponde al 4.36% del total del área de estudio

Figura 35

Mapa de cobertura de suelo en el año 2009

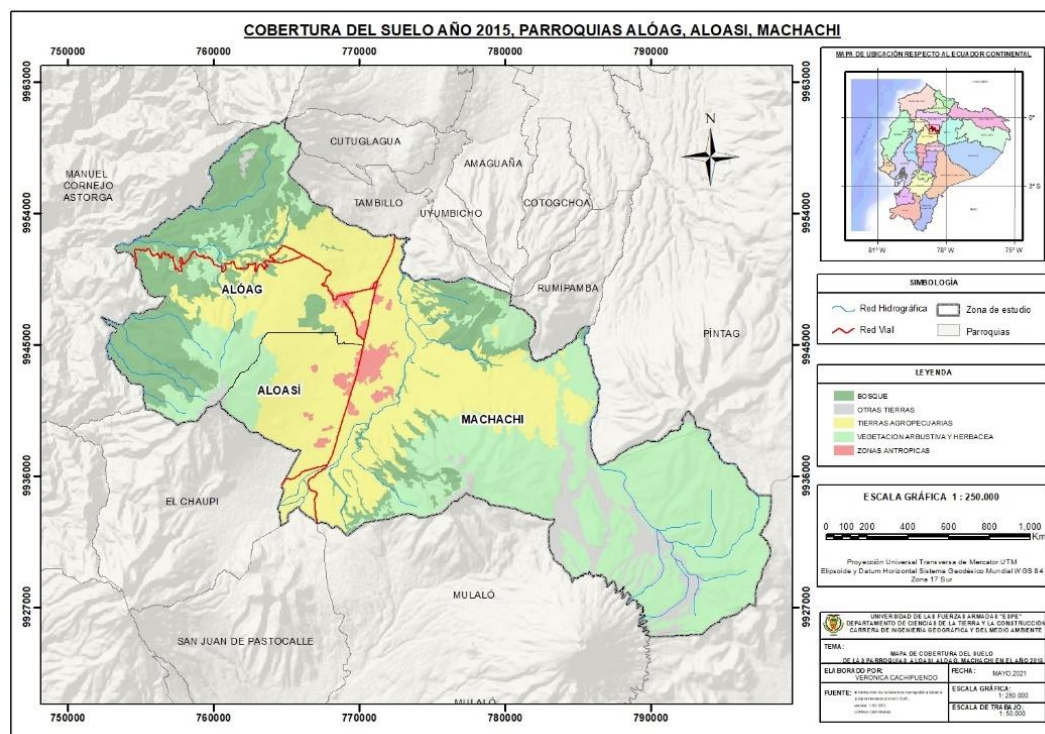


Cobertura de suelo año 2015

Con respecto al año 2015 en cuanto a las Zonas Antrópicas presentan una superficie de 1215.56 ha que representa el 1.81% del total de la superficie evidenciando un aumento con respecto al año anterior; la cobertura que predomina es la Vegetación Arbustiva y Herbácea con un total de 25248.11 ha que corresponde al 37.57% del total, siguiendo con la cobertura de Tierras Agropecuarias con un total de 23837.00 ha o sea el 35.47% del área, la cobertura Bosque ocupa 13302.68 ha que representa el 19.80% del área y finalmente esta la cobertura Otras Tierras con 3594.94 ha siendo esta el 5.35% del área total.

Figura 36

Mapa de cobertura de suelo en el año 2015

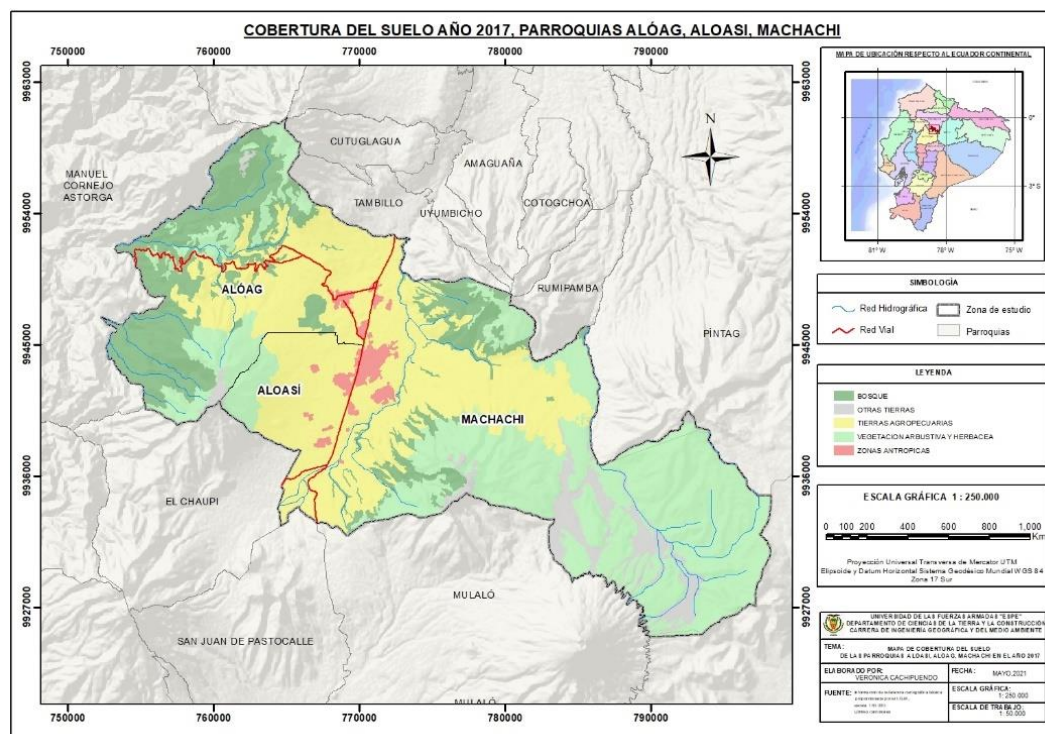


Cobertura de suelo año 2017

En el año 2017 las Zonas antrópicas ocupaban una superficie de 1404.00 ha representado el 2.09% del total del área corroborando que estas zonas siguen en un aumento progresivo; la cobertura que más se observa en el área es la Vegetación Arbustiva con un área de 24922.79 ha correspondiendo al 37.09% de la superficie total de la zona de estudio, por otro lado se encuentra la cobertura de Tierras Agropecuarias con un total de 24689.69 ha que son el 36.74 del total, la cobertura Bosque tiene un total de 12546.12 ha presentado un decremento con respecto al año anterior y siendo el 18.75% del área total, por último se encuentra la cobertura Otras Tierras con una superficie de 2580.65 ha que son el 5.33% del total.

Figura 37

Mapa de cobertura de suelo en el año 2017

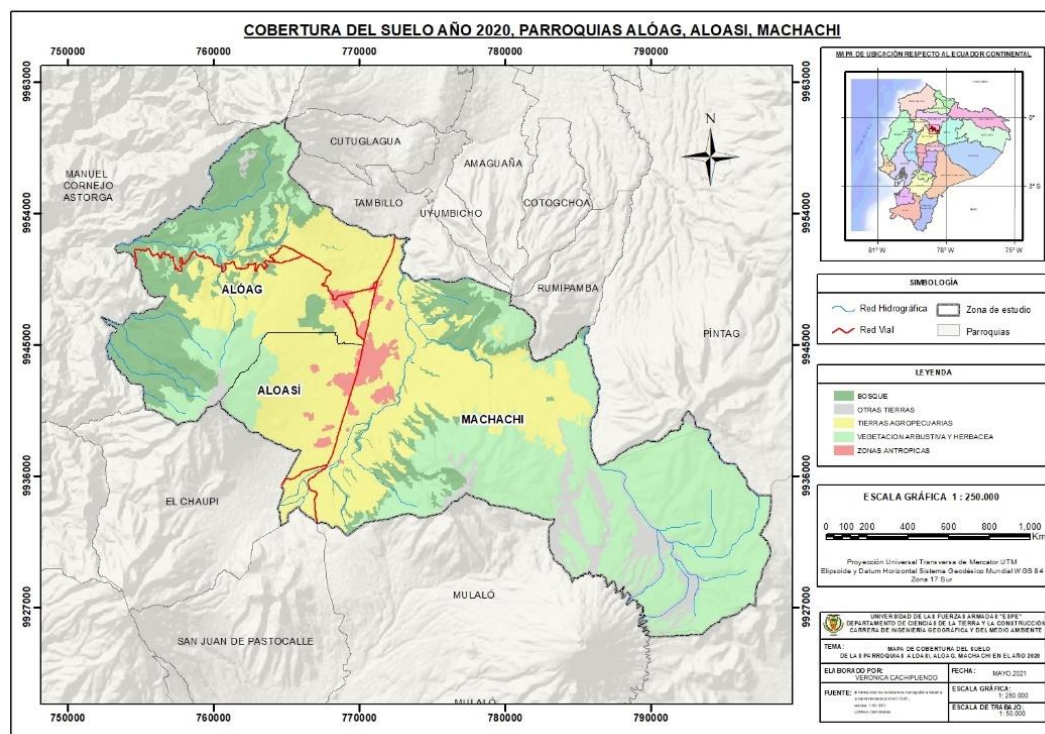


Cobertura de suelo año 2020

Para el año 2020 la cobertura de Zonas Antrópicas presenta 1519.25 ha que corresponden al 2.26% teniendo un aumento representativo referente al año anterior; en este año predomina la cobertura de Tierras Agropecuarias con 24763.91 ha siendo el 36.85 del total del área de estudio, la cobertura Vegetación Arbustiva presenta un total de 24685.00 ha que son el 36.73% del total del área, la cobertura Bosque presenta una leve disminución con un total de 12546.12 ha siendo el 18.67% de la zona de estudio, y por último la cobertura Otras Tierras presenta un ligero aumento con 3684.02 ha siendo el 5.48% de la superficie total.

Figura 38

Mapa de cobertura de suelo en el año 2020



Cambios de cobertura en el periodo 2001-2020

Al obtener los resultados de las coberturas para cada año de estudio como se presenta en la Tabla, se pudo observar que con respecto a la cobertura de Zonas Antrópicas esta presenta un aumento año tras años, además se puede decir que el incremento más representativo esta entre los años 2004 y 2009 con una variación de alrededor de 0.5%, asimismo se determinó que esta cobertura presenta una superficie de cambio de 999.03 ha para el periodo 2001-2020 y una tasa anual de cambio del 5.80% como se detalla en la tabla. Por otro lado, se observa que existe una presión directa del núcleo urbano de Machachi hacia sus áreas de influencia como es la parroquia de Aloasi esto debido al desarrollo de actividades económicas que se encuentran divididas únicamente por la vía Panamericana Sur (E35) y de igual manera

en la parroquia de Alóag se evidencia un crecimiento de las áreas urbanas esto gracias a la existencia de la transversal norte Alóag – Santo Domingo (E20) que une las provincias costaneras y también por ser considerada como una zona donde se realizan actividades manufactureras referentes al combustible, bodegaje y acero.

En cuanto a la cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea los tipos de vegetación característicos de esta zona se ubican principalmente en las zonas de los macizos montañosos alrededor de los pastizales, cultivos y mosaicos agropecuarios, se logró evidenciar que la cobertura ha ido disminuyendo año tras año presentando el mayor decremento entre los años 2009-2015 con una variación de alrededor de 2% como se observa en la tabla; para el periodo 2001-2020 la cobertura presenta una superficie de cambio de 2583.81 ha con una tasa anual de cambio negativa del 0.62% (tabla), además se puede observar que esta cobertura en su gran mayoría ha pasado a ser parte de las Tierras Agropecuarias.

En relación a la cobertura de Tierras agropecuarias estas se localizan en las planicies de los valles y en la parte inferior de las montañas esto por las condiciones naturales, accesibilidad a las vías para el ingreso de maquinarias agrícolas que facilitan el desmonte y preparación de terrenos que generan productos lácteos, vegetales, hortalizas, frutas entre otras, además de garantizar el adecuado manejo de los pastizales que son la fuente de alimentación para el ganado vacuno, se puede evidenciar que esta cobertura presenta un incremento año tras año con una variación de alrededor del 0.9%, resulta en una superficie de cambio de 2583.81 ha y una tasa anual de 0.58% para el periodo 2001-2020.

La cobertura Bosque se ubica principalmente en las zonas más elevadas de la cuenca y referente a la zona de estudio se encuentra mayormente distribuida en la zona occidental correspondiente a Alóag y Aloasi, está constituida especialmente por bosque

En la Tabla 22 se presenta el resultado en cuanto a la superficie de cambio en hectáreas y porcentaje, además de la tasa anual en porcentaje para el periodo de tiempo 2001-2020, con el tipo que representa ya sea este incremento o decremento.

Tabla 22

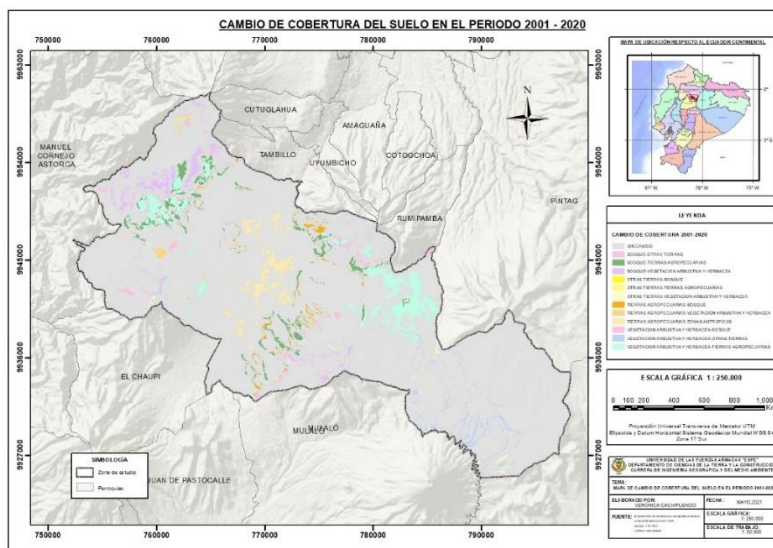
Tasa de Cambio de las coberturas en el periodo 2001-2020

Cobertura	2001 [ha]	2020 [ha]	Superficie de cambio [ha]	Cambio [%]	Tasa Anual [%]	Tipo
Zona Antrópica	520.22	1519.25	999.03	192.04	5.80	Incremento
Tierras Agropecuarias	22180.10	24763.91	2583.81	11.65	0.58	Incremento
Vegetación Arbustiva y Herbácea	27792.24	24685.00	3107.25	-11.18	-0.62	Decremento
Bosque	13507.55	12546.12	961.43	-7.12	-0.39	Decremento
Otras Tierras	3198.17	3684.02	485.85	15.19	0.75	Incremento
TOTAL	67198.28	67198.28	-	-	-	-

En la Figura 39 se observa los cambios de cobertura en el periodo 2001-2020 en el área de estudio, donde se corrobora el crecimiento de las zonas antrópicas como se explicó anteriormente.

Figura 39

Cambios de cobertura en el periodo 2001 – 2020



Análisis del proceso de expansión de las Zonas Antrópicas en el periodo 2001-2020

Se realizó el análisis del proceso de expansión urbana para el periodo de tiempo establecido de manera que se describa a detalle y se determinen nuevas características urbanísticas que se presenten dentro del área de estudio. En este sentido la tabla 23 muestra el área en hectáreas, el crecimiento en ha con respecto al año anterior y el porcentaje que representa, además de la tasa anual de crecimiento y el tipo que simboliza.

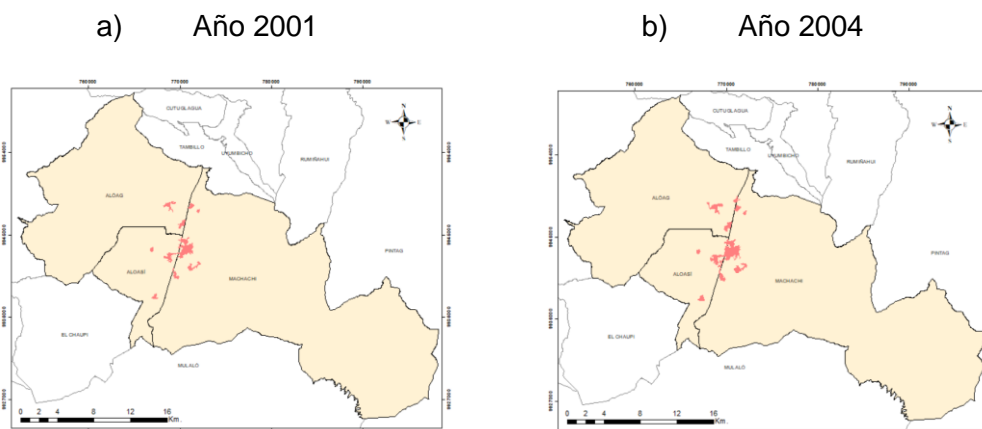
Tabla 23

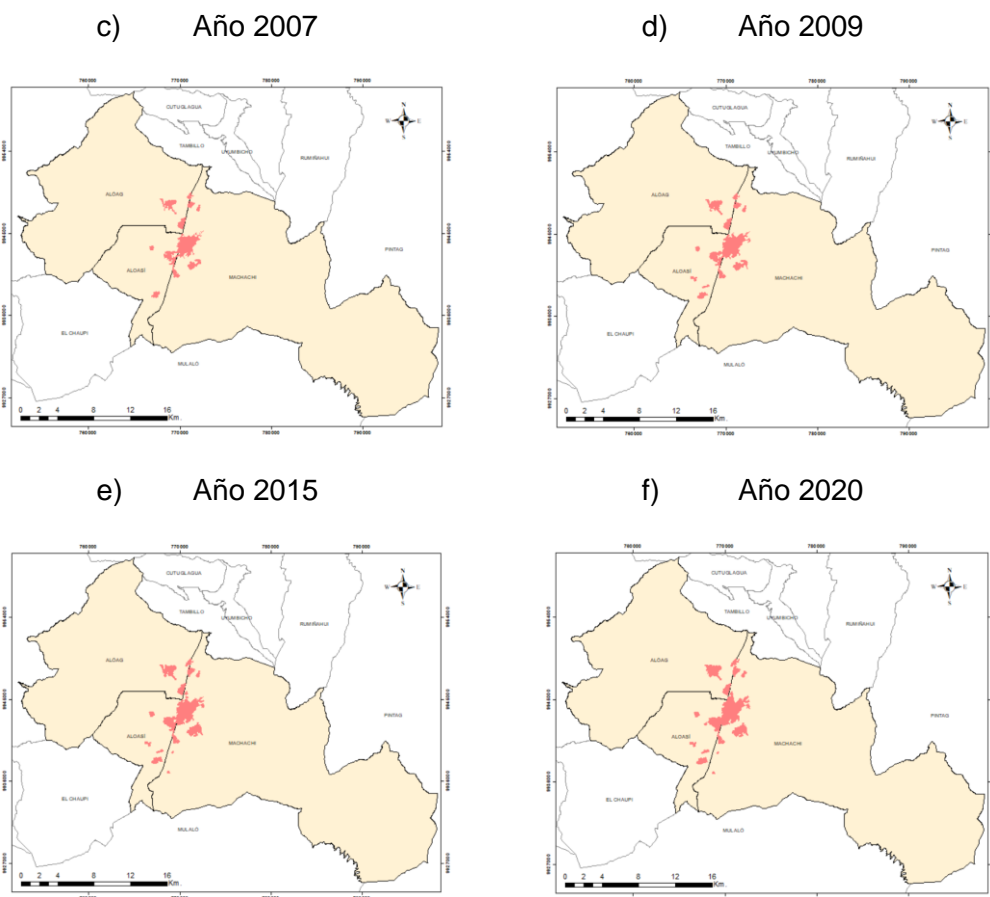
Proceso de expansión de las Zonas Antrópicas 2001-2020

	ÁREA [Ha]	CRECIMIENTO [Ha]	CRECIMIENTO [%]	TASA ANUAL [%]	TIPO
2001	520.22	-	-	-	-
2004	685.17	164.95	16.51	9.62	Incremento
2009	1017.74	332.57	33.29	8.24	Incremento
2015	1215.56	197.82	19.80	3.00	Incremento
2017	1404.00	188.44	18.86	7.47	Incremento
2020	1519.25	115.25	11.54	2.66	Incremento
TOTAL	6361.94	999.03	100.00	61.18	-

Figura 40

Proceso de expansión de las Zonas antrópicas en el periodo 2001-2020





Nota. La figura presenta la expansión de las zonas antrópicas para cada año de estudio.

Como se puede observar en la figura, el proceso de crecimiento de la mancha urbana en la parroquia de Machachi y sus áreas de influencia Alóag y Aloasi se ha dado de manera progresiva con un incremento significativo en el periodo de estudio. En el primer periodo de estudio 2001 se determinó que las zonas antrópicas cubrían 520.22 hectáreas la mayor concentración de infraestructura se localiza en el centro del área, la presencia de la vía Panamericana Sur responde a que las nuevas infraestructuras se asienten ahí, por lo que existe una tendencia de crecimiento de estas zonas en dirección a las vías principales de acceso.

Para el año 2004 el área de las zonas antrópicas tiene un total de 685.17 ha, es decir que existió un aumento de 164.95 ha que corresponden a una tasa anual de cambio 9.62%, observando que se consolidan las áreas urbanas ya existentes y que el crecimiento sigue la misma dirección que el año anterior tendiendo a una expansión hacia el norte y sur del área de estudio.

Para el año 2009 las zonas antrópicas cubren un total de 1017.71 hectáreas, presentando un aumento de 332.57 hectáreas con respecto al año anterior y una tasa anual de 8.24%, este periodo 2004-2009 muestra el mayor porcentaje de crecimiento de todo el periodo de estudio, se observa que la mancha urbana crece sobre todo en la parroquia de Machachi en dirección al nororiente y como ya se mencionó por la presencia de la vía Panamericana Sur el crecimiento se da alrededor de esta y se consolida las áreas ya existentes.

En el año 2015 el proceso de urbanización tiende a seguir alrededor de las áreas ya existentes presentado mayor expansión en la parroquia de Machachi y cubriendo 1215.56 hectáreas del total del área de estudio incrementando 197.82 hectáreas con respecto al año anterior y resultando en una tasa anual del 3%.

La zona antrópica del año 2017 fue de 1404.00 hectáreas, es decir que desde el año 2015 hubo un aumento de 188.44 hectáreas y una tasa anual de 7.47%, para este periodo el crecimiento urbano no es tan significativo y esto debido a la diferencia de años que existe en este periodo, se observa que la mancha urbana continua con la tendencia de crecer alrededor de las zonas ya existentes, cerca de las vías de acceso y principalmente en la parroquia de Machachi en dirección nororiente.

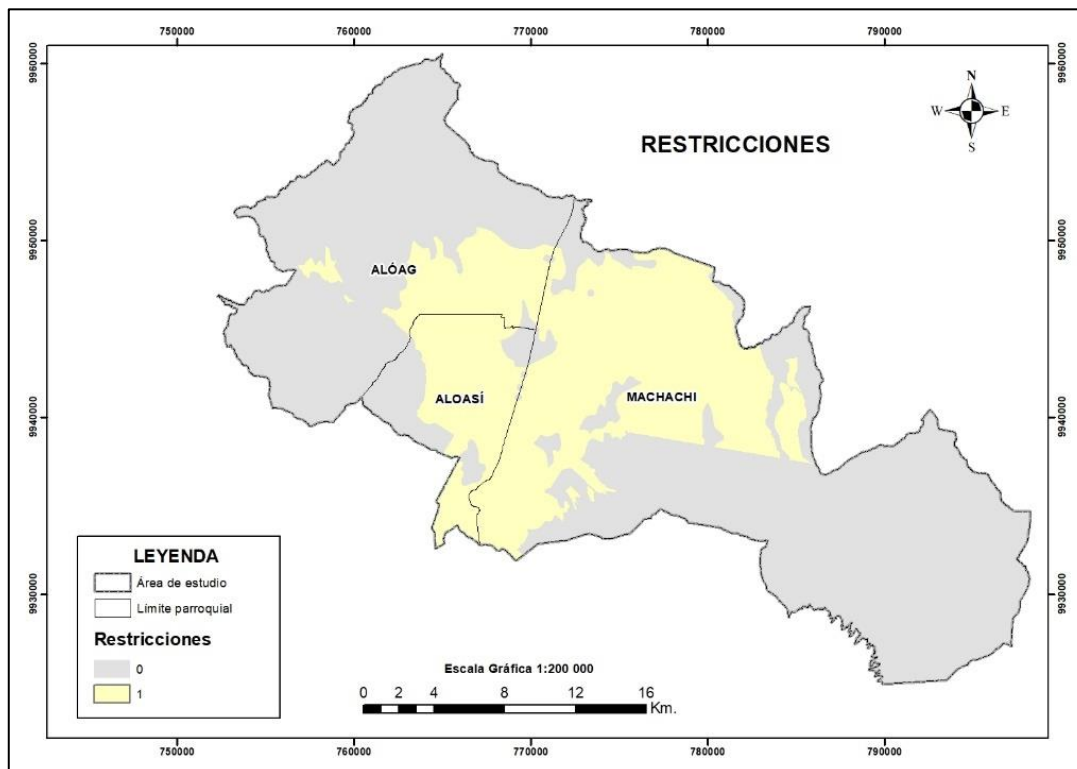
En el año 2020, la zona antrópica presenta un área total de 1519.25 hectáreas con un aumento desde el 2017 de 115.25 hectáreas y con una tasa anual de 2.66%, se

observa como la zona urbana se consolida de gran manera en las zonas ya existentes, en la parroquia de Machachi se evidencia un crecimiento en la misma dirección que los años anteriores, además se debe mencionar que este proceso se realiza en tierras agropecuarias ya sea por accesibilidad a vías, servicios básicos entre otras variables que garantizan una calidad de vida digna. La forma de la mancha urbana se acopla a su propia geomorfología de la zona y por tal motivo el crecimiento hacia los lados o en otra dirección es mínima de forma que se define un núcleo urbano en el centro de la zona de estudio y se determina un crecimiento normal y progresivo.

Determinación de zonas óptimas para expansión urbana.

Áreas con restricciones

A partir del álgebra de mapas se realizó la superposición de todas las variables que fueron definidas para establecer las restricciones dentro del área de estudio, de esta forma se obtiene un único ráster binario como se observa en la figura, en tono gris y valoración 0 se representan las zonas que no son recomendable urbanizar por presentar algún tipo de limitante, suman un área total de 43902.88 hectáreas que corresponden al 65.33% del total del área de estudio, se observa que estas áreas en su mayoría se ubican principalmente en las zonas perimetrales; por otro lado, 23295.40 hectáreas no presentan restricción y se encuentran aledañas al núcleo urbano existente como se observa en tonalidad amarilla y valoración 1 representando el 34.67% del total del área.

Figura 41*Áreas de restricciones y no restricciones****Áreas preliminares de sitios óptimos para expansión urbana***

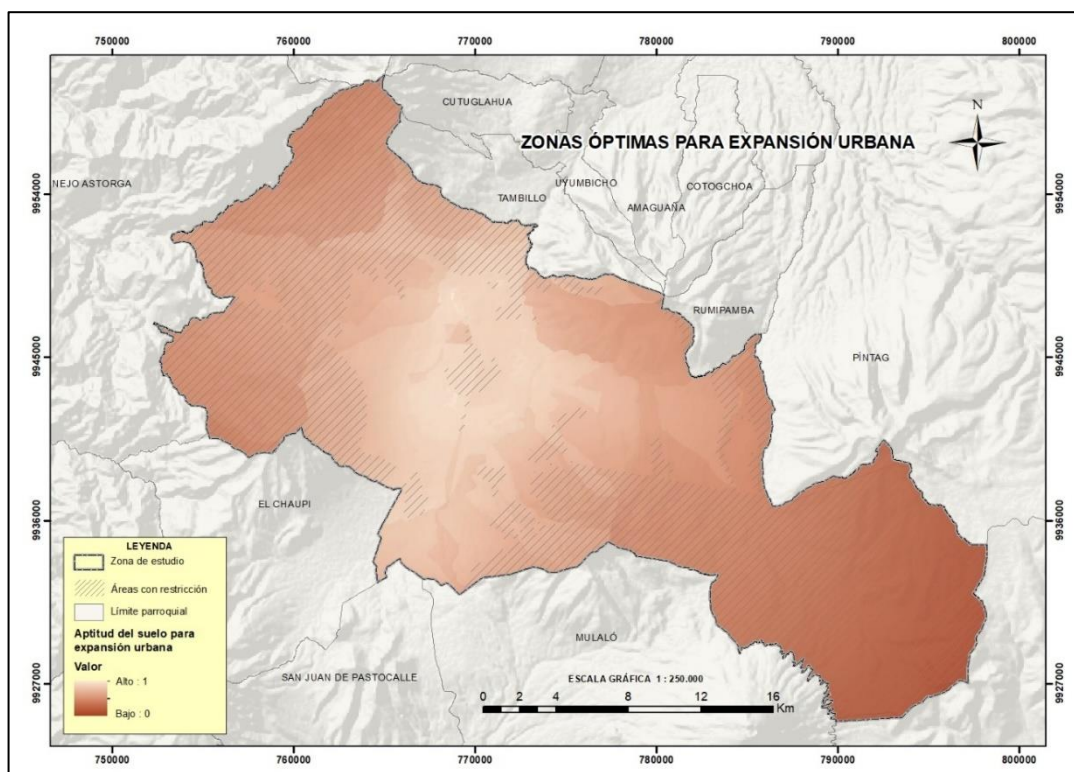
En base a la información que se recopiló y conforme a las necesidades definidas para cumplir con el objetivo de la presente investigación, se identificó los criterios analizando la información, la calidad de datos y la incidencia que estos tendrían para el estudio. Posteriormente se definió una misma escala para la presentación y análisis de datos, se normalizó y ponderó los criterios seleccionados para que finalmente se procesaran mediante la aplicación del método multicriterio correspondiente a la Suma Lineal Ponderada siendo esta una técnica comúnmente utilizada por su bajo grado de complejidad.

Al ejecutar el proceso se obtuvo en primera instancia y como resultado preliminar una capa ráster con valores comprendidos entre 0 y 1 donde los valores más

cercanos a uno corresponden a los sitios que presentan aptitud para receptor futuros asentamientos al contrario de aquellos valores cercanos a cero que serían los sitios con menor o nula aceptabilidad para la expansión. En la figura 39 se presenta el mapa resultante en donde se observa en tonalidades café claro las zonas óptimas y en tonalidades café oscuro las zonas que no serían adecuadas, además de la capa que corresponde a las restricciones previamente definidas.

Figura 42

Resultado preliminar de las zonas óptimas para expansión urbana



Superposición de mapa de restricciones y mapa preliminar de zonas óptimas

A través de álgebra de mapas, se realizó la superposición del ráster de restricciones con el mapa de zonas óptimas obteniendo como resultado las zonas que son potencialmente urbanizables en la parroquia de Machachi y las parroquias de influencia Alóag y Aloasi cumpliendo con las necesidades de la población y respetando

los espacios naturales, áreas de protección establecidos y garantizando una disminución del impacto ambiental que se pueda generar por los futuros asentamientos.

Para obtener las zonas óptimas definitivas se optó por ordenar las alternativas de la más apta a la menos apta para lo cual se realizó una reclasificación de los valores en cinco clases con el método de clasificación denominado *Natural Breaks (Jenks)*, debido a que presentó una mejor distribución de los datos frente a los otros métodos, obteniendo la estratificación que se observa en la tabla 24.

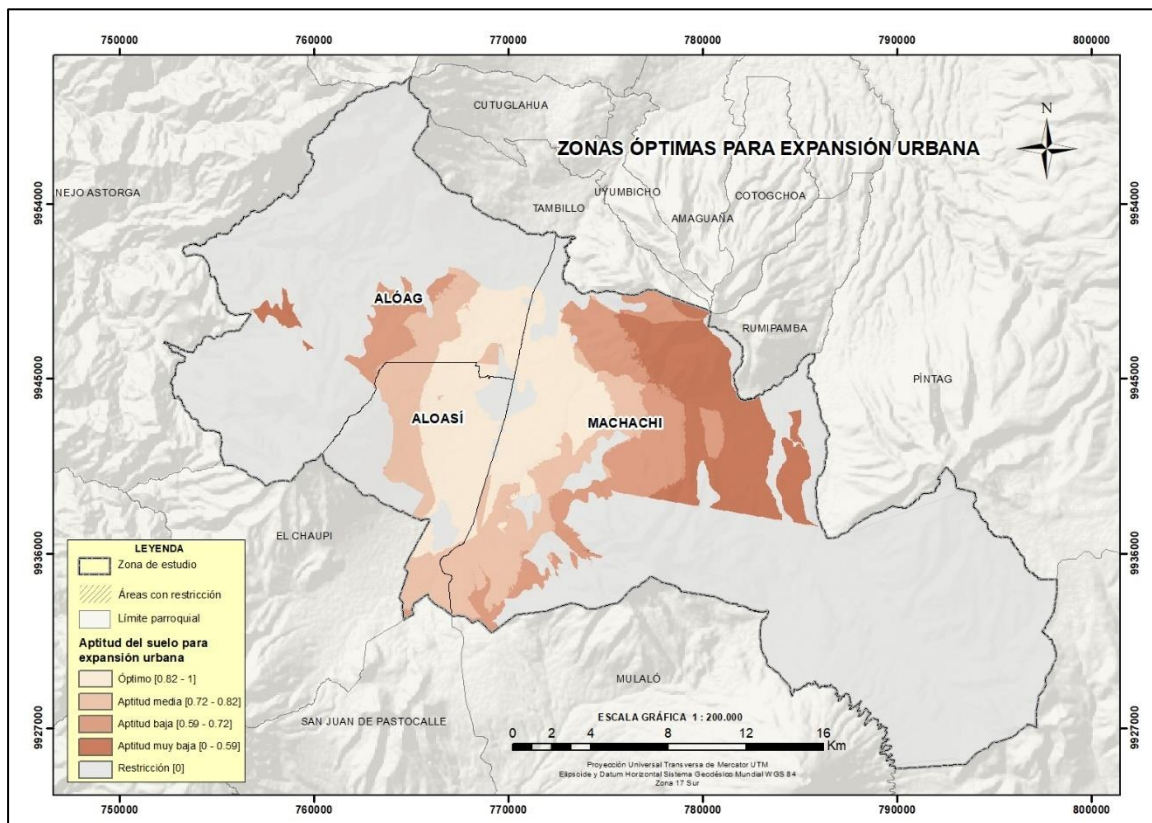
Tabla 24

Reclasificación de los valores

Valores	Descripción
0	Restricción
0 – 0.59	Aptitud muy baja
0.59 – 0.72	Aptitud baja
0.72 – 0.82	Aptitud media
0.82 - 1	Óptimo

Figura 43

Mapa de las zonas óptimas para expansión urbana



En este sentido se observa que las áreas destinadas a ser sitios óptimos para expansión urbana se localizan en la parte central del territorio cerca de las áreas pobladas ya existentes, alrededor del núcleo urbano, además de otras infraestructuras y servicios que garantizaran una calidad de vida digna tanto para la parroquia de Machachi como sus áreas de influencia: parroquia Alóag y Aloasi, se evidencia también que las zonas que representan una aptitud muy baja se encuentran alejadas y cercanas a áreas que están definidas como restricción evitando así que exista conflicto con áreas pertenecientes al SNAP o a los boques protectores conjuntamente e impidiendo que estén en zonas riesgosas.

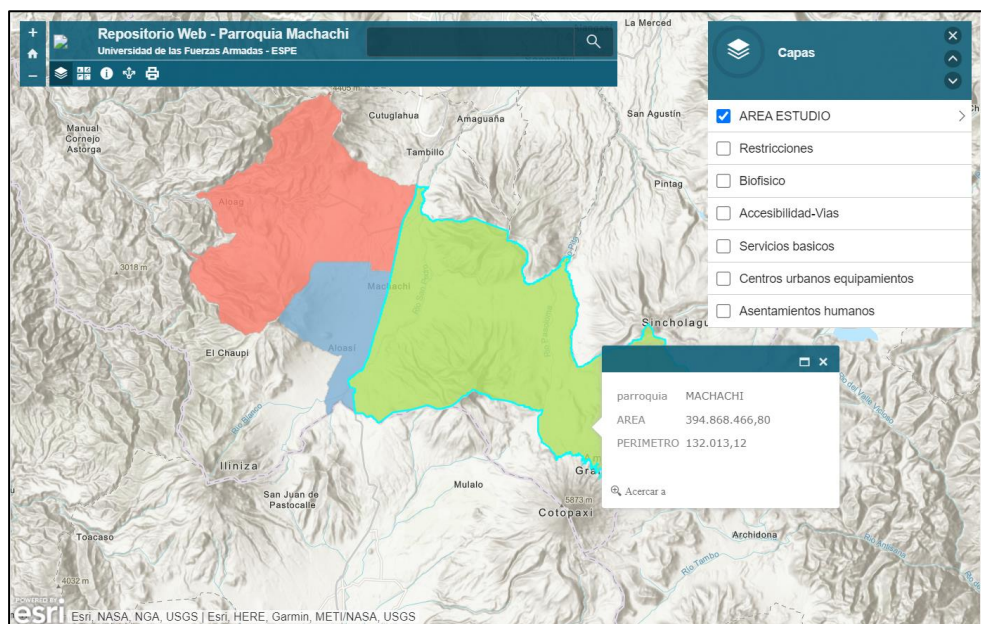
Repositorio web

Una vez que se obtuvo la información que se empleó para la determinación de zonas óptimas para expansión urbana se generó el repositorio web teniendo como insumos las variables que se encuentran contenidas en la geodatabase, además de las restricciones y del producto final de las zonas óptimas para expansión urbana, con la finalidad de que sea publica la información y pueda ser compartida con más usuarios, el acceso se realiza por medio del siguiente link:

<https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=42d58e1eb90848089b145bb63c98d657>

Figura 44

Repositorio Web



Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se generaron coberturas con escala 1:50 000 para los años 2001,2004,2007, 2009, 2015, 2017 y 2020 en la zona de estudio. Con respecto a la dinámica de expansión urbana en la parroquia de Machachi y sus áreas de influencia durante los últimos 19 años (2001-2020) presenta un relativo proceso de crecimiento de su mancha urbana extendiéndose un total de 1519.25 hectáreas en el año 2020 siendo 999.03 hectáreas urbanas más que el año de partida correspondiente al 2001, y en este sentido resulta un incremento de 192.04% referente al área determinada inicialmente y una tasa anual de 5.80%. Esta dinámica se produce sobre todo en sectores que son considerados como rurales y que tienen vocación agrícola, sin embargo, pese a la fuerza que ejerce las Zonas Antrópicas sobre las Tierras Agropecuarias se pudo evidenciar que igual presentan un incremento en menor intensidad ocupando 24763.93 ha que representan el 36.85% del área total para el año 2020; por otro lado la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea fue la que mayor decremento presentó, disminuyendo un total de 3107.25 ha en los últimos 19 años.

Por medio de la definición de procesos y la aplicación de técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) se determinaron los sitios óptimos que serán destinados para la expansión urbana, localizándose principalmente en la parte central del área de estudio y respondiendo a áreas que cumplen con los factores condicionantes para un proceso adecuado de desarrollo urbano; es importante mencionar que la técnica utilizada permite que se considere a unos factores más importantes que otros, esto dependiendo

de la influencia que tenga cada uno para obtener el resultado final; no obstante se debe tomar en cuenta que el proceso de asignar los pesos se convierte en algo subjetivo que afecta directamente en el producto final, por lo cual los juicios de valor y el manejo de información deberá ser objetivo además de tener el conocimiento adecuado en la temática para que los resultados sean acertados.

Se determinó que la aplicación Mapping Gis dentro del ArcGIS Online fue útil para generar el repositorio web con las variables que fueron utilizadas para la determinación de zonas óptimas para expansión urbana, salvo al momento de subir información de tipo ráster debido al peso que este posee, ya que al trabajar con una cuenta gratuita presenta ciertas restricciones que limitan su funcionalidad.

Se logra concluir de igual forma que el ordenamiento territorial tiene como uno de sus objetivos el de orientar el desarrollo y crecimiento de las ciudades de una manera en la que se procure una distribución equilibrada y justa, y en este sentido los insumos que se generaron a través del estudio multitemporal sobre la expansión urbana y también de la determinación de zonas óptimas para futuros asentamientos se convierten en herramientas útiles y dispensables al momento de la planificación de un territorio, debido a que ayudan a conocer la tendencia y dinámica de las áreas urbanas en un tiempo definido, y establecer lugares adecuados para los nuevos asentamientos de una forma adecuada optimizando servicios y recursos existentes.

La metodología que se propuso para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos del presente estudio y la aplicación de técnicas de estudio multitemporal y

evaluación multicriterio, resulta en información importante y valiosa que podría ser considerada para futuras investigaciones además de ser ayuda para la toma de decisiones referente al ordenamiento del territorio dentro del cantón Mejía.

Recomendaciones

Al trabajar con imágenes de resolución media, se recomienda que se empleen otras que presenten una alta resolución de forma que la escala de trabajo mejore y sea más precisa al momento de obtener los productos finales referentes a la cobertura de suelo ya que este fue un limitante para obtener resultados a mayor detalle.

En cuanto a la información geográfica que se obtuvo de las diferentes instituciones públicas y privadas, esta debería ser estandarizada y actualizada de manera que los resultados sean más sujetos a la realidad, además de que se facilite construir una base de datos en un mismo sistema.

Se debería considerar una mayor cantidad de variables dentro del estudio, además de considerar opiniones dentro de la población con respecto a cuáles son las zonas óptimas para expansión de forma que los resultados se apeguen a la realidad del territorio siempre y cuando los datos sean congruentes y consistentes.

Se recomienda que se trabaje con más profesionales en diversas áreas de conocimiento que tengan entendimiento sobre la temática de forma que se reduzca la

subjetividad que los productos finales puedan presentar en cuanto a la ponderación de los factores y variables seleccionadas.

Es de relevancia que el GAD municipal del cantón Mejía sea el medio por el cual se genere una normativa que regule el proceso de expansión urbana de la ciudad y además se acompañe de un monitoreo continuo de las zonas del territorio hacia donde crece la mancha urbana con el fin de que se mantenga un control y un proceso de expansión planificado y ordenado.

Referencias Bibliográficas

Abadía, M. F., Antonio, J., Gómez, D., Picazo, A., & Pérez, C. (2015). *Utilización de recursos Open Data en procesos de documentación cartográfica de bajo coste sobre territorios no estructurados de interés arqueológico mediante imágenes Landsat 8 : Área de Mleiha-Khor Fakkan (E . A . U)* Open Data resources in low-cost car. 269–272.

Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 1–22. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>

Aguirre, A. (2014). *Alternativa metodologica para la formulacion de planes de desarrollo y ordenamiento territorial cantonal. Caso región austral: Azuay, Cañar y Morona Santiago* [Universidad de CUenca].

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5185/1/tesis.pdf>

Alarcón, J. (2020). La ciudad compacta y la ciudad dispersa: Un enfoque desde las perspectivas de convivencia y sostenibilidad. *Revista San Gregorio*, 1–14.

Alvarado, H. (2010). *Análisis del crecimiento urbano y los cambios de uso del suelo, durante el período 1960-2006 y propuesta de unidades territoriales, en los municipios conurbados de la mancomunidad de la metrópoli delos altos, quetzaltenango* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Hector-Alvarado-Obdulio-Quiroa.pdf>

Alvarado, H. O., & Araya, F. (2014). Cambios de uso del suelo y crecimiento urbano. Estudio de caso en los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala. *Revista Tecnología En Marcha*, 27(1), 104.

<https://doi.org/10.18845/tm.v27i1.1701>

- Alvarado Quinde, G. E., & Espinoza Zambrano, I. A. (2018). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llavircay y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*. 1–126.
- Alzate, G., & Sánchez, D. (2018). *Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016* [Universidad Católica de Manizales]. [http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2134/Gustavo Adolfo Alzate Giraldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2134/Gustavo%20Adolfo%20Alzate%20Giraldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arcos, E. (2020). *Identificación de zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de camposantos en los cantones Mejía, Quito y Rumiñahui*. [Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE "]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/21908/1/T-ESPE-043508.pdf>
- Arévalo Durán, J. de J. (2019). *Análisis espacio temporal mediante imágenes de satélite de la cuenca del río Tamulasco, Chalatenango*. 123.
- Betancourt, D. (2015). *Cambios en la Cobertura del Suelo en el Corredor Metropolitano Cali – Jamundí* [Universidad de Salzburg]. https://issuu.com/unigis_latina/docs/merged__9_
- Boada, K. (2014). *Modelo de crecimiento urbano de la ciudad de Machachi para la planificación de servicios básicos con el uso de herramientas SIG* [Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE "]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8727>
- Bosque, J., & García, R. (2000). El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 20, 49–67. <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC0000110049A/31281>

Bowen, C. (2018). *Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la microcuenca del río Tabacay para el periodo 2005-2017* [UNIVERSIDAD DE CUENCA].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31142/1/Trabajo de titulaci3n.pdf>

Bravo, N. F. (2017). Teledetecci3n Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS. In G. A. S.R.L. (Ed.), *Geomática ambiental* (Primera Ed, Vol. 1).

<https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>

Capel, H. (1975). LA DEFINICI3N DE LO URBANO. *Estudios Geográficos*, nº 138-139, 265–301. <https://definicion.de/osmolaridad/>

Carrillo, A., & Choquehuanca, V. (2019). Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de puno mediante imágenes satelitales, entre los años 1980 – 2017 [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. In *Tesis de pregrado*.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12046/Carrillo_Angel_Choquehuanca_Vidal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cerda, J. (2007). *La expansi3n urbana discontinua analizada desde el enfoque de accesibilidad territorial aplicaci3n a santiago de chile* [Universidad Politécnica de Cataluña]. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11616/JORGE CERDA TRONCOSO_TREBALL.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11616/JORGE_CERDA_TRONCOSO_TREBALL.pdf)

Cervantes, E. (2014). *Clasificaci3n de imágenes satelitales mediante el uso de memorias asociativas*. 99.

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetecci3n* (Segunda Ed).

<http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist. Cart. y Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>

Chuvieco, E. (2008). *Teledetecci3n ambiental* (p. 576).

- Coello, F. (2017). Planificación territorial de espacios rurales para la utilización del turismo como herramienta para la conservación de la riqueza natural y patrimonial de estos [Universitat de les Illes Balears]. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*.
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/461836/1/fch1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coello, P. (2019). *Estudio del Ordenamiento Territorial para una adecuada expansión urbana, ciudad de Riobamba, Ecuador* [Universidad de Salzburg].
https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_coello1
- Coronado, L. (2001). *Comprobación de técnicas de procesamiento de imágenes del sensor remoto ETM+ de Landsat 7, en la identificación de Bosques Secundarios en la Región Huetar Norte de Costa Rica*. 99.
- Cruz, J. (2019). *Análisis multicriterio para identificar zonas de expansión urbana en la cuenca baja del río Chancay - Huaral* [Universidad Nacional Federico Villareal].
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3775>
- Da Silva, C., & Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 0(16), 23–40.
- Domínguez, C., & Díaz, W. (2013). Guía Metodológica Para La Localización De Suelos De Expansión Urbana Con Énfasis Ambiental: Estudio De Caso Sylvania Cundinamarca. *Boletín Semillas Ambientales*, 7(2), 23–33.
- Fuentes, L., & Pezoa, M. (2019). Los límites de lo urbano en la macrozona central de Chile. entre lo “confuso” y lo “difuso”. Un ejercicio de definición de su alcance y crecimiento. *Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC, N°8*(Documentos de

- Trabajo del IEUT). https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2020/01/Doc_trabajo_Luis-Fuentes-Mario-pezoa.pdf
- García, E. (2008). *El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua*. [El Colegio de la Frontera Norte]. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2009/10/TESIS-Garcia-Estarron-Erika-Julieta-MAIA.pdf>
- García, W., Marchand, G., Llactayo, W., Salcedo, K., Victoria, E., & Zambrano, A. (2013). *Ortorectificación de Imágenes Satelitales Landsat*. <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-ortorectificacion-imagenes-Landsat.pdf>
- Geoplades. (2009). *Estudio multitemporal del nor-oriente del ecuador*. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal SNI 2014/GEOGRAFICA/Conage/Documentos/Metodologias/Estudio_multitemporal_nororiental_ecuador.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/GEOGRAFICA/Conage/Documentos/Metodologias/Estudio_multitemporal_nororiental_ecuador.pdf)
- Gómez, D. (2003). *La Ordenación Territorial: Carácter, Alcance Y Contenido*. *Universidad Politécnica de Madrid*, 17. <https://core.ac.uk/download/pdf/55526614.pdf>
- Gómez, D., & Gómez, M. (2014). Marco conceptual para la ordenación territorial y reflexiones sobre el proceso ecuatoriano en la materia. *IX Simposio Nacional de Desarrollo Urbano y Planificación Territorial*, 21. <http://sнду.org/web/ix-simposio/ponencias/>
- Grupo Banco Mundial. (2020). *Desarrollo urbano_ Panorama general*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). *Patrones De Respuesta Espectral*. *Universidad*

de Chile, 3. <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hernández & Montaner 2009 SAF.pdf>

Jumbo, B. (2019). *Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el cultivo de caña en el cantón Catamayo provincia de Loja-Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22232/1/BRYAN DAVID JUMBO ALVARADO.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22232/1/BRYAN%20DAVID%20JUMBO%20ALVARADO.pdf)

Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2014). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio* (Issue June).

Lamelas Gracia, M. T. (2014). Aplicación de técnicas de análisis multicriterio a la localización óptima de extracciones de arenas y gravas en el entorno de zaragoza. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 66, 25–48. <https://doi.org/10.21138/bage.1778>

Lara, J., Estrada, G., Zentella, J., & Guevara, A. (2017). Los costos de la expansión Urbana: Aproximación a partir de un modelo de precios hedónicos en la zona metropolitana del valle de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(1), 37–63.

Lazo, J. (2014). *Sistema de información geográfica orientado a un plan de ordenamiento territorial con enfoque al sistema físico-ambiental*.

<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3812>

Lencinas, J., & Siebert, A. (2009). Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 17(1–2), 101–105.

León, P. (2015). *Generación de un modelo predictivo de crecimiento urbano mediante la técnica de autómatas celulares. Aplicación a la zona conformada por las parroquias:*

conocoto, Guangopolo, Alangasí, La Merced y San Rafael [Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE "]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10905>

Lewin, M., Wilmoth, D., Oakley, C., Holden, M., James, P., Neilson, L., McCarthy, S., Snow, M., Sagan, P., & Truter, A. (2011). Gestión del crecimiento urbano. *Metropolis*. [https://www.metropolis.org/sites/default/files/2019-01/Gestion del Crecimiento Urbano ES.pdf](https://www.metropolis.org/sites/default/files/2019-01/Gestion%20del%20Crecimiento%20Urbano%20ES.pdf)

LOOTUGS. (2016). LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE SUELO. Asamblea Nacional de Ecuador. *Suplemento Del Registro Oficial 790, 5-VII-2016, LOOTUGS*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Us-y-Gestion-de-Suelo1.pdf><http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territoria>

Lozano, W. (1971). *Capítulo I Proceso De Urbanización, Modelos De Desarrollo y Clases Sociales* (pp. 13–47).

<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=22045>

Macchiavelli, E. (2017). *Ciudad policéntrica*. <http://atributosurbanos.es/terminos/ciudad-policentrica/>

MAE, & MAGAP. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. *Ministerio Del Ambiente Del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*, 1–49.

Medina, M. (2015). *Universidad Central Del Ecuador Análisis Multitemporal Del Cambio De La Cobertura Vegetal Tesis De Grado Previa a La Obtención Del Título De Ingeniera María Belén Medina López Quito-Ecuador*.

- Mejía, V. (2014). *El Proceso de Urbanización en Cuenca, Ecuador* [UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA]. <https://core.ac.uk/download/pdf/41815171.pdf>
- Mejía, X., & Moncayo, P. (2012). *Evaluación de métodos de clasificación de imágenes satelitales de moderada y alta resolución para la obtención de mapas de uso y cobertura del suelo basados en píxeles y orientados a objetos: Estudio de caso en subescena de la parroquia Shushufindi, prov.* 1–204.
- MIDUVI. (2018). Contexto urbano en el Ecuador. In *Posición Nacional del Ecuador frente a la nueva agenda urbana* (Segunda Ed, p. 14). Imprenta Editorial Ecuador. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Posicion-nacional-del-ecuador-oficial_8M.pdf
- Mondragón Rivera, C. N. (2018). Gestión territorial: el tema pendiente en la planificación territorial en Honduras y Centroamérica. *Ciencias Espaciales*, 10(2), 5–23. <https://doi.org/10.5377/ce.v10i2.5894>
- Montezuma, D. (2009). El Análisis Espacial En La Formulación Y Ejecución De Las Políticas Públicas En Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, XXV(37), 175–191. <https://www.redalyc.org/pdf/721/72111655008.pdf>
- Morales Gil, A., & Delgado Viñas, C. (2016). Pensar las ciudades desde la Geografía. *Libro Homenaje Al Profesor Alfredo Morales Gil*, 491. <https://doi.org/10.14198/librohomenajealfredomorales2016-23>
- Moreno, A. (2017). *Análisis de las transiciones de los cambios de uso y cobertura del suelo mediante técnicas estadísticas y sistemas de información geográfica de los años (2001-2016) en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo.* 1–27. <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021243259/>

Morocho, M. (2013). *Análisis multitemporal del uso del suelo de la Microcuenca del Río Chacapata - Patococha, en base a fotografías aéreas de los años 1989 y 2000 (Maestría en Agroecología y Ambiente)*. 110.

Nantes, E. A. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la Metodología y Aplicaciones. *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 27(46), 54–73.

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/26474>

Nogués, S., & Salas, H. (2010). Modelos de crecimiento urbano: estrategias de planificación y sostenibilidad en Cantabria. *ACE: Architecture, City and Environment*", 4(núm.12), 43–58. <https://doi.org/10.5821/ace.v4i12.2485>

ODS Territorio Ecuador. (2018). Los ODS en Ecuador: Rol del Estado en su implementación. *Boletín Informativo Panorama Sostenible*, Tomo 3, 1–12.

<https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2018/02/boletin-3-ods.pdf>

Ojeda, L., & Tovar, L. (2016). El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano. *CIT2016 – XII Congreso de Ingeniería Del Transporte*, 1–14. <https://doi.org/10.4995/cit2016.2016.4125>

ONU. (2015). Desarrollo Sostenible – United Nations Sustainable Development Sites. In *17 Objetivos para transformar nuestro mundo*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

ONU. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*.

Naciones Unidas. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

- ORSTOM, & IPGH. (1987). El Espacio Urbano en el Ecuador Red Urbana, Región y Crecimiento. In *Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica* (Vol. 3).
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-07/26863.pdf
- Peralvo, M., & Bastidas, L. (2014). *Monitoreo de cambio de cobertura y uso de la tierra a escala de sitios. Protocolo 3* (CONDESAN/COSUDE (ed.); Versión 1).
- Pérez, D. (2012). *Colegio de Postgrados Diego Fernando Pérez Vasco Universidad San Francisco de Quito*. file:///C:/Users/User/Downloads/104897.pdf
- Pérez, J. (2016). *Metodología para la definición de la unidad productiva familiar mínima basada en la ocupación del suelo y en sistemas productivos de la parroquia Palmira*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Pesántez, P. (2015). *IMPLEMENTACIÓN EN GRASS-GIS DE TÉCNICAS DE FUSIÓN DE IMÁGENES DIGITALES Proyecto*. 151, 10–17.
- Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., & Sendra, J. B. (2010). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la comunidad de Madrid aplicando métodos de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. *GeoFocus*, 10, 103–134.
www.geo-focus.org
- Pombo, D. G. (2017). *Expansión urbana acelerada en una ciudad intermedia: causas y consecuencia*. Santa Rosa-La Pampa. *Universidad Nacional de Córdoba*.
<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6469>
- Ponce, B. (2010). *Detección y análisis del cambio de uso del suelo en la zona centro - norte de la provincia de Capitán Prat , XI Región período 1984-2003*. 1–62.
- Principi, N. (2017). Evaluación Multicriterio para la obtención de zonas aptitud para el desarrollo urbano en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires , Argentina) con

- Sistemas de Información Geográfica. *Investigaciones y Ensayos Geográficos*, 14.
https://www.researchgate.net/publication/320975111_Evaluacion_Multicriterio_para_la_obtencion_de_zonas_apetitud_para_el_desarrollo_urbano_en_la_cuenca_del_rio_Lujan_Provincia_de_Buenos_Aires_Argentina_con_Sistemas_de_Informacion_Geografica
- Robayo, I. (2018). *Propuesta de reordenamiento de uso de suelo rural en la parroquia de machachi para la conservación de tierras agrícolas y ganaderas* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15583>
- Rocca, M. J., & Sgroi, A. (2012). Instrumentos normativos de la política de expansión urbana. *Congreso de Medio Ambiente*, 7(8912), 1–27.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26730>
- Romero, J. G. (2016). *Evaluación Multi-Criterio para la Ubicación de una Escombrera usando SIG – Caso de Estudio Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador*. [Universidad de Salzburg]. https://issuu.com/unigis_latina/docs/merged__13_
- Romero, M. (2015). *Evolución urbana y perspectivas al año 2020 en la ciudad de Loja*. c, 49. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4932/1/122675.pdf>
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117–123. <https://doi.org/10.7818/ecos.2013.22-3.16>
- Salamanca, M. (2018). *Análisis multitemporal sobre la pérdida del espejo de agua sobre el humedal laguna la herrera por efectos antrópicos asociados a la minería*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Santacruz, M. (2013). Metodología para la determinación de suelo de expansión urbana como categoría de ordenación territorial [Universidad de Cuenca]. In *Artículo Ecuador*

(Vol. 1, Issue 5). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22996>

Vargas, J. (2002). Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales. In *CEPAL Serie Medio Ambiente y Desarrollo* (Vol. 50).

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5749/1/S2002612_es.pdf
http://www.eclac.org/publicaciones/xml/1/10561/lcl1723e_1.pdf

Vega, L. (2004). *Hacia un diagnóstico territorial bajo enfoque sistémico*.

<http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v12n20/v12n20a04.pdf>

Anexos