



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Propuesta de un sistema de administración territorial según la norma ISO 19152
para un área de expansión urbano-rural: caso parroquia Machachi, provincia de
Pichincha**

Quinga Vela, Yomaira Alexandra y Tibán Díaz, Viviana Fernanda

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

Salazar Martínez, Rodolfo Jaime Fernando, Ph. D. (c)

11 de diciembre del 2020



Urkund Analysis Result

Analysed Document: QUINGA_TIBAN_Tesis_Final.docx (D88640713)
Submitted: 12/10/2020 12:16:00 AM
Submitted By: rjsalazar@espe.edu.ec
Significance: 2 %

RODOLFO
 JAIME
 FERNANDO
 SALAZAR
 MARTINEZ

Firmado digitalmente
 por RODOLFO JAIME
 FERNANDO SALAZAR
 MARTINEZ
 Fecha: 2020.12.09
 21:34:04 -05'00'

Sources included in the report:

https://www.researchgate.net/publication/256259448_MODELOS_PREDICTIVOS_DE_CAMBIO_DE_USO_DEL_SUELO_EN_LA_PENINSULA_DE_BAJA_CALIFORNIA_MEXICO
https://idecor.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2018/10/Ponencia-Mapa-de-Cobertura-del-Suelo-Cordoba_IDERA-2018_final.pdf
<http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>
https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_conUllibarri,
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22466/1/Nicole%20Elizabeth%20L%C3%B3pez%20S%C3%A1nchez.pdf>
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5186/1/AN%C3%81LISIS%20Y%20TENDENCIA%20DE%20LA%20DEFORRESTACI%C3%93N%20DE%20LA%20PROVINCIA%20DE%20ZAMORA%20CHINCHIPE.pdf>

Instances where selected sources appear:

31

Firma:



Firmado digitalmente por
 RODOLFO JAIME
 FERNANDO SALAZAR
 MARTINEZ

Salazar Martinez, Rodolfo Jaime Fernando Ph.D. (c)

DIRECTOR



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, “Propuesta de un sistema de administración territorial según la norma ISO 19152 para un área de expansión urbano-rural: caso parroquia Machachi, provincia de Pichincha” fue realizado por las señoritas Quinga Vela, Yomaira Alexandra y Tibán Díaz, Viviana Fernanda 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, teóricos, 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, 11 de diciembre de 2020

Firma:



Firmado digitalmente por:
RODOLFO JAIME
FERNANDO SALAZAR
MARTINEZ

Salazar Martínez, Rodolfo Jaime Fernando Ph.D. (c)

C. C.: 1725683082



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, **Quinga Vela, Yomaira Alexandra y Tibán Díaz, Viviana Fernanda**, con cédulas de ciudadanía n°1724750565 y n°1720963311, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Propuesta de un sistema de administración territorial según la norma ISO 19152 para un área de expansión urbano-rural: caso parroquia Machachi, provincia de Pichincha** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, 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, 11 de diciembre de 2020

Firma:

Quinga Vela, Yomaira Alexandra

C.C.: 1724750565

Firma:

Tibán Díaz, Viviana Fernanda

C.C.: 1720963311



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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras, Quinga Vela, Yomaira Alexandra y Tibán Díaz, Viviana Fernanda, con cédulas de ciudadanía n°1724750565 y n°1720963311, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Propuesta de un sistema de administración territorial según la norma ISO 19152 para un área de expansión urbano-rural: caso parroquia Machachi, provincia de Pichincha en el Repositorio Institucional**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 11 de diciembre de 2020

Firma:

Quinga Vela, Yomaira Alexandra

C.C.: 1724750565

Firma:

Tibán Díaz, Viviana Fernanda

C.C.: 1720963311

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por ser mi fortaleza en todos los momentos difíciles y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional en cada uno de mis momentos difíciles. Gracias a sus valores y cimientos he logrado convertirme en una profesional. A mis hermanos que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo, muchas veces desempeñando el papel de padre. A mi hermana quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis sobrinos, esperando darles siempre el mejor ejemplo posible. A mi amiga Fernanda, que gracia a su apoyo incondicional siempre encontré una amiga y compañera a la vez. A Viviana que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y hacer de esta experiencia una de las más especiales. Finalmente, a Jorge por compartir conmigo alegrías y fracasos, además de enseñarme a tener fe en mí y no rendirme ante nada.

Yomaira Quinga

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres que han sido mi principal motor y ejemplo de superación. No puedo estar más agradecida con Dios, por haberme dado unos padres trabajadores que han sacrificado todo su tiempo y energía para poder brindarnos siempre lo mejor a mis hermanos y a mí. Gracias a ustedes papitos por haberme dado la vida, y desde ese momento, nunca haberme dejado sola hasta el día de hoy. Este es el comienzo de un largo camino, que, junto a ustedes, espero seguir recorriéndolo.

A mis hermanos, Danny y Kelly por todo el apoyo y amor que me han brindado, son mi motivación para superarme cada día y poder ser de quien estén orgullosos.

A mis tíos Hilda, Jesús y especialmente a ti ñaño Diego (+) que nunca dudaste de mí hasta el último momento que estuviste junto a mí. Gracias por ser mis guías y mis consejeros de vida. A mis abuelitos Mélida y Vicente (+), quienes admiro por su trabajo constante y sacrificado de toda una vida, sin ustedes no seríamos lo que somos ahora, gracias por todo su amor.

A la familia Buitrón-Vinueza por todo su cariño y apoyo desde pequeña, por hacerme sentir parte de su familia siempre y por haberme dado a la personita que más amo y consiento.

A la familia Paéz-Chicaiza en especial Don Manuel (+), quienes me acogieron con amor en su hogar y me han permitido compartir momentos hermosos a su lado.

A mis amigos, en especial Lineth, Christina, Joss, Anthonny, Franklin, Mary y el Cuartel por todos los momentos de risas y malas amanecidas que hemos vivido. A Stalin, por ser la persona más incondicional en mi vida, quién siempre con amor y paciencia ha estado junto a mí en las buenas y malas; y a Yomi por ser la mejor compañera de tesis, de la cual aprendí más de lo que me hubiese imaginado y con la que afiancé una hermosa amistad.

Viviana Tibán

Agradecimiento

A Dios por protegernos durante todo el camino y darnos las fuerzas para superar todos los obstáculos y dificultades, permitiéndonos así culminar esta etapa de la vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, nuestra alma máter, que nos abrió sus puertas para nuestra formación académica y personal.

A todos los docentes, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional. Gracias por todo el apoyo que recibimos en las aulas y fuera de ellas. Gran parte de los conocimientos que hoy tenemos y que nos guiarán en nuestras decisiones como profesionales, lo hemos adquirido gracias a su dedicación y al esfuerzo diario por enseñar, incluso más allá de lo que debía.

Al Ph.D.(c) Rodolfo Salazar, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma. Gracias por la confianza y el apoyo brindado. No existe palabras suficientes para poder agradecer lo que sus enseñanzas y apoyo significan para nosotras.

A Geospace Solution, por su apoyo brindado y su valiosa guía, porque cada una de sus aportaciones hicieron posible este proyecto.

A los Ing. Rafael Castro, Ing. Edison Collaguazo, Ing. Santiago Rojas, Ing. Eduardo Kirby y Dr. Oswaldo Padilla, gracias por sus conocimientos, consejos y recomendaciones que fueron pilares fundamentales para la elaboración del presente proyecto.

A todas las personas que ayudaron directa e indirectamente a la realización de este proyecto.

Yomaira Quinga, Viviana Tibán

Índice de Contenido

Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Resumen	24
Abstract	25
Capítulo I	26
Aspectos Generales	26
Antecedentes.....	26
Planteamiento del Problema	27
Justificación e importancia	29
Objetivos.....	31
<i>Objetivo General</i>	31
<i>Objetivos Específicos</i>	31
Metas.....	32
Hipótesis.....	32
Área de Influencia.....	32
Capítulo II	34

Marco Teórico	34
Satélites y sensores.....	34
<i>Resoluciones del sensor remoto</i>	34
<i>Satélites</i>	34
Tratamiento digital de imágenes satelitales.....	35
<i>Corrección Radiométrica</i>	35
<i>Corrección Atmosférica</i>	35
<i>Corrección Geométrica</i>	36
Cobertura del Suelo	36
<i>Sistema de Clasificación y Leyenda Temática de la cobertura del suelo</i>	37
Interpretación digital de las imágenes	38
Evaluación de la exactitud temática de la clasificación de imágenes.	38
<i>Método de Muestreo</i>	38
<i>Tamaño de la muestra</i>	39
<i>Matriz de Confusión</i>	40
<i>Índice Kappa</i>	40
Reporte de Trayectorias de cambio de las coberturas	41
<i>Tasa de Cambio Anual</i>	42
Simulación del crecimiento urbano	42
<i>Autómatas Celulares (AC)</i>	43
<i>Modelos de simulación</i>	44
<i>Análisis de cambios y fuerza explicativa de las variables</i>	45
<i>Software Dinámica EGO</i>	45
<i>Calibración</i>	46

<i>Cálculo de matrices de transición</i>	46
<i>Cálculo de rangos para categorizar variables y cálculo de pesos de evidencia</i>	47
<i>Correlación de variables explicativas</i>	48
<i>Simulación</i>	48
<i>Validación</i>	49
Crecimiento Urbano.....	49
<i>Crecimiento Urbano y poblacional de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.</i>	50
Administración de tierras.....	51
<i>Sistemas de Administración de tierras (SAT)</i>	52
<i>Social Tenure Domain Model (STDM)</i>	56
<i>Catastro</i>	57
Clasificación del Suelo.....	58
<i>Suelo Urbano</i>	59
<i>Suelo Rural</i>	59
Expansión Urbana	59
Normativa Legal Vigente.....	60
<i>Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible</i>	60
<i>Constitución de la República</i>	60
<i>Código Orgánico de Organización, Territorial, Autonomía y Descentralización</i> <i>(COOTAD)</i>	61
<i>Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)</i> ..	61
<i>Ley Orgánica de Tierra Rurales y Territorios Ancestrales</i>	61
Capítulo III	62

Metodología	62
Recopilación de Información	63
Escala de Trabajo	64
Unidad Mínima de Mapeo	65
Procesamiento de Imágenes	66
<i>Corrección Radiométrica</i>	66
<i>Corrección Atmosférica</i>	67
<i>Re escalado de valores de reflectancia</i>	70
<i>Restauración de sectores perdidos por bandeamiento</i>	71
<i>Corrección Geométrica</i>	72
<i>Calidad del Registro en imágenes Landsat</i>	72
<i>Calidad del Registro en imágenes Sentinel</i>	75
Cobertura del Suelo y Leyenda Temática	77
<i>Clasificación de Imágenes</i>	78
<i>Selección de áreas de Entrenamiento</i>	78
<i>Separabilidad Espectral</i>	80
<i>Clasificación Supervisada (Maximum Likelihood)</i>	81
Evaluación de la Confiabilidad Temática de Mapas o de Imágenes Clasificadas	82
<i>Tipo de Muestreo</i>	83
<i>Diseño de Muestreo</i>	83
<i>Edición Final de Mapas de Cobertura del Suelo</i>	85
Simulación del crecimiento urbano	86
<i>Selección de variables</i>	86
<i>Descripción de las variables</i>	88

<i>Variables asentamientos humanos, movilidad y socioculturales</i>	88
<i>Variables Biofísicas</i>	88
<i>Clasificación de variables</i>	90
<i>Tratamiento de las variables explicativas</i>	91
Generación del modelo predictivo de crecimiento urbano	96
<i>Generación del cubo ráster</i>	98
<i>Fase de calibración</i>	100
<i>Cálculo de matrices de transición</i>	100
<i>Cálculo de rangos para categorizar variables y cálculo de pesos de evidencia</i> . 100	
<i>Cálculo de correlación de variables.</i>	103
<i>Fase de simulación y validación.</i>	104
<i>Construcción y ejecución el modelo de simulación Land Cover Change (LUCC)</i>	104
<i>Validación de la simulación mediante ventanas múltiples y una función de decaimiento constante.</i>	106
<i>Fase para la generación de escenarios futuros</i>	106
<i>Proyección de trayectorias de crecimiento urbano</i>	106
Determinación de áreas de expansión urbana para la implantación del LADM	108
Análisis de variables para la implantación en el modelo LADM.....	110
<i>Análisis del Catastro del GAD Municipal de Mejía</i>	110
<i>Análisis de la Clasificación del Suelo</i>	111
<i>Análisis de la Variable Riesgos</i>	112
Implantación del Sistema de Administración de Tierras	112
<i>Paquete de Interesados(Party)</i>	113
<i>LA_Party</i>	113

<i>LA_GroupParty</i>	113
<i>Paquete Administrativo (Administrative)</i>	113
<i>LA_RRR</i>	113
<i>BAUnit</i>	116
<i>Paquete de Unidades Espaciales (Spatial Unit)</i>	116
<i>LA_SpacialUnit</i>	116
<i>LA_SpacialUnitGroup</i>	116
<i>LA_LegalSpaceBuildingUnit</i>	117
<i>LA_LegalSpaceUnilityNetwork</i>	117
Integración del sistema de tenencia <i>STDM</i>	119
<i>Incorporación de datos al sistema STDM</i>	121
<i>Configuración de la Base de Datos</i>	123
<i>Creación del documento</i>	128
Generación de Geodatabase.....	130
Capitulo IV	132
Resultados	132
Análisis de las coberturas de suelo.....	132
<i>Mapa de Cobertura del suelo del año 1991</i>	132
<i>Mapa de Cobertura del suelo del año 1996</i>	132
<i>Mapa de Cobertura del suelo del año 2001</i>	133
<i>Mapa de Cobertura del suelo del año 2004</i>	134
<i>Mapa de cobertura de suelo del año 2007</i>	135
<i>Mapa de cobertura de suelo del año 2009</i>	136
<i>Mapa de cobertura de suelo del año 2015</i>	137

<i>Mapa de cobertura de suelo del año 2020</i>	138
Análisis de Cambios de Coberturas del Suelo	139
<i>Cambios de la cobertura del suelo en el período 1991-2020</i>	139
<i>Cambios de la cobertura del suelo en el período 1991-2001</i>	143
<i>Cambios de la cobertura del suelo en el período 2001-2009</i>	147
<i>Cambios de la cobertura del suelo en el período 2009-2020</i>	151
Crecimientos de las Zonas Antrópicas en el período 1991-2020.....	154
Autómatas Celulares.....	156
<i>Matriz de transición</i>	156
<i>Rango y Coeficientes de pesos de evidencia</i>	158
<i>Análisis de variables continuas</i>	158
<i>Análisis de variables categóricas</i>	162
<i>Correlación de pesos de evidencia</i>	163
<i>Validación de modelos y comparación del crecimiento urbano</i>	164
<i>Simulación del crecimiento urbano al año 2030</i>	166
Expansión Urbana en las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.....	168
<i>Barrios urbanos y sectores rurales afectados por la expansión urbana al año 2030</i>	169
Land Administration Domain Model (LADM)	173
<i>Restricción de Vías</i>	173
<i>Restricción por afectación de ríos o quebradas</i>	175
<i>Riesgos Naturales relacionados con los predios</i>	176
<i>Capacidad de Uso Agrícola y Forestal</i>	177
Visualización del STDM	178

<i>Búsqueda de información en el sistema</i>	178
Capítulo V	180
Conclusiones Y Recomendaciones	180
Conclusiones	180
Recomendaciones	182
Referencias Bibliográficas	184
Anexos	199

Índice de Tablas

Tabla 1	Definición de las resoluciones de plataformas espaciales.	34
Tabla 2	Definiciones de la leyenda de cambio de cobertura y uso de la tierra.....	37
Tabla 3	Matriz de cambio de cobertura del suelo.	41
Tabla 4	Tabulación cruzada para reporte de cambio de cobertura del suelo.....	41
Tabla 5	Funciones Principales de la Administración de tierras.	52
Tabla 6	Paquetes y clases del LADM ISO 19152:2012.	55
Tabla 7	Imágenes utilizadas para el procesamiento y análisis.	63
Tabla 8	Resolución espacial de imágenes satelitales y escalas idóneas.....	64
Tabla 9	Parámetros de calibración radiométrica LANDSAT.	66
Tabla 10	Tipos de sensores para el módulo QUAC en Sentinel 2.	68
Tabla 11	Leyendas de cobertura del suelo Nivel I y Nivel II.	78
Tabla 12	Combinaciones empleadas para la identificación de ROI.	79
Tabla 13	Matriz de separabilidad de regiones de interés para la imagen Landsat 2020.	81
Tabla 14	Determinación del tamaño de la muestra para los años 2015 y 2020.....	83
Tabla 15	Matriz de Confusión para el Mapa de Cobertura 2015.....	84
Tabla 16	Matriz de Confusión para el Mapa de Cobertura 2020.....	85
Tabla 17	Variables empleadas en el análisis del crecimiento del suelo urbano en función del PDOT.	87
Tabla 18	Descripción de variables utilizadas en la simulación.....	91
Tabla 19	Estandarización de clases para cada variable categórica.....	95
Tabla 20	Períodos de análisis para la simulación de la cobertura de suelo del año 2030.	96
Tabla 21	Reclasificación de las coberturas de suelo.	98
Tabla 22	Parámetros de functor Determine Weights of Evidence Ranges.	101

Tabla 23 Valor de incremento para las variables del modelo.	101
Tabla 24 Información contenida en cada base de datos del catastro urbano y rural...	111
Tabla 25 Codificación Catastral del área urbana del GAD-Mejía.....	117
Tabla 26 Codificación Catastral del área rural del GAD-Mejía.....	117
Tabla 27 Descripción de los paquetes del LADM con sus clases.	117
Tabla 28 Descripción de los términos usados en el sistema de administración territorial.	120
Tabla 29 Análisis de Coberturas para cada año.	140
Tabla 31 Tasa de Cambio de las coberturas entre los años 1991-2001.	144
Tabla 32 Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 1991-2001.....	144
Tabla 33 Tasa de Cambio de las coberturas entre los años 2001-2009.	148
Tabla 34 Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 2001-2009.....	149
Tabla 35 Tasa de Cambio de la cobertura vegetal entre los años 2009-2020.	152
Tabla 36 Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 2009-2020.....	152
Tabla 37 Porcentaje de las Zonas Antrópicas para cada año de análisis.	155
Tabla 38 Valores de la matriz de transición de las diferentes épocas.....	157
Tabla 39 Correlación de Pesos de evidencia	163
Tabla 40 Valores obtenidos en la validación de ventanas múltiples para los 7 períodos.	164
Tabla 41 Restricción Vial en los predios de expansión urbana.....	174
Tabla 42 Restricción por afectación de ríos o quebradas en los predios de expansión urbana.....	175

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de las áreas de influencia: Cantón Mejía.....	33
Figura 2 Autómata Celular aplicado en incendios forestales.....	43
Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de simulación.....	44
Figura 4 Etapas de Ejecución del software Dinámica EGO.....	46
Figura 5 Crecimiento de la población período 1990 al 2020 proyectado.....	50
Figura 6 Perspectiva Global de la administración de la tierra.....	51
Figura 7 Perspectiva global de la administración de la tierra promoviendo el desarrollo sostenible.....	53
Figura 8 Integración del catastro en la Administración territorial.....	53
Figura 9 Paquetes del LADM ISO1952:2012.....	54
Figura 10 Lenguaje UML identificando las diferentes clases de cada paquete LADM ISO 19152.....	55
Figura 11 Modelo Conceptual del STD (Social Tenure Domain Model).....	56
Figura 12 Ubicación de los predios con su código único.....	58
Figura 13 Diagrama de flujo para la generación del sistema de administración territorial.....	62
Figura 14 Comparación con valores de radiancia.....	67
Figura 15 Firma Espectral de la cobertura Bosque.....	69
Figura 16 Firma Espectral de la cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea.....	69
Figura 17 Firma Espectral de la cobertura Zona Antrópica.....	70
Figura 18 Valores reescalados visualizados en la firma espectral de la clase Otras Tierras.....	71
Figura 19 Corrección del bandeamiento de la imagen Landsat 7.....	72

Figura 20 Imagen Landsat 2001-11-03 con la distribución de 12 puntos de evaluación.	73
Figura 21 Verificación de los puntos de evaluación entre las imágenes satelitales.	74
Figura 22 Evaluación de los puntos seleccionados entre imágenes Landsat vs. Sentinel.	75
Figura 23 Ubicación de puntos de control en zonas identificables de la imagen Landsat y Sentinel.	76
Figura 24 Evaluación de la corrección del desplazamiento mediante correregistro.	77
Figura 25 Muestra de selección de ROI en función de las combinaciones.	80
Figura 26 Resultados obtenidos de la clasificación y el filtro que se aplicó.	82
Figura 27 Información base tomada como fuente de validación.	84
Figura 28 Mapa de cobertura de suelo del año 1991.	85
Figura 29 Diagrama de flujo del proceso empleado en las variables.	92
Figura 30 Diagrama de flujo para la obtención de las variables normalizadas.	93
Figura 31 Conjunto de variables continuas utilizadas en la simulación.	94
Figura 32 Conjunto de variables categóricas utilizadas en la simulación.	95
Figura 33 Diagrama de Flujo de la metodología aplicada en Dinámica EGO.	97
Figura 34 Reclasificación de las coberturas de suelo.	98
Figura 35 Modelo del Cubo Raster, con todas las variables.	99
Figura 36 Modelo Determine Transition Matrix.	100
Figura 37 Modelo de cálculo de rangos.	102
Figura 38 Elementos de salida del modelo Determine weight of evidence ranges and coefficients.	102
Figura 39 Modelo del Functor Weights of evidence correlation.	103
Figura 40 Modelo para la simulación del crecimiento urbano.	104

Figura 41 Mapa simulado del crecimiento urbano para el año 2020 y mapa de probabilidad de cambio- Período(VII).	105
Figura 42 Modelo para la validación de la simulación.	106
Figura 43 Modelo de la simulación calibrado y validado para el año 2030.	107
Figura 44 Proyección de crecimiento urbano al año 2030.	107
Figura 45 Zonas urbanas para el año 2030 respecto al catastro oficial del año 2020.	108
Figura 46 Posibles zonas consideradas para la expansión urbana.	109
Figura 47 Zonas de expansión urbana a integrarse en el nuevo sistema de administración territorial.	110
Figura 48 Esquema del modelo LADM con las clases utilizadas en el estudio.	112
Figura 49 Restricción Vial en la parroquia Machachi.	114
Figura 50 Restricción por afectación de ríos y quebradas.	115
Figura 51 Modelo del sistema catastral actual vs modelo basado en la norma LADM ISO 19152.	119
Figura 52 Entidades utilizadas en el sistema de administración territorial.	121
Figura 53 Diagrama de flujo de la obtención de información de las entidades.	122
Figura 54 Ingreso al software Social Tenue Domain Model.	123
Figura 55 Creación de las entidades en la herramienta Configuration Wizard.	124
Figura 56 Creación de las columnas para cada entidad.	125
Figura 57 Lookup creados para el sistema.	125
Figura 58 Esquema de las entidades y su relación en el software STDM.	126
Figura 59 Incorporación de los datos en el software a través de la herramienta Import to STDM.	127
Figura 60 Generación de relaciones entre entidades.	128
Figura 61 Visualización de las relaciones generadas en el STDM.	128

Figura 62 Diseño del informe predial de tenencia de tierra.	129
Figura 63 Geodatabases.	131
Figura 64 Mapa de Cobertura del suelo para el año 1991.	132
Figura 65 Mapa de Cobertura del suelo para el año 1996.	133
Figura 66 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2001.	134
Figura 67 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2004.	135
Figura 68 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2007.	136
Figura 69 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2009.	137
Figura 70 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2015.	138
Figura 71 Mapa de Cobertura del suelo para el año 2020.	139
Figura 72 Variaciones de la cobertura de suelo en ha para los ocho períodos de análisis.	140
Figura 74 Mapa de cambio de coberturas entre los años 1991-2020.....	143
Figura 75 Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 1991-2001.....	146
Figura 76 Mapa de cambio de coberturas entre los años 1991-2001.....	147
Figura 77 Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 2001-2009.....	150
Figura 78 Mapa de cambios de coberturas para el período 2001-2009.	150
Figura 79 Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 2009-2020.....	154
Figura 80 Mapa de cambios de coberturas para el período 2009-2020.	154
Figura 81 Crecimiento de las Zonas Antrópicas en cada año de análisis.....	155
Figura 82 Análisis de la transición simple y múltiple.	157
Figura 83 Rangos y pesos de evidencia obtenidos para cada variable continua.....	158
Figura 84 Rangos y pesos de evidencia obtenidos para cada variable categórica.....	162
Figura 85 Mapas reales vs simulados, de los diferentes períodos de estudio.....	165
Figura 86 Porcentaje de similitud en función de la distancia.	166
Figura 87 Mapa simulado 2030 obtenido del período 2015-2020.....	167

Figura 88 Crecimiento urbano de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi en el año 2030.	167
Figura 89 Expansión Urbana de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.	168
Figura 90 Vista parcial de barrios urbanos afectados por el crecimiento urbano 2030.	170
Figura 91 Vista parcial de barrios urbanos afectados por el crecimiento urbano 2030.	171
Figura 92 Vista parcial de Sectores rurales afectados por la expansión urbana.	172
Figura 93 Porcentaje de afectación a sectores rurales.	173
Figura 94 Predios con relación a las restricciones viales.	174
Figura 95 Predios con relación a las restricciones por afectación de ríos o quebradas.	176
Figura 96 Búsqueda de información por Persona.	178
Figura 97 Búsqueda de información por Suelo.	178
Figura 98 Búsqueda de información por Riesgo.	179
Figura 99 Búsqueda de información por Predio.	179

Resumen

La parroquia de Machachi y su descontrolado crecimiento urbano se ha visto influenciada por diferentes factores biofísicos y socioambientales, presentando una influencia directa sobre las parroquias aledañas Alóag y Aloasí. Una alternativa de solución, es la aplicación del Social Tenure Domain Model (STDM) basado en la norma ISO 19152 para la generación de un sistema de administración territorial enfocado a las zonas de expansión urbana, que cuente con un registro de derechos, restricciones y responsabilidades a nivel predial. Para esto se realizó un análisis multitemporal de la dinámica de la tierra en ocho diferentes períodos entre los años 1990 y 2020, obteniéndose un crecimiento anual del 21.94% en zonas antrópicas; estos mapas permitieron un modelamiento del crecimiento urbano al año 2030 con una extensión de 2 150.52 ha a razón de 68 ha/año a través del software Dinámica EGO, para determinar las posibles superficies del territorio afectadas por la expansión de las zonas antrópicas. De esta manera, se obtuvo zonas potenciales de urbanización considerando una mínima afectación al suelo y su entorno. Finalmente, se integró en el modelo STDM toda la información obtenida y recolectada, incluyendo las relaciones entre predio, persona, riesgo y suelo dando como resultado un total de 591 predios rurales que se verán afectados por la expansión urbana, de los cuales 97 corresponden a la parroquia Alóag, 323 parroquia Aloasí y 171 predios a Machachi.

PALABRAS CLAVE:

- **EXPANSIÓN URBANA**
- **ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL**
- **ANÁLISIS MULTITEMPORAL**
- **SIMULACIÓN**
- **NORMA ISO 19152**

Abstract

The parish of Machachi and its uncontrolled urban growth has been influenced by different biophysical and socio-environmental factors, presenting a direct influence on the surrounding parishes of Alóag and Aloasí. An alternative solution is the application of the Social Tenure Domain Model (STDM) based on the ISO 19152 standard for the generation of a territorial administration system focused on the areas of urban expansion, which has a record of rights, restrictions and responsibilities at the property level. For this purpose, a multi-temporal analysis of land dynamics in eight different periods from 1990 to 2020 was carried out, obtaining an annual growth of 21.94% in anthropic zones; these maps allowed for the modeling of urban growth by 2030 with an extension of 2,150.52 hectares at a rate of 68 hectares/year through the EGO Dynamic software, in order to determine the possible surfaces of the territory affected by the expansion of anthropic zones. In this way, potential areas of urbanization were obtained considering a minimum affectation to the land and its environment. Finally, all the information obtained and collected was integrated into the STDM model, including the relationships among land, people, risk and soil, resulting in a total of 591 rural properties that will be affected by urban expansion, of which 97 correspond to the Alóag parish, 323 to the Aloasí parish and 171 to Machachi.

KEYWORDS:

- **URBAN EXPANSION**
- **TERRITORIAL ADMINISTRATION**
- **MULTITEMPORAL ANALYSIS**
- **SIMULATION**
- **ISO 19152 STANDARD**

Capítulo I

Aspectos Generales

Antecedentes

El inadecuado uso del suelo, resultado de la acción antropogénica con el medio natural, constituye uno de los aspectos que más afecta al cambio climático a nivel global, regional y local, alterando los ciclos propios de los ecosistemas (suelo, agua, nutrientes, energía); además, es una de las razones más importantes de pérdida de biodiversidad y razón por la que la sociedad no es resiliente frente a las alteraciones en el entorno según Lambin et al.(1999).

La cobertura vegetal en el Ecuador, y en la parroquia urbana de Machachi en particular, se ha visto influenciada de manera directa por el uso de recursos naturales donde el sector agropecuario e Industrial se destacan como dos de los principales recursos en la economía de la cabecera cantonal del cantón Mejía, provocando con ello un avance descontrolado tanto de la frontera agrícola como un crecimiento acelerado de las áreas urbanas sobre áreas rurales, siendo esta última la que alberga un conjunto de intereses tanto sociales, económicos como de preservación (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014).

Para los estudios de uso del suelo se ha efectuado, en muchos de los casos, un análisis, clasificación y predicción de los diferentes usos asociados a una zona determinada, mediante el uso de distintos métodos de análisis espacial. Varios son los proyectos como “Estudio Multitemporal y Análisis Prospectivo del Cambio de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en la Microcuenca del río Cristal mediante el Uso de Autómatas Celulares” de Valero (2015) y “Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial: Caso Cantón Cuenca” de Pinos (2015), donde se hace mención el interés por simular escenarios del crecimiento urbano y variaciones en el uso de suelo, considerando su influencia directa en la fragmentación de hábitats y la

aparición de infraestructuras y diferentes actividades que están próximas a zonas con un alto valor ambiental, afectando directamente a la sobre explotación de los recursos naturales.

En ese sentido Williamson et al. (2014) define a los Sistemas de Administración de Tierras (LADM) como herramientas para la gestión eficaz del uso del suelo. Este concepto ya se ha demostrado en América Latina. Estudios como “Modelling Brazilian Indigenous Tribes Land Rights with ISO 19152 LADM” realizado por Paixao et al. (2013) establecen que el ordenamiento territorial ayuda a disminuir la vulnerabilidad que el cambio del uso y ocupación del suelo genera sobre los asentamientos humanos, reduciendo el caos generalizado de ocupación, invasiones, talas no autorizadas y ventas ilegales de tierras , a partir de un catastro actualizado y una titulación de tierras confiable basados en el aspecto ambiental (MAGBMA & FAO, 2018).

Planteamiento del Problema

El cantón Mejía, territorio notablemente ganadero y agrícola, presentó una población total de 81.335 habitantes para el año 2010, de los cuales el 20.3% corresponde al área urbana y el 79.7 % al área rural, así detallado por el INEC que considera a la parroquia Machachi, cabecera cantonal de Mejía, como urbana. Sin embargo, si se toma en cuenta un criterio integral y espacial del territorio, es evidente que los datos proporcionados están alejados totalmente de la realidad. Considerando el crecimiento de la población en cada una de las parroquias como lo hizo el municipio, el resultado es un equilibrio entre la población urbana con un 48% y rural 52% (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014).

El 79.7% de habitantes sobre el área rural, de acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Mejía elaborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón (2014) representa la mayor cantidad de la población dedicada al sector agropecuario, principal actividad económica tanto local como

regional, sin dejar de lado que en los últimos años las actividades artesanales, turísticas, comerciales e industriales se han desarrollado significativamente en el cantón; en especial éstas últimas ubicada en zonas en las que no se ha definido su uso o ha sido definido sin el suficiente sustento técnico.

Este hecho ha conllevado a la modificación del medio físico afectándolo mediante la reducción de suelos destinados para ganadería y agricultura, el crecimiento descontrolado de la frontera agrícola y la destrucción de los bosques y páramos por desplazamiento de los campos.

Además, el descontrolado crecimiento urbano ha generado el desarrollo acelerado de conflictos socioambientales y comportamientos inadecuados de la población, respecto a la distribución inadecuada de los sectores agrícolas, industriales, comerciales y de protección, induciendo a una deficiente gestión territorial urbana en todas sus fases.

Por otro lado, de la información levantada en campo, se determinó que entre sus mayores falencias se encuentra la participación ciudadana, pues los derechos y obligaciones de la población del cantón no fueron lo suficientemente desarrollados ni difundidos, como consecuencia de la falta de control y planificación tanto urbana como rural del territorio, presentándose con ello algunos vacíos en especial en temas del uso del suelo y zonificación (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014).

Por lo tanto, la falta de un modelo para la Administración de Territorio que considere el dinamismo del uso de la tierra tomando como actor principal del territorio a la población con relación a sus derechos, obligaciones y restricciones como vínculo con los predios, se hace necesaria pues con ello se garantiza un plan de crecimiento urbano y rural, definido en sus límites, sin causar impactos ambientales, favoreciendo con ello a la participación de las comunidades locales en la construcción e

implementación de la administración participativa del territorio urbano-rural y los planes de desarrollo con enfoque en el mejor aprovechamiento de los recursos naturales existentes en la zona.

Justificación e importancia

En la Constitución de la República se establece que el Estado y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), en el nivel cantonal deben establecer estrategias para la Planificación del Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial, como lo dicta en el Art.264: “Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural” y en el Art. 375: “Generará la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios, espacio y transporte públicos, equipamiento y gestión del suelo urbano...”.

A esto se suma el Art. 280 en donde, se establece que “El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados...” convirtiéndose en el principal instrumento para el Sistema Nacional Descentralizado de Planificación Participativa, que respalda el régimen de desarrollo a través de la implementación de políticas públicas respaldadas por el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas en su Art. 17 (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda Una Vida, 2017).

Además, como parte del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 se encuentra la Estrategia Territorial Nacional (ETN) que es un instrumento complementario para el cumplimiento de los 12 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), procurando potenciar las capacidades de los territorios, articulando 9 intervenciones a los objetivos nacionales

y define lineamientos concretos para la acción pública desconcentrada y descentralizada (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda Una Vida, 2017). La ETN tiene como base 4 ejes prioritarios: asentamientos humanos, sustentabilidad ambiental, transformación de matriz productiva y cierre de brechas, que permiten establecer criterios de administración del territorio (El Telégrafo, 2013).

En discordancia con lo descrito, el catastro a nivel nacional es visto por los municipios únicamente como una herramienta de control y de inventario de bienes inmuebles para el desarrollo urbano y rural, con un fin primordialmente tributario, sin embargo, en la actualidad, se puede incorporar una nueva aplicación con el enfoque abierto, flexible y adaptable en los procesos técnicos y operativos, que se encuentra establecido en la norma ISO 19152: 2012.

Adicionalmente, es necesario considerar las directrices establecidas en el Objetivo 2 de los ODS 2030 “Hambre Cero”, que entre sus propósitos busca asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos contribuyendo al mantenimiento de los ecosistemas, el fortalecimiento de la capacidad de adaptación al cambio climático y la mejora progresiva de la calidad del suelo y la tierra; y en el Objetivo 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” que plantea una serie de metas vinculadas directamente con la transformación radical con respecto a la planificación del desarrollo nacional y gestión urbana de manera integrada, participativa e inclusiva favoreciendo a vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales (Programa de las Naciones Unidas, 2015).

Es por ello que, ante la necesidad de la generación de un registro del territorio actualizado, moderno, completo, confiable, integrado con los sistemas de planificación e información del territorio, que pueda ser articulado con el sistema de registro de la propiedad inmueble, y en concordancia con estándares internacionales; en el presente estudio se busca consolidar un sistema de administración territorial con instrumentos

que protejan efectivamente los derechos de propiedad, reflejen la tenencia legítima de quien ocupa y aprovecha la tierra, y permitan en un futuro mejorar los procesos de planificación e implementación de políticas relacionadas con la gestión del suelo, la protección de los sistemas, entre otros componentes ambientales. De esta manera ofrecer a los municipios un nuevo enfoque en la administración territorial y manejo de datos catastrales.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo de sistema de administración territorial bajo los principios establecidos por la Norma ISO 19152 LADM (Land Administration Domain Model) para un área de expansión urbana de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi, a fin de incluir variables biofísicas y socioeconómicas dentro de los procesos de reglamentación y legalización de las tierras.

Objetivos Específicos

- Recolectar, analizar y estandarizar la información bibliográfica, cartográfica, catastral e imágenes satelitales del área de estudio, mediante el uso de plataformas digitales y pedido a instituciones públicas para la consolidación de una geodatabase.
- Generar mapas de cobertura de suelo en las parroquias de Alóag, Aloasí y Machachi, utilizando imágenes satelitales de media resolución a fin de obtener las tasas de cambio del área de estudio en el período 1991-2020.
- Realizar la simulación de crecimiento urbano para el área de estudio aplicando autómatas celulares proyectado para el año 2030.
- Implantar un Sistema de Administración Territorial a través de la integración de información municipal local en un modelo STDM como una aplicación particular de la ISO 19152 LADM para lograr una inclusión de reglamentación y legalización de

las tierras en función de las responsabilidades, restricciones y derechos del sujeto bajo el criterio del cambio del uso de suelo.

Metas

- 1 Geodatabase con la información geoespacial recopilada para su respectivo análisis y elaborada durante el proyecto en las parroquias de Alóag, Aloasí y Machachi.
- Al menos 3 mapas de cobertura de suelo de diferentes años y un análisis cuantitativo de la cantidad de cambios de las coberturas de suelo para las parroquias de Alóag, Aloasí y Machachi.
- 1 Mapa de simulación de crecimiento urbano para el año 2030.
- 1 Manual metodológico para desarrollar un sistema de administración territorial local en base al uso de suelo a través del software STDM (Social Tenure Domain Model).
- 1 Base de Datos Geográfica en un Geonodo de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, siempre y cuando esté disponible.

Hipótesis

El modelo LADM (Land Administration Domain Model) ofrece registrar, junto con los datos catastrales, los criterios de la clasificación del suelo para zonas de expansión urbano-rural de las parroquias de Alóag, Aloasí y Machachi, provincia Pichincha.

Área de Influencia

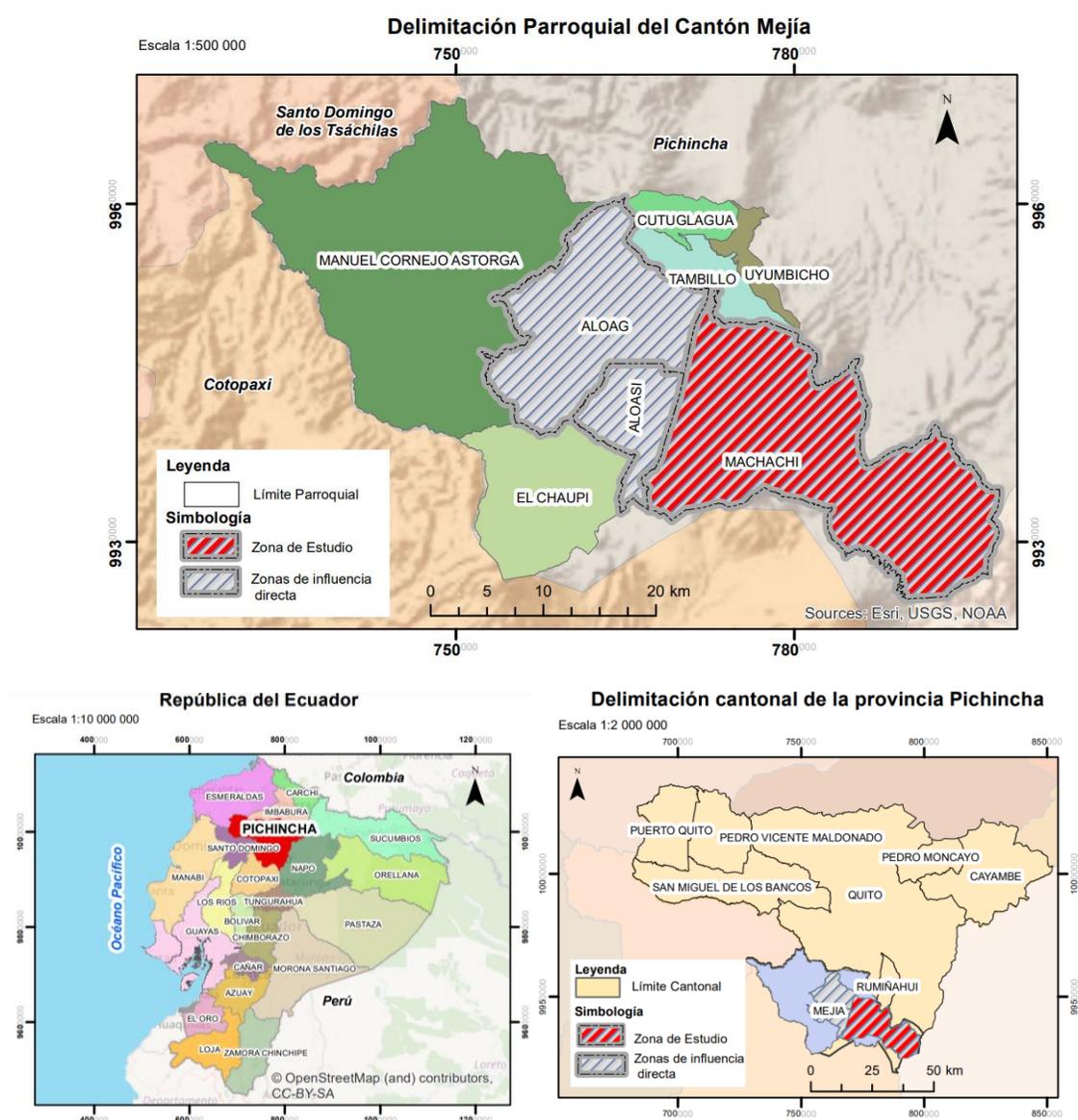
El área de influencia principal comprende la parroquia urbana de Machachi, cabecera cantonal del cantón Mejía, región centro-norte de la sierra del Ecuador ubicada al sur de la Provincia de Pichincha (Figura 1). A una altitud media de 3.163 msnm, con una superficie de 467.99 km^2 ocupa una de las áreas más pobladas a nivel

cantonal y provincial con una población proyectada al 2020 de 34.675 habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014).

Para la aplicación de la metodología, el área de estudio fue definida y delimitada de manera espacial, incluyéndose, como área de interés, las parroquias rurales Alóag y Aloasi debido a que se consideraron importantes dentro del desarrollo del estudio.

Figura 1

Mapa de ubicación de las áreas de influencia: Cantón Mejía



Capítulo II

Marco Teórico

Satélites y sensores

La Teledetección es una herramienta que reúne y analiza los datos del satélite. Su incorporación en Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite un manejo más eficaz y eficiente de los datos, sin embargo, se debe considerar algunos aspectos que condicionan la disponibilidad espacial, espectral y temporal de los datos (Assaye et al., 1986).

Resoluciones del sensor remoto.

Chuvienco (1995) menciona al menos cuatro resoluciones para un sensor remoto, además, Labrador et al. (2014) aporta con estos conceptos permitiendo definirlos de la siguiente manera en la Tabla 1:

Tabla 1

Definición de las resoluciones de plataformas espaciales.

Resolución	Descripción
Espacial	Se refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En este contexto se trata el concepto de píxel, que es la unidad mínima que conforma una imagen digital, por lo tanto, la resolución espacial de un sensor se suele expresar en <i>metros/píxel</i> .
Espectral	Es la que indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. La firma espectral, es la diferente manera de respuesta que tienen los cuerpos a la radiación electromagnética; esto implica que al incrementar la resolución espectral aumenta el número de bandas espectrales, volumen de datos y costo de procesamiento.
Radiométrica	Se entiende como sensibilidad del sensor, capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe; es la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital (ND).
Temporal	Es la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. Esta resolución depende de tres factores: de la capacidad de orientación del sensor, del ancho del barrido y de la latitud.

Nota. Datos tomados de Chuvienco (1995, pp. 90–96) que define al menos cuatro resoluciones de los sensores remotos.

Satélites

Las plataformas en las que se encuentran los diferentes sensores, hace que cada uno tenga sus propias características, existen sensores de baja, media y alta

resolución. El nivel de procesamiento que se tiene de cada imagen es importante, ya que, a partir de esto, se van a realizar las debidas correcciones para el procesamiento y obtención de los datos (Ariza, 2013).

Tratamiento digital de imágenes satelitales

Procesos que permiten corregir distorsiones geométricas y espectrales detectadas en las imágenes adquiridas, provocados por distintas fuentes tales como rotación terrestre, influencia de la atmósfera, plataforma satelital y el sistema de registro dentro del sensor (Chuvienco, 1995). Dentro del pre-procesamiento lo que se busca es realizar las correcciones radiométricas, atmosféricas, geométricas y la remoción de nubes en caso de existir dentro de las imágenes.

Corrección Radiométrica

Técnica que realiza la conversión de los niveles digitales (ND) originales medidos por el sensor, a valores de radiancia, permitiendo compensar el efecto de los factores ambientales con el fin de obtener valores físicos como la reflectividad. Existen varias fuentes de distorsión radiométrica que pueden afectar la distribución del brillo en los diferentes rangos espectrales de las bandas en las imágenes (iluminación solar, fallas del sensor, atmósfera entre otros); dicha distorsión es un error que influye en el valor radiométrico de un elemento de la escena, píxel, o en la radiación (Ambrosio et al., 2002).

Corrección Atmosférica

Chuvienco (1995) la define como un proceso que busca eliminar el efecto de los aerosoles y radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se refleja en la imagen, resultado de la interacción existente entre el sensor y la atmósfera, como resultado de este subproceso se obtiene valores de reflectancia a partir de los valores de radiancia, que permita mejorar la separabilidad espectral de los objetos en la superficie terrestre,

respecto a la imagen original. Con ello se logra mejorar la calidad visual de la imagen (MasterGIS, 2018, pp. 19–20).

Corrección Geométrica

La corrección geométrica realiza las transformaciones necesarias con respecto a la posición que ocupan los píxeles de la imagen, de esta manera quedará correctamente referenciada a un sistema de coordenadas proyectado, eliminando deformaciones presentes en el producto cartográfico. Para cualquiera que sea el método de corrección el error posicional residual dentro del proceso de corrección geométrica deberá ser menor a 1 píxel (Cabrera et al., 2011). Cruz (2008) enfatiza que dichas distorsiones pueden ser corregidas mediante los siguientes métodos de corrección: georreferenciación de una imagen y referenciación de una imagen con otra.

Como plantea Goshtasby et al., 1986 citado en Cruz (2008) la referenciación de una imagen con otra es la superposición de las coordenadas de dos imágenes satelitales, siendo la primera una de referencia y la segunda imagen a ser rectificadas mediante el proceso de traslación y rotación. También denominado “corregistro de imágenes” se emplea cuando se busca estudiar dos o más imágenes en una serie, generalmente para comprender el cambio (Cruz, 2008; Gascon et al., 2017; Yan et al., 2018)

Cobertura del Suelo

Di Gregorio (2005) citado en Patiño (2015, pp. 21–23) sugiere como la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie terrestre a partir del análisis espectral definido por sus características ambientales y fisionómicas vegetales, aplicado no solo a la descripción de la vegetación, bosques y elementos antrópicos, sino considerando también afloramientos rocosos, cuerpos de agua, arbolado forestal, entre otros. A diferencia del uso del suelo que se caracteriza por la utilidad que le da el ser humano sobre un tipo particular de cobertura para obtener beneficios y/o productos.

Sistema de Clasificación y Leyenda Temática de la cobertura del suelo

Desde el punto de vista de Sokal (1974) citado en Di Gregorio & Jansen (1998) la clasificación es “el ordenamiento de los objetos en clases o subclases sobre la base de sus relaciones”. Siendo necesario definir límites claros, precisos, cuantitativos y basados en criterios objetivos para los distintos rangos posibles de clases identificados en la cobertura terrestre.

Una leyenda es la aplicación de un sistema de clasificación en un área específica dependiente de la escala y representación cartográfica, esta podrá contener un subconjunto de todas las clases posible de la clasificación o un todo (Di Gregorio & Jansen, 1998).

Tabla 2

Definiciones de la leyenda de cambio de cobertura y uso de la tierra.

Nivel I	Definición
Bosque	Comunidad vegetal de por lo menos una hectárea, con árboles de 5 m de altura y con un mínimo de 30% de cobertura del dosel o capa aérea vegetal. • Incluye: las áreas cubiertas de bambú y palmas nativas. • Excluye: las formaciones de árboles utilizadas en sistemas de producción agrícola.
Tierra Agropecuaria	Incluye tierras cultivables y de labranza, pastos cultivados con usos especialmente pecuarios o que estén dentro de un sistema de rotación entre pastos y cultivos.
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Áreas cubiertas por arbustos y vegetación herbácea producto de un proceso biológico natural, que no incluye áreas agropecuarias.
Cuerpo 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	Agrupar al suelo urbano e infraestructura.
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	Áreas que no han podido ser identificadas.

Nota. Datos tomados del Ministerio del Ambiente (2012). *Definiciones operativas de la leyenda de cambio de cobertura y uso de la tierra-Anexos.* Quito; Peralvo & Delgado (2014). *Protocolo metodológico para la generación del Mapa de Deforestación Histórica en el Ecuador continental.* Ministerio del Ambiente y CONDESAN, Quito.

Interpretación digital de las imágenes

Proceso que convierte a cada una de las mediciones de reflectancia almacenadas en cada píxel de la imagen en información representativa de la superficie terrestre por semejanza de características, dando como resultado una cartografía simplificada de las diferentes clases homogéneas de interés dentro del territorio (Chuvienco, 1995; Quirós, 2009).

Clasificación Supervisada

Se debe tener un cierto conocimiento del área de estudio, ya sea por ayuda de expertos o trabajos en campo, permitiendo delimitar sobre la imagen zonas representativas de cada clase de la leyenda, conocida como *training fields* (campos de entrenamiento), de esta forma se calcula los niveles digitales de cada clase, para posteriormente designar a los píxeles restantes de la imagen.

De acuerdo a Chuvienco (1995); Quirós (2009), la máxima probabilidad o máxima verosimilitud es un método paramétrico en el que el píxel se designa a la clase con la que tiene mayor probabilidad de pertenencia, de acuerdo a una distribución normal a partir de la media y la matriz de varianza-covarianza.

Evaluación de la exactitud temática de la clasificación de imágenes.

Se define como exactitud temática al grado en que el mapa generado de cobertura se relaciona con el insumo empleado de referencia para la clasificación, para ello se debe generar un muestreo de puntos de verificación obtenidas ya sea a partir de observaciones de campo, análisis de imágenes o mapas de cobertura proporcionados por instituciones oficiales que garanticen su confiabilidad (Galindo et al., 2014).

Método de Muestreo

Desde la posición de Chuvienco (1995) el diseño del muestreo representa la columna vertebral del proceso de validación, de esta manera es posible seleccionar una pequeña parte del área de estudio, que a la vez resulta lo suficientemente

representativa del total de la zona de estudio. En el muestreo aleatorio estratificado la población se divide en estratos en función de una variable, aportando información de los subconjuntos de la población (Chuvienco, 1995).

Tamaño de la muestra

Según Congalton (1988, 2001); Bedón & Pinto (2012) el tamaño de la muestra hace referencia a los sitios de verificación para evaluar la exactitud del mapa, dependiendo directamente de la precisión de la matriz de errores, información de las áreas además del tamaño de la población (N), la media y varianza poblacional, sugiriendo se efectuó el muestreo del 1 % de la superficie cartografiada; además de efectuar la verificación de al menos 50 a 100 muestras por cada clase dentro de las cuales se deberá seleccionar necesariamente 30 muestras. Sin embargo, Cochran (1977) citado en Olofsson et al. (2014) recomiendan emplear ecuaciones en función del tipo de muestreo que se vaya a emplear, de manera que para un muestreo aleatorio estratificado recomiendan la siguiente ecuación (1):

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\delta)^2] + \left(\frac{1}{N}\right) \sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\delta)}\right)^2 \quad (1)$$

Donde:

- n : número de unidades evaluación en la región de interés (ROI).
- $S(\delta)$: Error estándar esperado de la exactitud esperada (para este caso se empleó un error estándar igual a 0,05)
- W_i : Proporción de área cartografiada de la clase.
- S_i : Desviación estándar de la clase o estrato i , definida en la ecuación (2)

$$S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)} \quad (2)$$

Donde:

- U_i : Exactitud del usuario para cada clase; con base a Olofsson et al.(2014) se utiliza 0,6–0,7 para las clases con menor superficie y 0,9–0,95 para las clases con mayor área.

Es importante considerar que al momento de seleccionar las áreas de entrenamiento no se debe emplear un píxel como unidad de muestreo esto por la incapacidad al momento de ubicarlo tanto en el suelo como en las imágenes, sin embargo, Congalton (2001) considera emplear un bloque de 3 x 3 grupo de píxeles o un polígono.

Matriz de Confusión

Matriz bidimensional de tamaño $n \times n$ donde las filas representan las categorías test obtenidas de la cobertura real y las columnas están dadas por las clases obtenidas de la clasificación; con el objetivo de identificar el grado de exactitud global y entre categorías, a través del cálculo de los errores de omisión (píxeles que el usuario asignó y no coinciden con la asignación resultante del clasificador) y de comisión (píxeles que el clasificador considera pertenecen a una clase y no fue considerado por el usuario) (Chuvienco, 1995; Palomino & Anaya, 2014).

Índice Kappa

Boca & Rodríguez (2005) postulan como un estadístico que evalúa la proporción de coincidencias resultantes de productos cartográficos categóricos con dos o más clases, siendo una medida obtenida a partir de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un software y la exactitud de la clasificación visual (en campo u otros insumos). El estadístico Kappa (k) elimina el efecto que tienen los píxeles clasificados al azar en el porcentaje de píxeles correctamente clasificados.

Un índice Kappa igual a cero corresponde a una causa aleatoria; por el contrario, con un $k=1$ se obtiene una máxima concordancia (Borràs et al., 2017; Ulibarri & Fernández, 2001). Por lo tanto es necesario disponer de una escala como la que

plantea Landis y Koch (1977) citado en Cerda & Villarroel (2008) donde coeficientes menores a 0 representan una pobre concordancia, mientras que valores entre 0.81 y 1.00 representan una casi perfecta concordancia equivalente a Muy Buena.

Reporte de Trayectorias de cambio de las coberturas

A juicio de Peralvo & Delgado (2014); Penman et al. (2003), es importante emplear herramientas de reporte al momento de generar los cambios de cobertura del suelo. Para ello se mencionan dos matrices, para la primera matriz (Tabla 3) se analiza los cambios generados en las coberturas en un tiempo 1 con relación a un tiempo 2, mientras que en la segunda se indica las diferentes transiciones es entre las áreas que han cambiado entre las diferentes coberturas de suelo (Tabla 4).

Tabla 3

Matriz de cambio de cobertura del suelo.

Clase	Área ₁	Área ₂	Variación de Cambio entre tiempo 1 (t ₁) y tiempo 2 (t ₂)	% de Cambio
X ₁	A ₁₁	A ₂₁	ΔA _{t1}	$\left(\frac{A_{21} * 100}{A_{11}}\right) - 100$
X ₂	A ₂₁	A ₂₂	ΔA _{t2}	$\left(\frac{A_{21} * 100}{A_{21}}\right) - 100$
X _n	A ₃₁	A ₃₂	ΔA _{t3}	$\left(\frac{A_{32} * 100}{A_{31}}\right) - 100$
Total	A _{total1}	A _{total2}		

Nota. Datos tomados de Peralvo & Delgado (2014) ; Penman et al. (2003, p. 26).

Tabla 4

Tabulación cruzada para reporte de cambio de cobertura del suelo.

Final		Clase				
Clase Inicial	X ₁	X ₂	X ₃	A _{total.inicial}		
	X ₁	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	Sum X _{1.inicial}	
	X ₂	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	Sum X _{2.inicial}	
	X ₃	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	Sum X _{3.inicial}	
A _{total.final}		Sum X _{1.final}	Sum X _{2.final}	Sum X _{3.final}		

Nota. Datos tomados de Peralvo & Delgado (2014); Penman et al. (2003, p. 29).

En la Tabla 4 las celdas ubicadas diagonalmente indican la superficie que ha permanecido estable en los períodos mientras que para las celdas restantes indican las coberturas que han cambiado con relación a su superficie e indica la cobertura a la que se dirigió dicho cambio.

Tasa de Cambio Anual

La FAO (1998) citado en Velázquez et al. (2002) propone la ecuación (3) para definir el cambio de cada año en porcentajes de las diferentes coberturas de suelo entre las diferentes fechas seleccionada; para ello emplea las superficies en las dos épocas diferentes así como la diferencia de años que han transcurrido.

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

Donde:

- δ_n : Tasa de Cambio Anual que al multiplicarlo por 100 se expresa el resultado en %
- S_2 : Superficie en la fecha 2
- S_1 : Superficie en la fecha 1
- n : Número de años entre las dos fechas

Los valores positivos representan las coberturas que han ganado superficie y valores negativos describen a las que han perdido superficie.

Simulación del crecimiento urbano

Como lo expresan Camacho-Sanabria et al.(2015) ; Mas & Sandoval (2011); Veldkamp & Lambin (2001); Xiang & Clarke (2003) el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) promueve el desarrollo de investigaciones orientadas a: Describir y evaluar la dinámica de la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo en un territorio dentro de un período de tiempo con una perspectiva cuantitativa, identificar o predecir las áreas más propensas a sufrir cambios en su cobertura vegetal, comprender la influencia de las variables explicativas con relación al uso y cobertura del suelo y modelar procesos de cambio para la construcción de escenarios prospectivos.

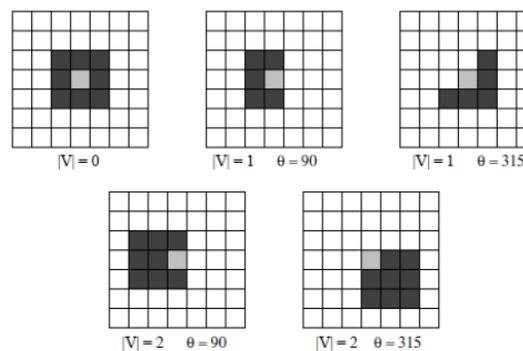
Autómatas Celulares (AC)

Es un modelo matemático utilizado para el análisis de un sistema dinámico (García et al., 2008; Gómez, 2011), compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos valores, con los siguientes componentes:

- *Arreglo Regular*: Un espacio ráster n-dimensional con división homogénea.
- *Vecindad*: Conjunto contiguo de elementos y posición relativa respecto a cada una de ellas. Cada celda es encargada de actualizar su estado recopilando información de ella misma y de un grupo de celdas a su alrededor y la celda central es sobre la cual se realiza los cálculos (Padilla et al., 2015).
- *Función local*: Regla de evolución que determina el comportamiento del AC.
- *Conjunto de Estados*: Es finito y cada elemento tiene un valor.
- *Configuración inicial*: Asignación de un estado inicial a cada elemento.

Figura 2

Autómata Celular aplicado en incendios forestales.



Nota. Autómata Celular que representa las posibles vecindades (negro) de una célula (gris) según las condiciones del viento. $|V|$ es la intensidad del viento y la θ dirección en la que se mueve representada en ángulos. Gráfica obtenida de Gómez (2011).

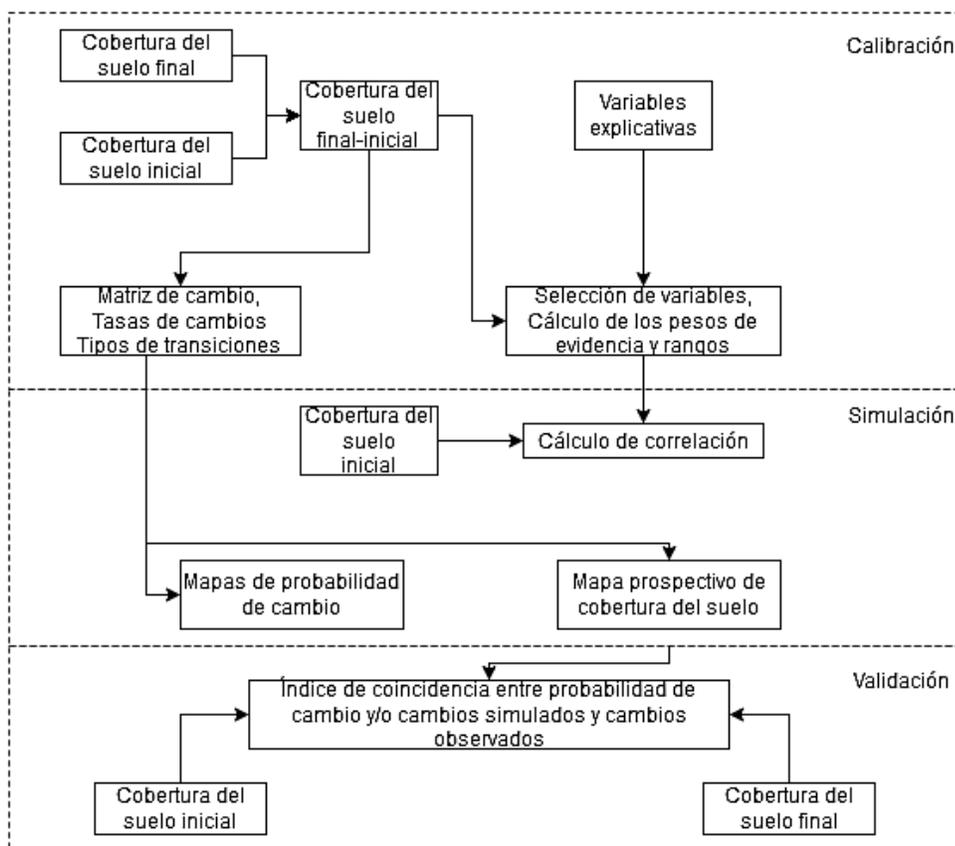
Los Autómatas Celulares tienen un enfoque de modelado abierto, complejo, auto-organizando sistemas que destacan la forma en que las decisiones tomadas localmente dan lugar a patrones globales (Wu, 1998).

Modelos de simulación

La modelación (Figura 3) se basa en el análisis de las matrices de cambios que permite evaluar las tasas de cambio entre los diferentes tipos de coberturas / uso del suelo y la relación espacial con las variables que los afectan. De esta manera se puede identificar las áreas más propensas a los cambios (mapas de probabilidad de cambio) y elaborar mapas prospectivos de coberturas o uso del suelo (Mas & Sandoval, 2011).

Figura 3

Diagrama de flujo del proceso de simulación.



Nota. Diagrama modificado a partir de lo planteado por Mas & Sandoval (2011, pp. 5–9) donde define al mapa prospectivo de la cobertura del suelo como el mapa simulado para una fecha determinada sobre la cual se tenga disponibilidad del mapa de cobertura del suelo observado o de referencia, para su posterior comparación en función de sus coincidencias.

Análisis de cambios y fuerza explicativa de las variables

Las variables explicativas, también denominadas variables independientes, son aquellas que se usan para explicar, describir o predecir la variable dependiente. El análisis de los cambios pasados con relación con las variables explicativa, permite mapear la probabilidad de las diferentes transiciones.

Es evidente que el crecimiento urbano está condicionado por una serie de variables o factores que permiten la delimitación de las áreas de expansión urbana. Existe una fuerte interdependencia de variables relacionadas con el medio ambiente y aspectos económicos, además del incremento de la población (Ruiz, 2009). Pijanowski et al. (2005) sugieren entre 6 y 15 variables.

Software Dinámica EGO

El entorno del software Dinámica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) desarrollado en C++ y Java, es simple, flexible y con buen performance, optimizando velocidad y los recursos de la computadora (Soares Filho et al., 2009).

Incorporando una serie de algoritmos diseñados especialmente para simulaciones espaciales con *functors* secuenciales que establecen flujos de datos visual de manera gráfica. Con la ayuda de su interfaz gráfica, se pueden crear modelos simplemente arrastrando y conectando los *functores* a través de sus puertos, donde cada uno puede representar un mapa, una tabla, una matriz, una expresión matemática o una constante. Así, los modelos pueden diseñarse como un diagrama, cuya ejecución sigue una cadena de flujo de datos (Soares Filho et al., 2009).

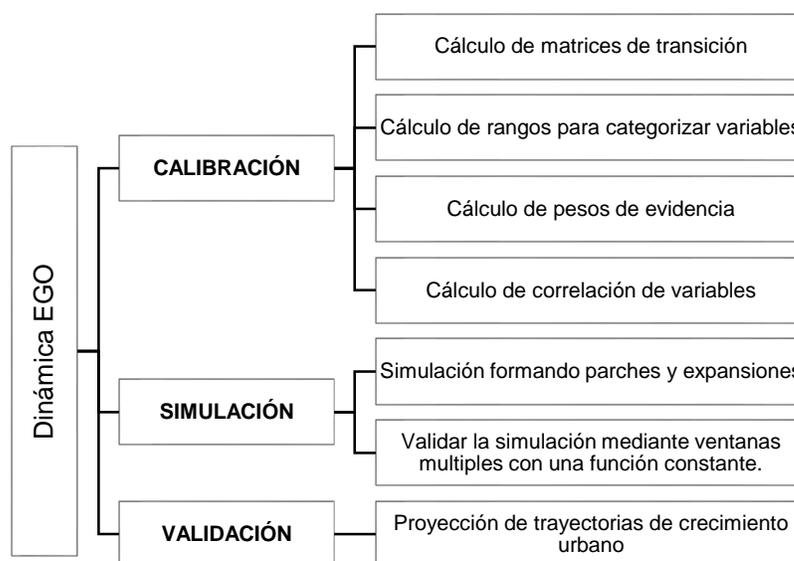
MAEDA et al. (2010) citado en Plangg Riegel et al. (2019) considera que Dinámica EGO es un modelo basado en la simulación espacial de Autómatas Celulares que incorpora algoritmos de transición y enfoques de retroalimentación espacial en un marco de simulación estocástica de varios pasos como se describe en la Figura 4. Este modelo proviene de un método adaptado de Agterberg y Bonham-Carter (1994) y

Goodacre et al. (1993) citado en Plangg Riegel et al. (2019), que calcula intervalos según la estructura de los datos.

Permite manejar diferentes enfoques (tendencial y alternativo), el primero es controlando el grado de intervención experta según los intereses del usuario desde un enfoque totalmente automático (sin edición de los pesos y utilizando eventualmente la opción del algoritmo genético para modificar los pesos) hasta un enfoque totalmente basado en conocimiento experto modificando drásticamente los pesos de evidencia y la matriz de Markov (Mas & Sandoval, 2011).

Figura 4

Etapas de Ejecución del software Dinámica EGO.



Nota. Datos tomados de Soares Filho et al. (2009, p. 61) donde se describe las etapas del modelo de simulación del cambio del uso de suelo.

Calibración

Cálculo de matrices de transición

La matriz describe la tasa de cambios de un sistema a través de períodos discretos de tiempo, en donde la suma de fracciones a lo largo de la columnas de la

matriz es igual a 1, y la diagonal no interesa, porque representa el porcentaje de celdas que no cambian o que tiene transiciones igual a cero (Soares Filho et al., 2009).

Se transforma para dar las tasas anuales de transición a fin de proyectar las tendencias de cambio sobre una base anual aplicando una ecuación de cálculo matricial (Mas et al., 2011).

Las tasas de transición pueden ser pasadas al modelo como un parámetro fijo o como un parámetro que será actualizado por la retroalimentación del modelo. La matriz *single-step matrix* representa las tasas de transición para un único intervalo de tiempo entre el estado inicial y final, *multiple-step matrix* representa las tasas de transición para cada período de tiempo (año, mes, día) especificado al dividir el intervalo de tiempo total por el número de pasos que se desea analizar (Soares Filho et al., 2009).

Cálculo de rangos para categorizar variables y cálculo de pesos de evidencia

La reducción variable es un paso crucial para acelerar la construcción de modelos sin perder el poder predictivo potencial de los datos, para evaluar variables ordinales y categóricas en función de su poder predictivo (Lin, 2013). El cálculo requiere el contraste entre ocurrencia y no ocurrencia ,usualmente denotado por 1 y 0 (Lin & Hsieh, 2014).

Dinámica EGO utiliza este método geoestadístico, basado en el método Bayesiano, calcula los estimados con mayor precisión, dado que el valor siempre será el más probable (Rendón Macías et al., 2018), en donde su único supuesto es la independencia espacial de los insumos. De esta manera se obtiene las áreas más propensas a sufrir cambios, en donde los pesos de evidencia representan la influencia de cada una de las variables en la probabilidad espacial de ocurrencia de una transición (Soares Filho et al., 2009).

Los valores positivos en los pesos de coeficientes representan una relación positiva al crecimiento urbano, el contraste representa el efecto de asociación de las

variables, por lo tanto, los valores cercanos a cero no tienen ningún efecto (Soares Filho et al., 2009).

Correlación de variables explicativas

Para la verificación de la independencia espacial de las variables se emplea el estadístico Cramer que se define como un coeficiente creado por el estadístico sueco Herald Cramer, que funciona como una medida de relación estadística basada en Chi cuadrado el cual permite la eliminación o asociación de las variables dependientes (Soares Filho et al., 2009; Sosa Reyes & Villatoro, 2015).

Los valores de Cramer oscilan entre 0 y 1 (valores cercanos a 0 indican no asociación y los próximos a 1 fuerte asociación). El problema de este estadístico es que tiende a subestimar el grado de asociación entre las variables (Sánchez, 1989).

Simulación

En esta fase se simula un “mapa real observado” en el software Dinámica EGO, a través de autómatas celulares *patcher* y *expander*, con el objetivo de realizar una comparación entre lo real y simulado de manera que se determine la capacidad del modelo para predecir los cambios (Espinoza, 2017).

Patcher es una función de transición diseñada para formar nuevos parches en los mapas a través de la búsqueda y selección inicial de una celda denominada semilla o núcleo para el nuevo parche que crece mediante agregación de celdas vecinas similares en función de sus probabilidades de cambio para luego ejecutar un cambio a la misma clase. Realiza transiciones de un estado i para un estado j cuando las vecindades contiguas de celdas tienen un lugar diferente de j .

Expander es una función de transición diseñada para la expansión o reducción de parches ya existentes de una clase en particular. Realiza transiciones de un estado i para un estado j cuando las vecindades contiguas de celdas tienen estado j (Padilla et al., 2015).

Es posible controlar el tamaño promedio, la varianza y la isometría, así como su distribución respecto al mapa de probabilidad (cambios confinados a las áreas más probables o distribuidos también en áreas menos probables, lo cual es a menudo más realista) (Mas et al., 2011).

Validación

La fase de validación es importante en el desarrollo de cualquier tipo de modelo, sirve para verificar el grado de ajuste de una predicción con la realidad (Valero et al., 2015).

Dinámica EGO como una de sus singularidades simula un “mapa real observado” que sirve de insumo para la validación del modelo al momento de predecir los cambios en el mapa (Espinoza, 2017). La evaluación del modelo consiste en comparar la coincidencia espacial entre las probabilidades de cambio y/o los Cambios de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) simulados con los cambios observados (Mas & Sandoval, 2011). Esta verificación utiliza indicadores de similitud difusos, considerando la consistencia espacial bajo diferentes tolerancias en diferentes tamaños de ventana o píxeles (Espinoza, 2017).

Crecimiento Urbano

Se define como el crecimiento demográfico, físico y económico de la ciudad, es decir, el aumento de la superficie considerada urbana como respuesta a la demanda del suelo urbano para la ubicación de viviendas y el desarrollo de otras actividades resultado de cambios en el estilo de vida, una mayor demanda de infraestructuras, servicios básicos, transporte, entre otros. Además, los movimientos migratorios interurbanos, la propiedad privada y la gestión del suelo determinan su dinámica en diferentes períodos que van modificando la expansión y densificación de la mancha urbana (Cerdeira Troncoso, 2007; Urriza & Garriz, 2014).

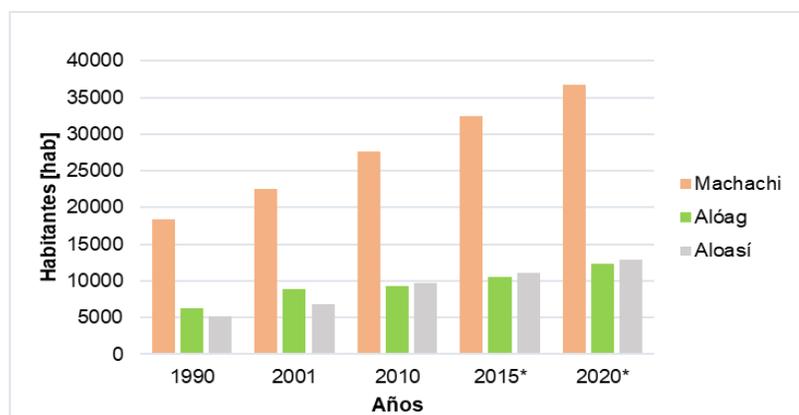
Crecimiento Urbano y poblacional de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.

A nivel cantonal Mejía de acuerdo con INEC (2010), en función del último censo 2010 la cifra de habitantes aumentó de 62.888 en el año 2001 a 81.335 habitantes al año 2010, es decir con una tasa crecimiento poblacional de 1.29%, cifra inferior a la década 1990-2001 que presentó una tasa anual de 1.36%.

En el caso de las parroquias dentro del área de estudio al analizar su distribución poblacional de acuerdo con los censos de población y vivienda de los años 1990,2001 y 2010 presentaron una tasa de crecimiento anual del 2.49% y 2.59% es decir la población se incrementó anualmente 2.49 y 2.59 personas por cada 100 habitantes entre los períodos 1991-2001 y 2001-2010 respectivamente evidenciándose un crecimiento exponencial en la cantidad de habitantes.

Figura 5

Crecimiento de la población período 1990 al 2020 proyectado.



Nota. *Los datos obtenidos para la población del 2015 y 2020 fueron los proyectados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos. Datos tomados de INEC (2010).

Sin embargo, como se observa en la Figura 5, la parroquia Aloasí en el censo del 2010 presentó un incremento de 2831 habitantes superando a Alóag, que para el año 2010 únicamente aumentó 287 habitantes, resultado principal de su continuidad directa con la parroquia de Machachi la misma que concentra mayor cantidad de

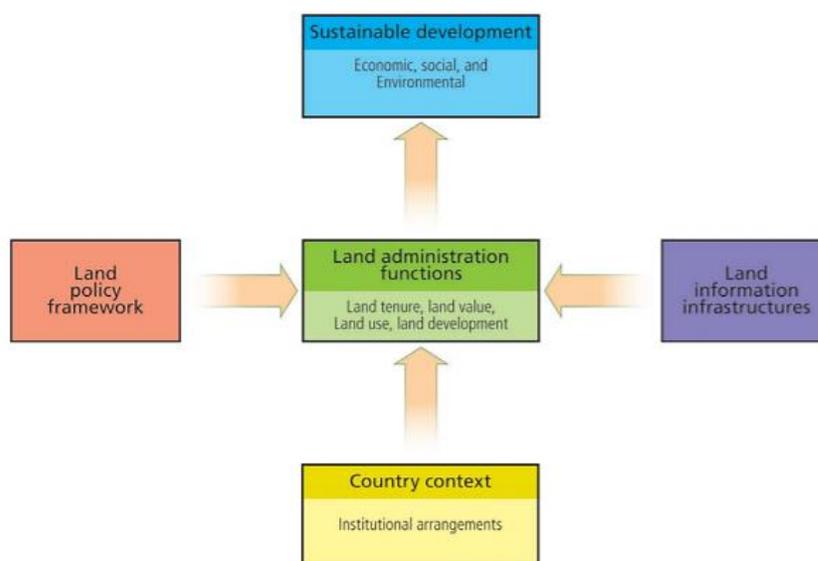
servicios, comercios y equipamientos, influenciados directamente en las zonas aledañas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014).

Administración de tierras

Williamson et al. (2014, pp. 4–13) emplean una de las definiciones más aceptadas propuesta por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE o ECE) que la definen como: “El proceso de evaluación, registro y difusión de información acerca de la propiedad, valor y uso de la tierra mediante la implementación de políticas de gestión de la tierra y el acceso de los recursos” (Williamson et al., 2014).

Figura 6

Perspectiva Global de la administración de la tierra.



Nota. Datos tomados de Williamson et al. (2014).

La administración de la tierra engloba cuatro funciones principales que tiene relación con la tenencia de la tierra (derechos de la tierra y derechos naturales), uso de la tierra (planificación y control del uso de la tierra y los recursos naturales), valor de la tierra (tasación y tributación de la tierra) y el proceso de urbanización (implementación de servicios básicos, construcción) tanto en áreas urbanas como rurales, que en conjunto representan el medio a través del que se pueda apoyar al desarrollo sostenible

basados como motor principal sobre la información catastral combinado con la información ambiental (aspectos topográficos, medioambientales y relacionados a los recursos naturales) siendo regulada por diferentes niveles sectoriales tales como agricultura, protección ambiental, transporte entre otras (UN-HABITAT, 2016). En la Tabla 5, se citan varios objetivos que presentan cada una de las funciones planteadas por Williamson et al. (2014).

Tabla 5

Funciones Principales de la Administración de tierras.

	Función	Descripción
Integración	Tenencia	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso e instituciones que aseguran el acceso a la tierra • Mapeo Catastral para definir límites de predio • Transferencia de la propiedad
	Valoración	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos e instituciones que evalúan el valor de un terreno y las propiedades • Cálculo y recaudación de ingresos
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos e instituciones que controlan el uso de la tierra a nivel nacional, regional y local. • Aplicación de regulaciones del uso de la tierra
	Urbanización	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos e instituciones ligados a la construcción de nueva infraestructura • Adquisición pública de terrenos • Cambio de uso de la tierra bajo permisos

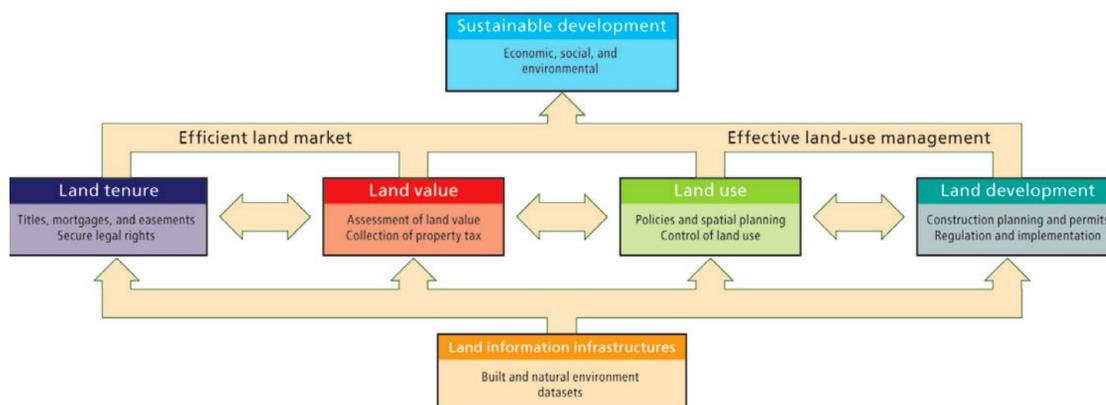
Nota. Datos tomados de Williamson et al. (2014).

Sistemas de Administración de tierras (SAT)

Los SAT son infraestructuras que más allá de manejar la información geoespacial, permiten implementar políticas y estrategias de administración sobre la tierra que apoya al desarrollo sostenible (económico, ambiental y social), incluyendo acuerdos institucionales, marco legal, procesos, estándares, información de la tierra y tecnologías necesarias para la distribución de la tierra, mercados de la tierra y control del uso de la tierra, sin dejar de lado el catastro como el complemento central que provee de seguridad en la tenencia y los derechos sobre la tierra, y respalda a cada una de las funciones de las administración de la tierra para la obtención de un desarrollo sostenible (Lemmen, 2012; Williamson et al., 2014).

Figura 7

Perspectiva global de la administración de la tierra promoviendo el desarrollo sostenible.

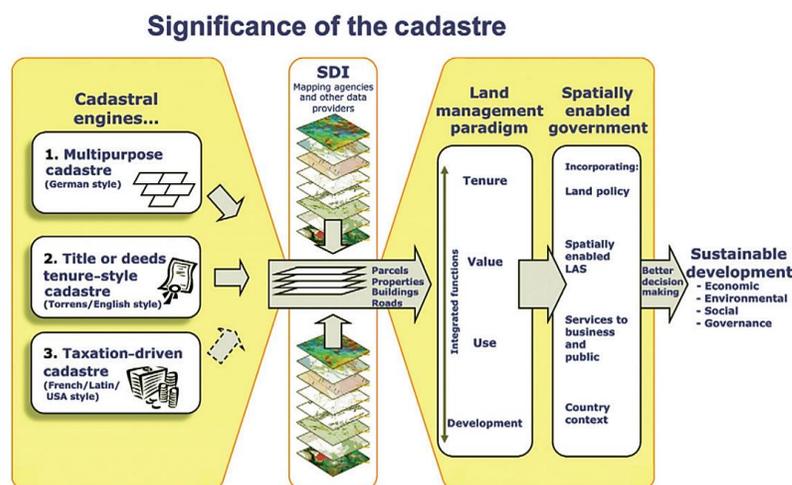


Nota. Datos tomados de Williamson et al. (2014).

Finalmente se debe tener en cuenta que para lograr un SAT efectivo es importante requerir de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) que sirva como una plataforma que apoye a la integración de datos ambientales, naturales como catastrales, garantice la entrega de información y servicios; sin embargo, en la actualidad se debe superar la calidad de datos, metadatos, heterogeneidad computacional, entre otros problemas generados.

Figura 8

Integración del catastro en la Administración territorial.



Nota. Información adaptada de Williamson et al. (2014).

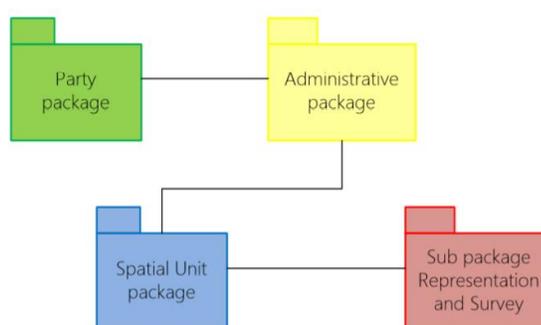
ISO 19152:2012 Land Administration Domain Model

Estándar internacional que define al Modelo de Dominio de la Administración de la Tierra resultado de la necesidad de una nueva norma de catastro para la administración de tierras como parte de la iniciativa “Catastro 2014 *A Vision for future cadastral system*” propuesta por Kaufmann & Steudler (1998, p. 3) donde ya se plantea: “Un catastro moderno empleando un modelo estandarizado de datos básicos que permita resolver problemas de población, medio ambiente y uso razonable del suelo en interacción con otros modelos como es el caso de la gobernanza del riesgo”.

Es un modelo conceptual que establece una relación entre el individuo y el componente geométrico (predio) bajo derechos, responsabilidades y restricciones (Figura 9) definido por: datos de la parte interesada, datos administrativos, datos de la unidad espacial, datos sobre la topografía, datos de geometría y fuentes de documentos (escrituras o encuestas), de esta manera se busca asociar el registro del territorio con el registro o título de propiedad (R. Salazar et al., 2016; Yomralioglu & Mc Laughlin, 2017).

Figura 9

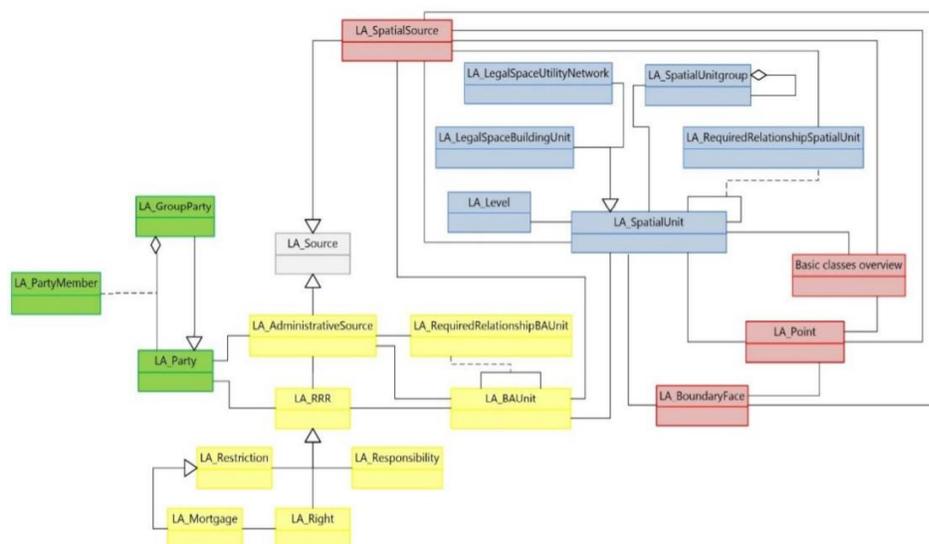
Paquetes del LADM ISO1952:2012.



Nota. Datos tomados de Meneces (2017, p. 72) donde se representa los tres paquetes principales de LADM, en color verde el paquete de partes interesadas, en color amarillo el paquete administrativo y en color azul el paquete de la unidad espacial.

Figura 10

Lenguaje UML identificando las diferentes clases de cada paquete LADM ISO 19152.



Nota. Datos tomados de Lemmen (2012, p. 72) donde se describe las clases que se desarrollan en cada paquete.

El modelo está representado por tres paquetes: Objetos (Unidades Espaciales), Administrativo (Derechos, Restricciones y Responsabilidades), partes interesadas (Participantes, personas), cada uno compuesto por un grupo de clases que se describen en la Tabla 6.

Tabla 6

Paquetes y clases del LADM ISO 19152:2012.

Paquete	Clase	Descripción
Paquete de Interesados (Party Package)	Clase LA_Party	Partes interesadas (party) es decir la persona u organización o grupo de partes. Dentro de esta se especializa la clase LA_GroupParty que define a agrupaciones de interesados.
Paquete Administrativo (Administrative Package)	Clase LA_RRR	Incluye las subclases derechos(rights),restricciones(restrictions) y responsabilidades (responsibilities) que describe el derecho privado y público existentes entre los niveles de representación.
	Clase LA_BAUnit	Incluye las unidades básicas administrativas que registra a las unidades de propiedades básicas propias del interesado.
Paquete Unidad Espacial (Spatial Unit Package)	Clase LA_SpatialUnit	Incluye las unidades espaciales (predio), asociada a la geometría.

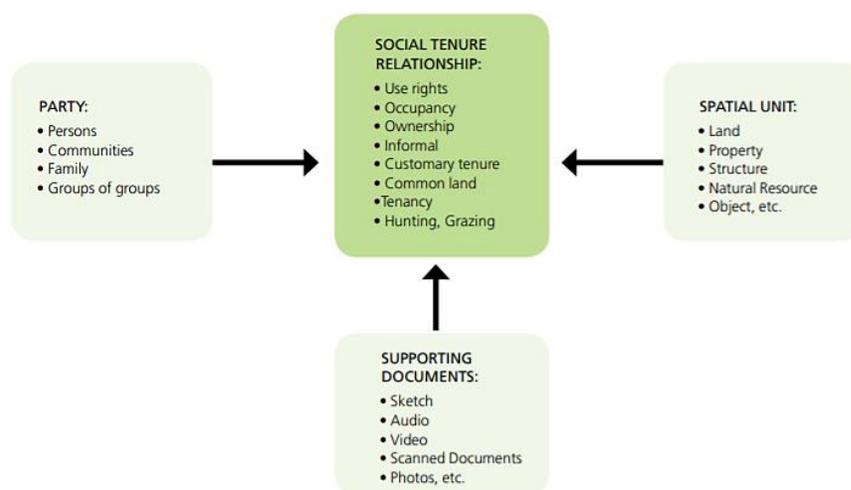
Nota. Además de los paquetes mencionados se detalla un subpaquete de levantamiento y representación (Surveying and Representacion) que engloba cuatro clases principales LA_Point, LA_SpatialSource, LA_BoundaryFaceString y LA_BoundaryFace, que pueden ser puntos, líneas y superficies que se pueden obtener en el campo, en la oficina u otras fuentes.

Social Tenure Domain Model (STDM)

Es un sistema de información territorial, basado en el modelo LADM de la ISO 19152 de datos de código abierto con software SIG (Figura 11). Es parte de una iniciativa de UN-Hábitat, mediante la agencia líder Red Global de Herramientas del Suelo (GLTN), que busca la integración entre componentes administrativos y espaciales existentes entre las personas y el territorio como camino para la construcción de sistemas de administración de tierras manejables, específicamente para países en desarrollo, independientemente de su tipo de formalidad (informal, formal); su código fuente fue publicado en el Congreso Federación Internacional de Agrimensores (FIG) 2014 en Kuala Lumpur, Malasia.

Figura 11

Modelo Conceptual del STDM (Social Tenure Domain Model).



Nota. Datos tomados de Enemark, McLaren, & Lemmen (2016, p. 53) que explican la interrelación entre las partes, tenencia y las unidades espaciales apoyadas por los documentos respectivos.

Proporciona así herramientas eficientes que facilitan el registro de todas las formas de derechos sobre la tierra, titulares, tipos de tierras y objetos de propiedad o unidades espaciales. De la misma manera los datos que provienen de fuentes oficiales se apoyan en función de las necesidades y capacidades locales con la finalidad de crear oportunidades para la administración del territorio.

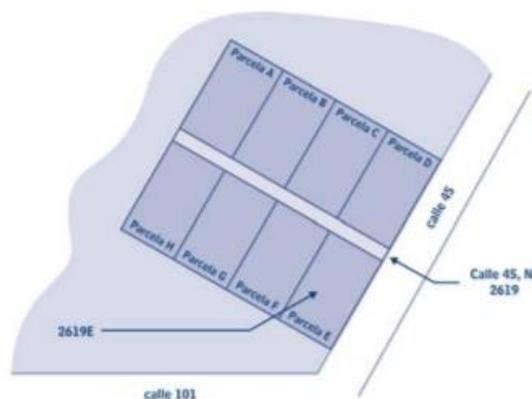
El desarrollo de este tipo aplicaciones informáticas de administración territorial permiten una implementación fácil y automática en todas las versiones que se generen, además de facilitar un modelo útil y práctico que facilite el intercambio de datos con otros sistemas de administración territorial e incluso con otras instituciones externas tales como municipios, instituciones catastrales, entre otros.

Catastro

Es un sistema de información de tierras que tiene como base técnica información alfanumérica, gráfica y georreferenciada almacenada en bases de datos, cuya unidad básica es la parcela o predio que es un área cuyo tamaño puede variar desde unos pocos metros cuadrados (coincidente con una vivienda) hasta cientos de hectáreas (haciendas), definidas por límites correspondientes a uno o más títulos de propiedad, posesión u ocupación ejercida (Erba, 2015; Molina, 2000). Con un código único de cada predio es posible identificarlo de manera precisa y lograr la difusión de la información catastral (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Figura 12

Ubicación de los predios con su código único.



Nota. Gráfica tomada de Erba (2007) donde describe los predios que han sido levantados y cuyos datos han sido registrados como parte del proceso catastral.

Con el fin de ubicar, describir, registrar y actualizar las características físicas exactas de cada bien inmueble en documentos cartográficos (catastro físico), determinar su valor para la captación de recursos a través del cobro de diferentes impuestos a la propiedad inmobiliaria (catastro económico), conocer la situación jurídica de los mismos respecto a sus propietarios, poseedores y ocupantes (catastro jurídico), o evaluar los aspectos de infraestructura de servicios básicos, ambientales y el comportamiento urbano o rural mismos que son administrados por empresas privadas o instituciones públicas en sus diferentes niveles (catastro temático) (Erba, 2007; Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016; Smolka & Mullahy, 2007).

Clasificación del Suelo

Se define como el fraccionamiento objetivo del suelo que se efectúa en la planificación en función de sus usos y características con el fin de establecer límites de expansión urbana y en especial los usos que serán permitidos y las condiciones para los mismos. Además de ser la base para la dotación de servicios básicos, movilidad, transporte, entre otros (Fernández, 2019).

En la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS) específicamente referente a los conceptos básicos, dentro del artículo 17, hace mención que la clasificación urbano-rural es independiente de la asignación política-administrativa de la parroquia como urbana o rural (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo., 2016). A continuación, se establece las siguientes categorías:

Suelo Urbano

Definido por asentamientos humanos, dotados parcial o totalmente de infraestructura básica, que constituyen un sistema de espacios públicos y privados se estima que está relacionada con el proceso de delimitación de centro urbanos desde el punto de vista del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) se considera los siguientes criterios: estructura urbana existente, densidad poblacional, estructura vial, dotación de servicios básicos, movilidad, zonas de riesgo y protección, equipamiento urbano, actividades de la población económicamente activa (PEA) (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo., 2016).

Suelo Rural

Áreas destinadas principalmente a actividades agro productivas, extractivas o forestales, o aquellas áreas que por sus características geográficas o biofísicas tienen que ser protegidas (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo., 2016).

Expansión Urbana

Proceso permanente que genera una fuerte presión sobre el territorio rural independiente de su división político-administrativa que puede presentar aptitud agrícola, forestal o de conservación, de manera que la antigua periferia pasa gradualmente a consolidarse partes del casco urbano, alejándose cada vez más del centro de la ciudad, incrementándose la mancha urbana además de un acelerado

desarrollo de las áreas urbanas con una expansión horizontal provocando pérdidas ambientales, artificialización de suelos, pérdida de biodiversidad, incremento de la erosión, entre otros (Javier & Alcántara, 2019; Mejía & Páliz, 2018; Santacruz, 2015).

Normativa Legal Vigente

A continuación, se describen las principales normativas legales sobre las cuales se fundamentó la presente investigación.

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

Aprobada en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas busca reducir la desigualdad en todas sus dimensiones, eliminar la pobreza, crear ciudades sostenibles, entre otros. A través de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establece una herramienta de planificación nacional como local para implementar políticas públicas e instrumentos de monitoreo y evaluación hacia la igualdad y dignidad de las personas respetando el medio ambiente específicamente. Específicamente para el presente estudio pese a que de manera directa o indirecta está sujeto a 132 de las 169 metas de la ODS con relación al desarrollo territorial rural, el objetivo 11 busca entre sus metas fortalecer la planificación de desarrollo apoyando así los vínculos económicos, sociales y ambientales entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales (Naciones Unidas, 2018).

Constitución de la República

La norma suprema que prevalece sobre cualquier ordenamiento jurídico es la Constitución de la República del Ecuador del registro oficial 449 del año 2008 que en artículo 409 ordena: “Conservar el suelo como un tema de interés público y prioridad nacional y la obligación de establecer un marco normativo para la protección y uso sustentable”; el artículo 415 dispone a los gobiernos autónomos descentralizados “Adoptar políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y uso del suelo que regulen el crecimiento urbano”; además del artículo 264 que establece que

los gobiernos municipales y metropolitanos tendrán la obligación de “ Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón” (Constitucion De La Republica Del Ecuador, 2008).

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

Aprobado en el año 2010, define los diferentes niveles de gobierno, sus responsabilidades en la gobernanza y gestión territorial, siendo los gobiernos autónomos descentralizados responsables de las políticas de uso y ocupación del suelo y de la planificación urbana. Además de señalar al ordenamiento territorial como un proceso de autonomía para la gestión territorial que promueve el desarrollo sustentable, la construcción de equidad e inclusión en el territorio, fomenta actividades productivas y asegura el nivel adecuado de bienestar a la población primando la preservación del ambiente para futuras generaciones (Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización COOTAD, 2010, pp. 5–6).

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)

Tiene como objetivo establecer los principios y reglas que rigen el ejercicio de las competencias de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo urbano y rural, y su relación con otras que incidan significativamente sobre el territorio (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo., 2016, p. 4).

Ley Orgánica de Tierra Rurales y Territorios Ancestrales

Tiene como fin normar el uso y acceso a la propiedad de la tierra rural, derecho de propiedad, regular la propiedad, administración y redistribución de la tierra rural, genera ración de un ambiente sustentable y equilibrado entre otros (Ley Orgánica de Tierras y Territorios Ancestrales, 2018, p. 4).

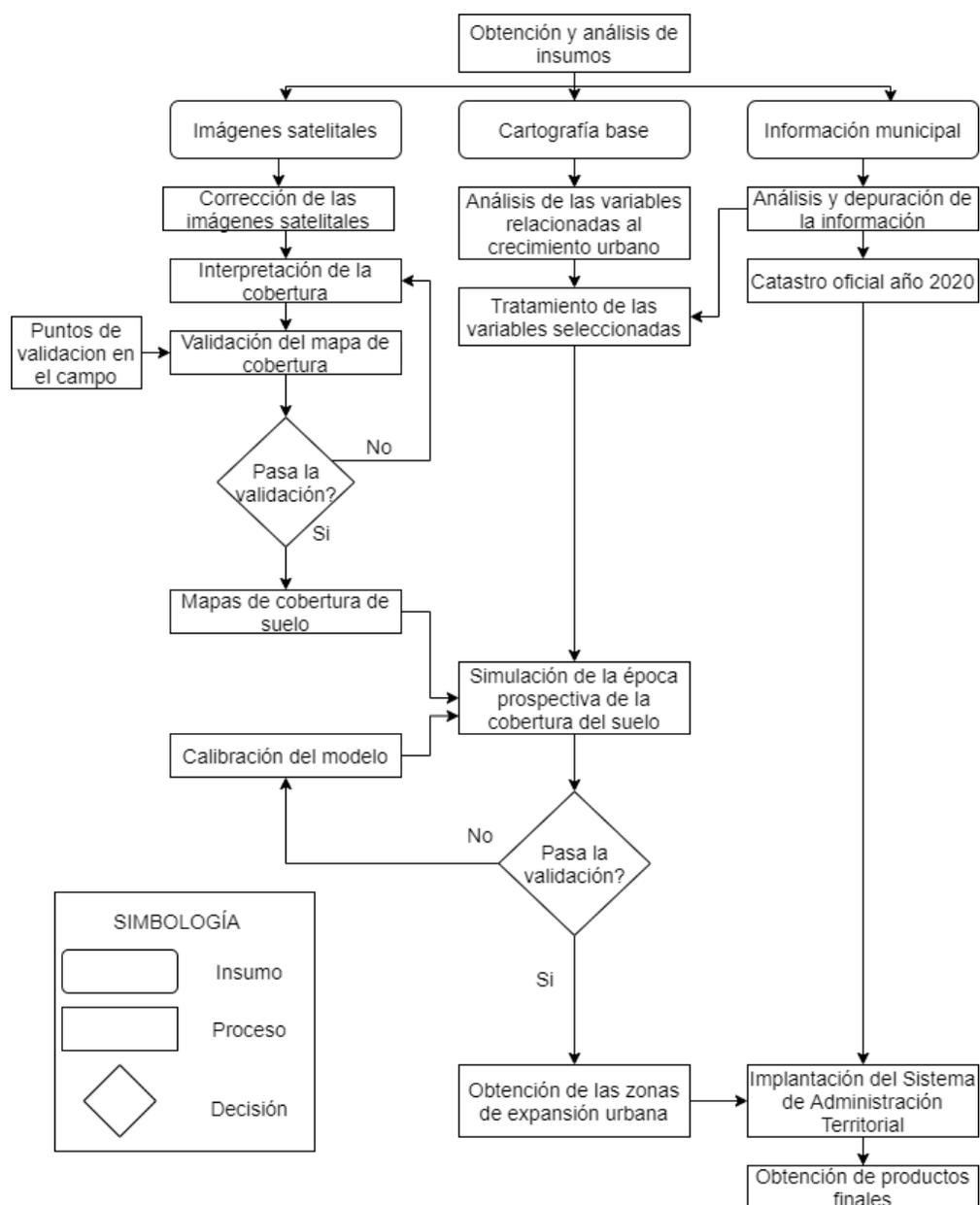
Capítulo III

Metodología

En el siguiente capítulo se describe de manera secuencial y justificada los diferentes procesos realizados para el diseño del propuesto Sistema de Administración Territorial. La metodología descrita de manera general se ilustra en la Figura 13.

Figura 13

Diagrama de flujo para la generación del sistema de administración territorial.



Recopilación de Información

Las imágenes satelitales utilizadas para el estudio, registradas por los sensores: Landsat TM, Landsat 7-ETM +, Landsat 8-OLI TIRS, fueron adquiridas mediante el uso de la plataforma de la Agencia de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) United States Geological Survey, encargada de estudiar la superficie terrestre, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan (USGS, 2018). Además, se incorporó al estudio, imágenes Sentinel 2A-L1C.

Inicialmente para la descargar de las imágenes se realizó una recopilación de todas las fechas disponibles entre los años 1990 hasta 2020, obteniéndose un total de 60 imágenes, sin embargo, para la selección final de las fechas se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Imágenes con características semejantes entre sí.
- Intervalos de tiempos entre imágenes similares.
- Mínima afectación por bandeamiento en las imágenes Landsat 7.
- Imágenes con una cobertura de nubes baja, de tal manera que se minimice la pérdida de la información (León, 2015).

Las ocho imágenes seleccionadas (Tabla 7) cumplieron los parámetros mencionados anteriormente, además, presentaron un rango de cambios evidente de manera que se visualizó la dinámica de manera simple.

Tabla 7

Imágenes utilizadas para el procesamiento y análisis.

Sensor	Año	Mes	Día	Descripción
Landsat 5	1991	10	15	LT05_L1TP_010060_19911015_20170126_01_T1
	1996	7	24	LT05_L1TP_010060_19960724_20170103_01_T1
Landsat 7	2001	11	03	LE07_L1TP_010060_20011103_20170202_01_T1
	2004	12	29	LE07_L1TP_010060_20041229_20170116_01_T1
	2007	2	5	LE07_L1TP_010060_20070205_20170105_01_T1
	2009	9	6	LE07_L1TP_010060_20090906_20161218_01_T1
Landsat 8	2015	9	15	LC08_L1TP_010060_20150915_20170404_01_T1
Sentinel 2	2020	2	11	L1C_T17MQV_A012964_20200211T153912

Escala de Trabajo

Las imágenes satelitales de las misiones, Landsat 7-ETM + y Landsat 8-OLI TIRS, adicional a las bandas multiespectrales de resolución 30 m y la banda termal de 60 m, que para el objeto de estudio no se empleó, tienen una banda pancromática con una resolución de 15 metros empleada para mejorar la resolución espacial y la visualización de la imagen a través de la fusión de imágenes o pansharpened. Sin embargo, al haber utilizado en este estudio la misión Landsat 5 TM, fue un limitante para realizar la técnica ya mencionada, pues no tiene la banda pancromática. Para la imagen Sentinel 2 al contar con tres resoluciones, 10m, 20m y 60m, se realizó un resamplado a 30 m.

Finalmente, se trabajó con una resolución espacial de 30 metros tanto en las misiones Landsat 5,7 y 8 como en la misión Sentinel 2. La escala de trabajo idónea para el presente estudio se basó en lo citado por la Asociación Cartográfica Internacional en Chuvieco (1995) y Pinos (2015), como se describe en la Tabla 8, se estableció en una escala de 1:100 000.

Tabla 8

Resolución espacial de imágenes satelitales y escalas idóneas.

Datos Satelitales	Resolución Espacial	Escala cartográfica máxima
Landsat 5 TM	30 m	1:100.000
SPOT V	2,5 m	1: 5.000
	5 m	1: 10.000
	10 m	1: 15.000
ALOS	2,5 m	1: 5.000
	10 m	1: 15.000

Nota. Tomado de Lencinas & Siebert (2009). *Forest survey based on satellite imagery: spatial resolution and scale.* Revista de Ciencias Forestales Quebracho, 17(1,2), 101-105 ; Chuvieco (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones Rialp,S.A.

Unidad Mínima de Mapeo

Los objetos con dimensiones superiores a los 2 mm a la escala del mapa se representan como objetos, valor conforme al límite de percepción humana de diferenciar objetos a partir de separaciones de 2 mm. De modo que Marquina & Mogollón (2018), Corbelle & Tubío,(2018) y Lencinas & Siebert (2009) en sus estudios proponen que la unidad mínima cartografiable no tiene que ser menor a un cuadrado de 4 mm x 4mm y una longitud de línea de 1 mm respectivamente, valor que garantiza la operatividad cartográfica y legibilidad del mapa, tal como se detalla en la ecuación (4) planteada por Peralvo & Bastidas (2014):

$$UMM = UMC * ET \quad (4)$$

Donde:

- *UMM*: Unidad Mínima de Mapeo
- *UMC*: Unidad Mínima Distinguible
- *ET* : Escala

Se consideró como unidad mínima distinguible (UMC) de 4mm x 4mm y tomando en cuenta que 1 mm en el mapa equivale 100 metros en la realidad para la escala 1:100000. Reemplazando los datos anteriores en la ecuación (4) se obtiene:

$$UMM = \frac{(4mm * 4 mm)x(100x100)}{(1mm * 1mm)}$$

$$UMM = \frac{(16mm^2)x(10000m^2)}{(1mm^2)}$$

$$UMM = 160\,000m^2 * \frac{1ha}{10\,000m^2}$$

$$UMM = 16 ha$$

Procesamiento de Imágenes

Previo a la calibración de las imágenes satelitales se procedió a realizar un enmascaramiento y recorte del área de estudio mediante la herramienta *Build Mask*, con el fin de reducir el tiempo de procesamiento.

Corrección Radiométrica

Para las imágenes Landsat TM, ETM+ y OLIS los niveles digitales medidos por el sensor se convirtieron en niveles de radiancia para cada una de las bandas de la imagen a partir de los coeficientes de calibración del sensor, mediante la herramienta *Radiometric Calibration*, la imagen aparecerá en secciones dependiendo del tipo de banda, en este caso, se seleccionó únicamente las bandas multiespectrales y se designó los valores que se especifican en la Tabla 9.

Tabla 9

Parámetros de calibración radiométrica LANDSAT.

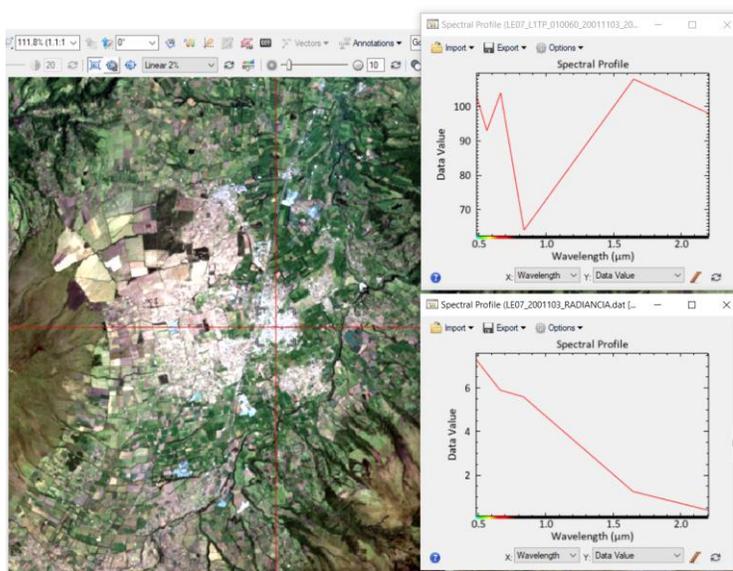
Campo	Valor
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	BIL
Tipo de dato de salida	Flotante
Factor de escala	0.10
Directorio de salida	Nombre y directorio de salida

El producto final fue una imagen con los valores de radiancia, con formato de imagen *.dat y codificación BIL. Para las imágenes Sentinel al tener un nivel de procesamiento L1C presentan valores radiométricos, listos para obtener los valores de reflectancia.

En la Figura 14 se observa la imagen descargada con los valores de los píxeles correspondientes a niveles digitales en números enteros con valores máximos y mínimos. Al convertirlos mediante la corrección radiométrica se obtuvo los valores de radiancia espectral.

Figura 14

Comparación con valores de radiancia.



Nota. Gráfica superior representa la firma espectral de la imagen descargada mientras que en la gráfica inferior se gráfica la firma espectral de la imagen corregida radiométricamente.

Corrección Atmosférica

Para la corrección atmosférica se utilizó el módulo *Quick Atmospheric Correction (QUAC)*, fundamentado en una ecuación lineal de transporte de radiación que determina los parámetros de compensación atmosférica directamente desde la información contenida dentro de la escena, empleando píxeles puros, sin utilizar información auxiliar, generando un producto con la reflectancia corregida (Aguilar Arias et al., 2015).

En el caso de las imágenes Landsat se ejecutó el módulo *Atmospheric Correction*, seleccionando únicamente las bandas multiespectrales y el tipo de sensor Landsat TM/ETM/OLI. Para las imágenes Sentinel 2 se desplegó 3 conjuntos de datos cada uno con diferentes resoluciones espaciales: 10 metros para las bandas B2, B3, B4, B8, 20 metros para las bandas B5, B6, B7, B8A, B1, B12 y 60 metros para las

bandas B1, B9, B10; realizándose la corrección para cada una de las resoluciones con el tipo de sensor correspondiente, como se describe en la Tabla 10 de acuerdo con lo recomendado por Geospace (2019).

Finalmente, las 3 composiciones de bandas se compilaron en un solo producto con el fin de obtener una imagen de 12 bandas a una sola resolución espacial (30 metros), ejecutando *Build Layer Stack*.

Tabla 10

Tipos de sensores para el módulo QUAC en Sentinel 2.

Resolución Espacial	Tipo de Sensor
10 m	Generic/Unknown Sensor
20 m	AISA-ES
60 m	ALI

Las Figuras 15,16 y 17 muestran la radiancia y reflectancia obtenidas en las diferentes coberturas, observándose la diferencia tanto en sus valores como en el comportamiento de sus curvas, demostrando como la longitud de onda en conjunto con la naturaleza del material tiene una influencia directa con la reflectividad espectral.

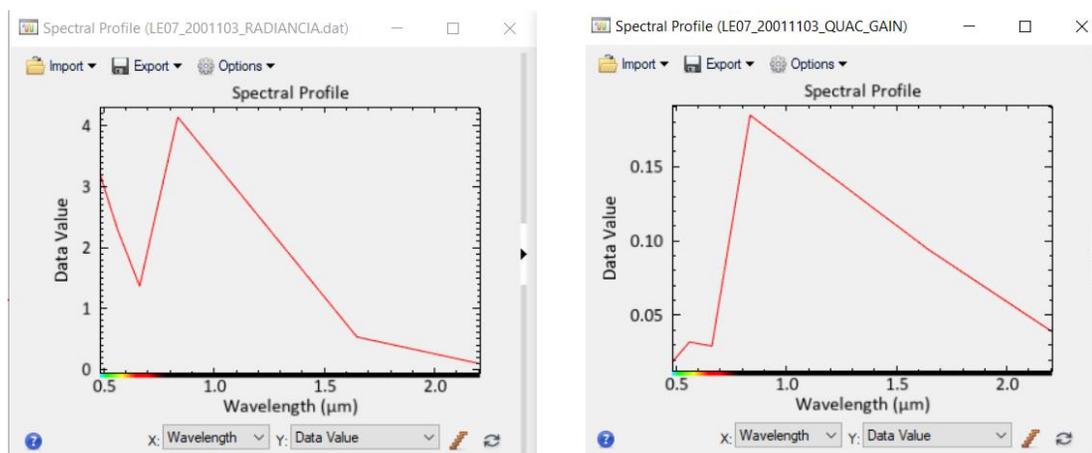
En la Figura 15 se muestra la cobertura Bosque que presenta una alta reflectividad en el infrarrojo cercano (B4) y en el espectro visible presenta un pico de reflectancia (B2-Verde) indicando la absorbancia en la luz visible, esto justificando que la reflectividad de las coberturas vegetales se ubican en la región del espectro visible por la presencia de clorofila.

En la Figura 16 la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea presenta máxima reflectancia en el infrarrojo medio (B7), valor que varía de acuerdo a la presencia de óxidos de hierro o presencia de clorofila en menor proporción

Finalmente, en la Figura17 la cobertura Zona Antrópica alcanza su máxima reflectividad en el infrarrojo cercano (B4), relacionada con el material que posee propiedades físicas distintas por su capacidad de absorción.

Figura 15

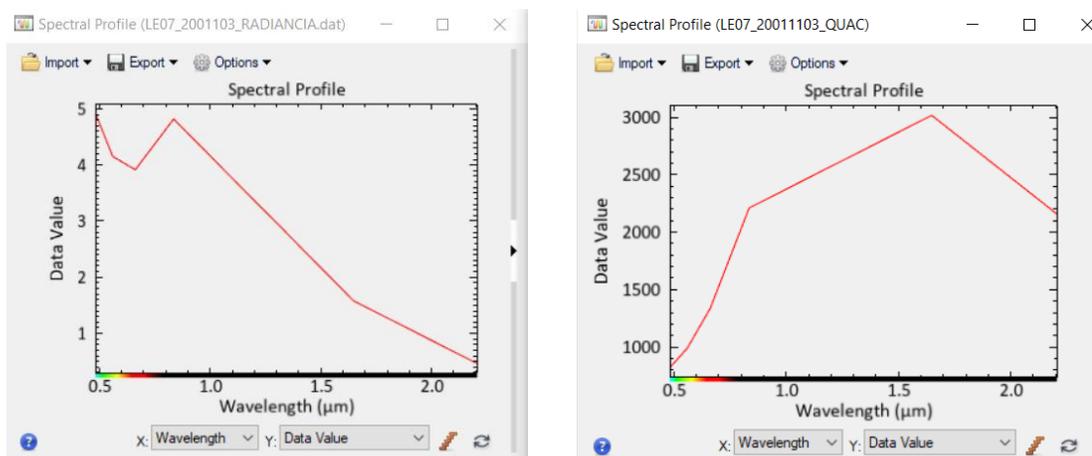
Firma Espectral de la cobertura Bosque.



Nota. Gráfica izquierda representa la radiancia de la cobertura Bosque; en la gráfica derecha se representa la reflectancia de la cobertura Bosque.

Figura 16

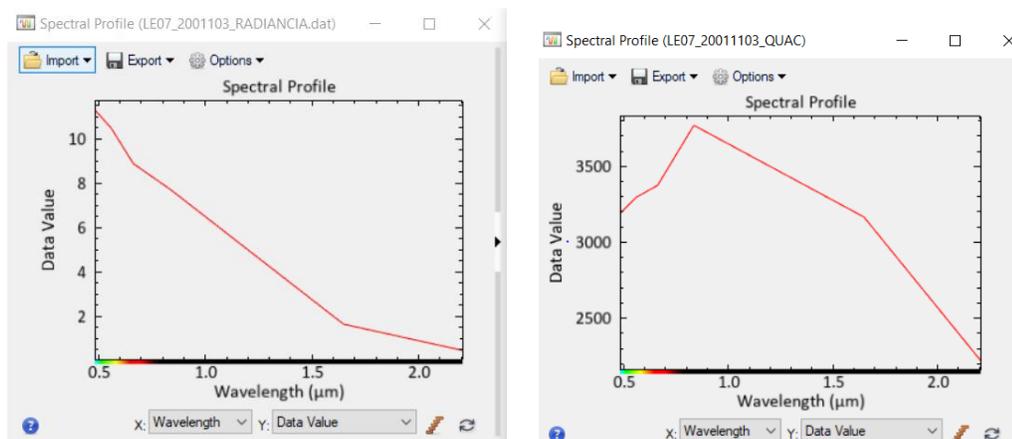
Firma Espectral de la cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea.



Nota. Gráfica izquierda representa la radiancia de la cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea; en la gráfica derecha se representa la reflectancia de la misma cobertura.

Figura 17

Firma Espectral de la cobertura Zona Antrópica.



Nota. Gráfica izquierda representa la radiancia de la cobertura Zona Antrópica; en la gráfica derecha se representa la reflectancia de la misma cobertura.

Re escalado de valores de reflectancia.

De acuerdo con Aguilar, Mora & Vargas (2015); Alzate Giraldo & Sánchez Gómez (2018) al finalizar la corrección atmosférica de cada imagen los niveles digitales (ND) resultantes equivalen a valores de reflectancia, que fueron multiplicados por un factor de conversión, para poder comparar firmas espectrales de imágenes en diferentes sensores en un rango normalizado de 0 a 1, que faciliten almacenar los datos en formatos compactos y permitan realizar una mejor interpretación. En este caso se empleó la ecuación (5) proporcionada por Aguilar, Mora & Vargas (2015); Alzate Giraldo & Sánchez Gómez (2018):

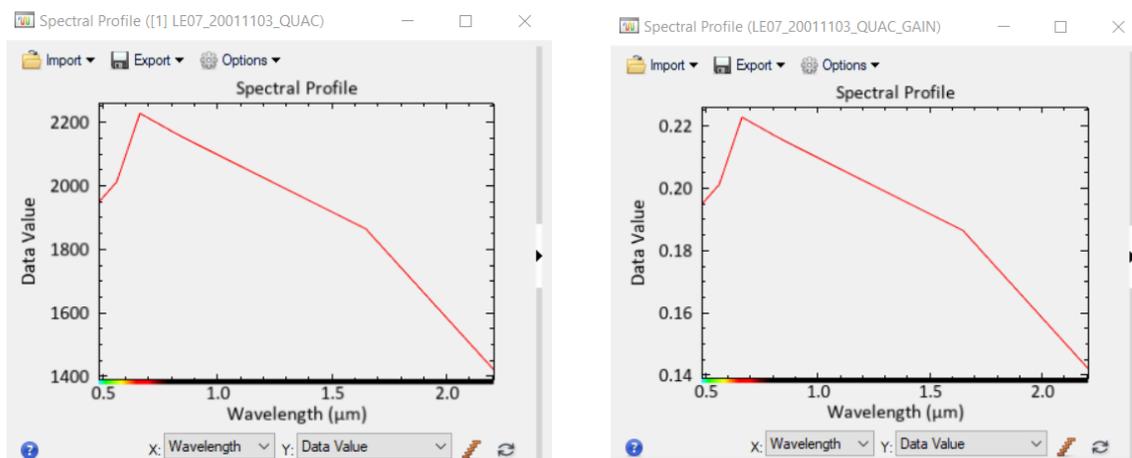
$$(Bx \leq 0) * 0 + (Bx \geq 10000) * 1 + (Bx \geq 0 \text{ and } Bx < 10000) * \text{float}(Bx)/10000 \quad (5)$$

Donde:

- *Bx*: Banda y número de composición
- *le*: Valores menores a 0 que sea igual a 0.
- *ge*: Valores mayores a 10000 se multiplique por 1.
- *lt*: Valores entre 0 a 10000 que tengan valor promedio de 0 a 1.

Figura 18

Valores reescalados visualizados en la firma espectral de la clase Otras Tierras.



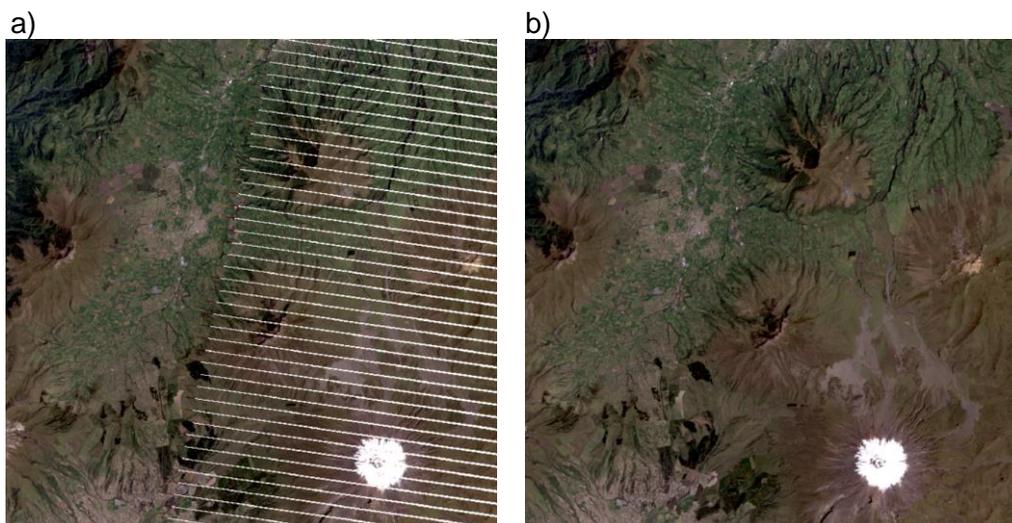
En la Figura 18 se observa los resultados obtenidos con relación a las firmas espectrales, empleada la estandarización de los valores mediante la opción *Band Math* del software ENVI 5.5.3, en donde, se ingresó la ecuación y se seleccionaron todas las bandas de la imagen que fueron empleadas para la normalización.

Restauración de sectores perdidos por bandeamiento

Las imágenes seleccionadas dentro del satélite Landsat 7 ETM + fueron adquiridas con un fallo del Scan Line Corrector (SLC) que compensa el movimiento de avance de Landsat 7 ETM +, provocando trazos en zigzag conocido como bandeamiento que consisten en gaps o líneas de ausencia de información principalmente en las zonas extremas de la imagen. Se realizó la corrección de las escenas, empleando la extensión *GAP_FILL* proporcionada por el software ENVI 5.5.3 en su página web, rellenando estos vacíos con los valores que componen la imagen original calibrada (Figura 19).

Figura 19

Corrección del bandeamiento de la imagen Landsat ETM+.



Nota: a) imagen con bandamiento, b) imagen corregida.

Corrección Geométrica***Calidad del Registro en imágenes Landsat***

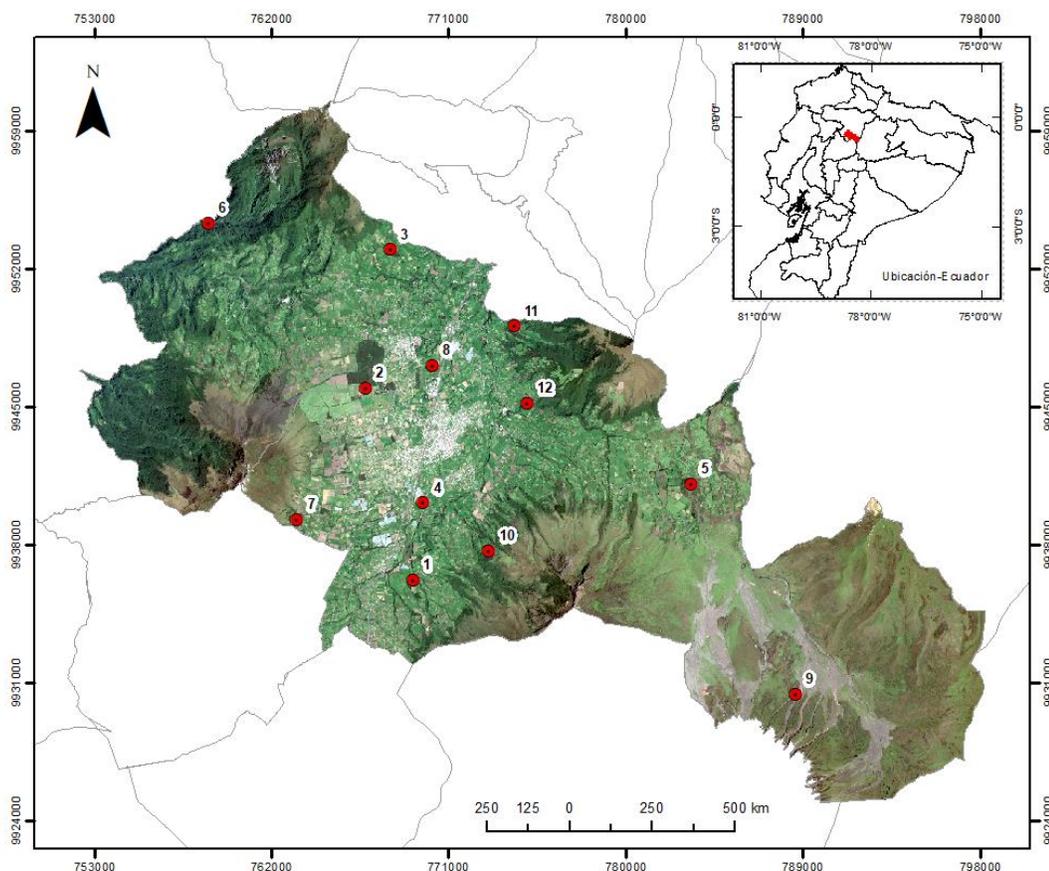
Para generar estudios de cobertura de suelo es necesario que los insumos temáticos empleados no presenten desplazamientos de los objetos comunes entre las imágenes satelitales obtenidas en diferentes fechas, de manera que los productos finales de cambios de cobertura del suelo sean reales y confiables.

Las siete imágenes presentaron un nivel de procesamiento L1T, que son productos con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, que emplean puntos de control terrestre (GCP) y modelos de elevación (DEM), generando una imagen referenciada a una proyección cartográfica, en este caso, referenciada al sistema WGS84, eliminando distorsiones generadas por el sensor (ángulo de visión) o la tierra (relieve, rotación y curvatura); además contienen la corrección topográfica que elimina el desplazamiento del terreno producido por el relieve.

Sin embargo, se distribuyeron un total de 12 puntos en el área de estudio, para cada una de las imágenes con el fin de evaluar su calidad geométrica (Figura 20) , como lo expresa Chuvieco (1995) donde para una zona pequeña, seleccionar entre 10 a 12 puntos y una ecuación de primer grado es suficiente para el ajuste, considerando además el tamaño de la imagen y la magnitud de la distorsión que se quiere modelar (Kirby, 2012).

Figura 20

Imagen Landsat TM (2001-11-03) con la distribución de 12 puntos de evaluación.



La evaluación del registro de las imágenes se realizó únicamente de manera cualitativa, comparando de forma visual las imágenes con los 12 puntos seleccionados como se observa en la Figura 21, dado que la comparación cuantitativa no es posible realizar entre las imágenes por la resolución de 30 metros con la que se está trabajando

e impide seleccionar puntos identificables tales como: intersección de vías y ríos, construcciones, entre otros.

Figura 21

Verificación de los puntos de evaluación entre las imágenes satelitales.



Nota. Gráficas resultado de la comparación entre imágenes Landsat obtenidas en diferentes épocas, evaluadas en función de los 12 puntos de evaluación descartando el desplazamiento entre ellas: a) imagen izquierda: 03/11/2001 vs. imagen derecha: 29/12/2004, b) imagen izquierda: 29/12/2004 vs. imagen derecha: 31/07/2007, c) imagen izquierda: 03/11/2001 vs. imagen derecha: 29/12/2004, d) imagen izquierda: 29/12/2004 vs. imagen derecha: 31/07/2007.

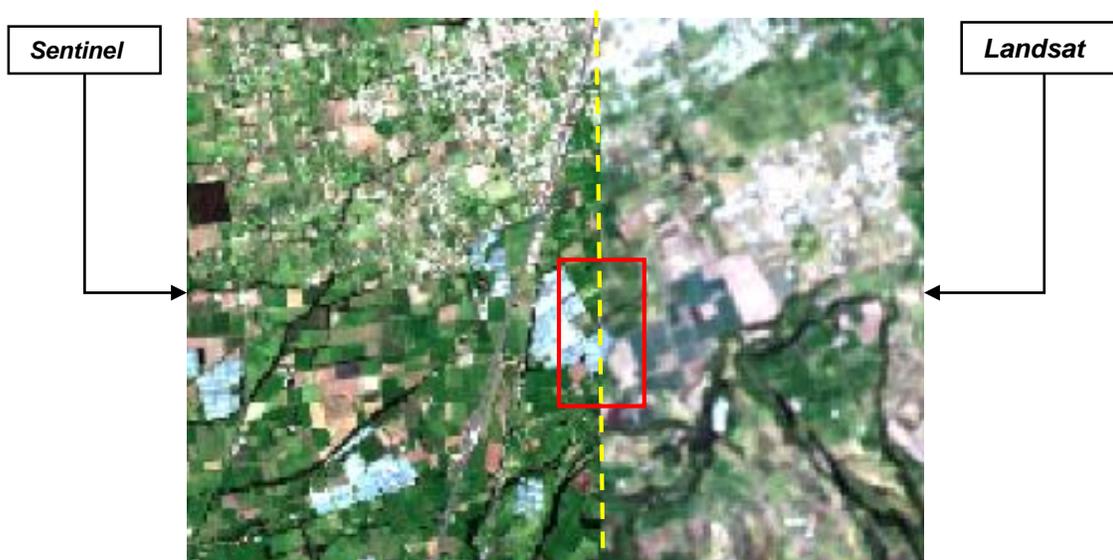
Una vez realizada la evaluación, se determinó dentro del área de estudio que las imágenes procesadas al nivel L1T presentan un registro geométrico adecuado para su procesamiento como se describe en la Figura 21.

Calidad del Registro en imágenes Sentinel

A diferencia de las imágenes Landsat, la misión Sentinel 2 pese a generar imágenes rectificadas y registrar mediciones radiométricas en valores de radiancia; presenta un desplazamiento considerable de los 12 puntos de evaluación, comparadas con las imágenes Landsat (Figura 22), siendo necesario únicamente el corregistro de la imagen desplazada para poder corregir el error visualizado.

Figura 22

Evaluación de los puntos seleccionados entre imágenes Landsat vs. Sentinel.



Nota. Gráfica que indica un desplazamiento entre la imagen Sentinel con la imagen base Landsat al comparar la infraestructura que de acuerdo a su resolución permite ser identificada: imagen izquierda corresponde a una imagen Sentinel 11/02/2020 mientras que la imagen de la derecha corresponde a una imagen Landsat 15/09/2015.

Se empleó la herramienta *Image Registration Workflow* del software ENVI 5.5.3 que permite ajustar la imagen desplazada (imagen Sentinel) en función de una imagen base (imagen Landsat) mediante la identificación manual de 12 puntos de control en común, para este estudio, empleando vistas de lado a lado (Figura 23).

Figura 23

Ubicación de puntos de control en zonas identificables de la imagen Landsat y Sentinel.



Nota: Imagen izquierda corresponde a una imagen Landsat 8 mientras que en la imagen derecha corresponde a una imagen Sentinel 2.

En función de los puntos base seleccionados, el software generó puntos de enlace (*Tie Points*) automáticamente con el método *Cross Correlation* que relaciona objetos de igual similitud entre las dos imágenes comparadas, empleando una función polinómica de primer grado, distribuidos uniformemente sobre el área de estudio, para alinear la imagen desplazada con la imagen de referencia.

Un punto de enlace es una característica que se puede identificar claramente en dos o más imágenes y que se puede seleccionar como punto de referencia, no tienen coordenadas terrestres conocidas, pero puede utilizarlos para extender el control terrestre sobre áreas donde no tiene puntos de control terrestre (GCP).

Se obtuvieron 34 puntos de enlace (*Tie Points*) generados automáticamente con un error de registro menor a un píxel para cada uno de ellos con un RMS promedio de 0.4435, esto supone un error estimado de 13.30 metros, aceptable para el presente estudio, no siendo necesario eliminar los puntos que ofrecían una mayor desviación en las estimaciones.

Figura 24

Evaluación de la corrección del desplazamiento mediante correregistro.



Nota: Imagen izquierda corresponde a una imagen Landsat 8 mientras que en la imagen derecha corresponde a una imagen Sentinel 2.

Al evaluar nuevamente la imagen Sentinel 2 corregida correctamente con la imagen Landsat en función de los 12 puntos de evaluación, ya no se encontró el desplazamiento en puntos identificables (Figura 24), es decir las imágenes se encontraban superpuestas de forma idónea para el análisis multitemporal de las coberturas.

Cobertura del Suelo y Leyenda Temática

La generación de coberturas de suelo en el área de estudio, se basó en las seis categorías de la leyenda temática definida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), considerando únicamente el nivel superior, como se describe en la Tabla 11, para la generación de las áreas de entrenamiento también conocidos como ROI (Region of Interest) en cada clase, planteado de acuerdo con la facilidad de detección de los detalles en las imágenes satelitales dependiente de la escala.

Tabla 11

Leyendas de cobertura del suelo Nivel I y Nivel II.

NIVEL I	NIVEL II
Bosque	Bosque Nativo Plantación Forestal
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual Cultivo Semipermanente Cultivo Permanente Pastizal Mosaico Agropecuaria
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva Vegetación Herbácea Páramo
Cuerpo de Agua	Natural Artificial
Zona Antrópica	Área Poblada Infraestructura
Otras Tierras	Glacial Área sin cobertura vegetal
Sin Información	Sin información

Nota. Tomado de Ministerio del Ambiente (2012); MAE & MAGAP (2015).

Clasificación de Imágenes

Se empleó el método de Máxima Probabilidad o Máxima Verosimilitud principalmente, por dos razones: ya ha sido comprobado en estudios (Benediktsson et al., 1990; Foody, 2004; Mora & Mas, 2008; Quirós, 2009) que no existe diferencia significativa entre los métodos de clasificación con respecto a una fiabilidad estadística significativa; además que el método se lo ha empleado como validación de otros algoritmos de clasificación siendo estos paramétricos o no, de acuerdo a Ouma & Tateishi (2008), Samaniego et al. (2008) o Choi et al. (2008) citado en Quirós (2009).

Selección de áreas de Entrenamiento

Al ser un método estadístico que se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento para la agrupación de píxeles en determinadas clases, como primer paso se identificaron y seleccionaron un número definido de ROI. En cuanto al tamaño de la muestra de acuerdo con Chuvieco (1995) se requiere seleccionar un mínimo de $m + 1$ píxeles por clase donde m es el número de bandas; sin embargo se superó este límite

mínimo tomando en consideración lo planteado por algunos autores tales como Mather,2004; Foody et al.,2006;Van Niel et al. ,2005 citado en Quirós (2009), en el intervalo de 2 a 4 veces el número de bandas espectrales; y el grado de asociación espacial entre píxeles, que afecten los resultados obtenidos en su separabilidad espectral. Adicionalmente, el muestreo fue aleatorio estratificado y homogéneo con campos de pequeños tamaños, a fin de evitar tomar áreas de entrenamiento que involucren píxeles vecinos.

En la selección adecuada de los ROI para cada imagen se empleó la herramienta *Region of Interest (ROI) Tool*, del software ENVI 5.5.3, seleccionándose para las imágenes Landsat TM un mínimo de 14 áreas de entrenamiento, Landsat ETM+ con 16 áreas, Landsat 8 OLI TIRS un mínimo de 22 áreas y Sentinel 2A un mínimo de 24 áreas de entrenamiento por cada clase (Figura 25), empleando combinaciones que permitan identificar de manera más fácil los objetos dentro de la imagen como se describe en la Tabla 12.

Tabla 12

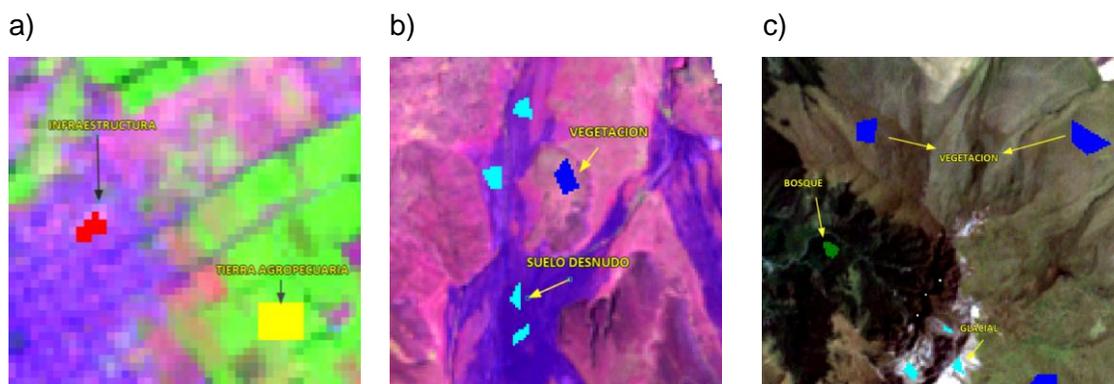
Combinaciones empleadas para la identificación de ROI.

Satélite	Combinación	Descripción
LANDSAT 5 (TM+) LANDSAT 7 (ETM+)	4,3,2	Áreas Urbanas y suelo expuesto en tonos turquesas. Vegetación en color rojo o rosado. Cuerpos de Agua en tono azul.
	5,4,3	Áreas Urbanas y suelo expuesto en tonos rosados. Vegetación en tonalidades verde y rosa. Cuerpos de Agua en color negro.
	7,4,2	Áreas Urbanas en tono magenta. Vegetación en color verde.
LANDSAT 8-OLI TIRS	7,6,4	Áreas Urbanas *
	5,4,3	Vegetación*
	6,5,2	Agricultura*
SENTINEL 2A	8,4,3	Áreas Urbanas*
	12,11,4	Vegetación*
	11,8A,2	Agricultura*

Nota. * Cobertura que mejor se identifica con su respectiva combinación. Tomado de Matellanes (2019). Composiciones RGB de imágenes satélite - Territorio Geoinnova - SIG y Medio Ambiente.

Figura 25

Muestra de selección de ROI en función de las combinaciones.



Nota. Se describe un ejemplo de las combinaciones efectuadas para seleccionar las áreas de entrenamiento: a) combinación 7,4,2 b) combinación 5,4,1 c) combinación 3,2,1.

Separabilidad Espectral

Una vez creados los ROI para cada clase, es indispensable obtener estadísticas de la separabilidad espectral, de manera que se garantice que las muestras de cada clase sean diferentes una de otras. En el caso de presentar valores deficientes es necesario eliminar los ROI que generen una separabilidad baja, para ello se empleó el algoritmo de distancia de Jeffries-Matusita (J-M) que se basa en la distancia de los valores medios de cada clase y su distribución con el fin de determinar el grado de coincidencia entre las medias espectrales (Gonzalez, 2019; Vélez, 2019).

En el reporte de separabilidad aparecerán valores positivos en un rango de 0 a 2. Los valores por debajo de 1.9 representan una separabilidad baja por lo tanto se recomienda verificar las muestras seleccionadas; valores entre 1.9–2 indican una separabilidad alta y valores iguales a 2 una separabilidad idónea (Tabla 13).

Tabla 13

Matriz de separabilidad de regiones de interés para la imagen Landsat 2020.

CATEGORÍA	Bosque	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Otras Tierras
Bosque	-				
Tierra Agropecuaria	2.00	-			
Vegetación Arbustiva y Herbácea	2.00	2.00	-		
Zona Antrópica	2.00	2.00	2.00	-	
Otras Tierras	2.00	2.00	1.96	2.00	-

Nota: Las tablas de los años 1991, 1996, 2001, 2004, 2007 y 2009 se describen en anexos desde el literal A hasta el F.

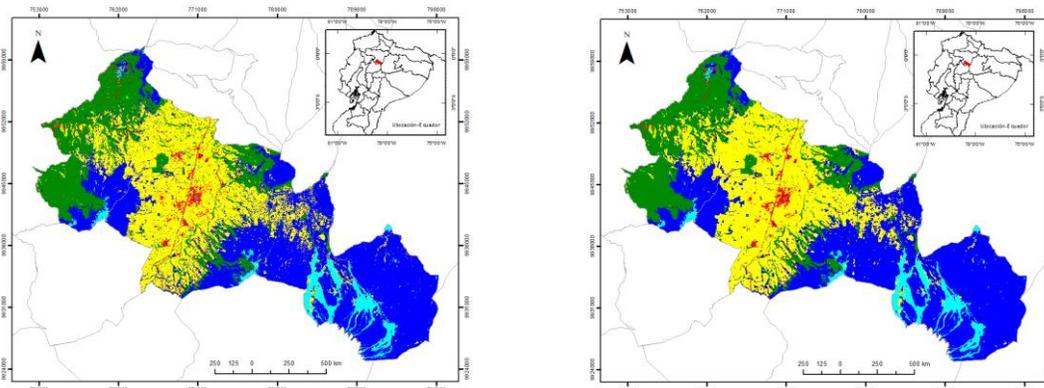
Clasificación Supervisada (Maximum Likelihood)

Una vez determinada una separabilidad alta en todas las imágenes, se procedió a realizar la clasificación supervisada, mediante la herramienta *Maximum Likelihood Classification* en el software ENVI 5.5.3, definiendo el número de clases, el factor de escala igual a 1 por los valores de las reflectancias estandarizadas de 0 a 1 y el nombre de salida.

Posterior se realizó una post clasificación empleando el análisis de minorías/mayorías (*Majority/Minority Analysis*) que emplea una matriz cuadrada que cambia los píxeles dentro de una clase que no ingresan en un tamaño de kernel 3*3 asignándolo a una categoría predominante en píxeles vecinos (Figura 26).

Figura 26

Resultados obtenidos de la clasificación y el filtro que se aplicó.



Nota. Gráfica donde se visualiza la clasificación empleando Maximum Likelihood obtenida de la Imagen Satelital Landsat 7 (derecha) y la gráfica con el filtro Majority/Minority aplicado para reducir el ruido (izquierda).

Evaluación de la Confiabilidad Temática de Mapas o de Imágenes Clasificadas

Para verificar la calidad y validez de la clasificación supervisada, se estimó el índice Kappa a través de la matriz de confusión, identificando los errores de clasificación en concordancia con la realidad mediante la selección de nuevas áreas de interés test; para ello se empleó la información del Mapa de Sistemas Productivos y Cobertura y Uso de la Tierra (cultivos) a escala 1:25000 del año 2015 proporcionado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP), obteniendo nuevas áreas de entrenamiento para el mapa de cobertura 2015.

La validación del mapa de cobertura del año 2020 se realizó mediante la información obtenida a través de puntos de campo GPS empleando la aplicación *Mobile Topographer*, previa planificación, con el fin de obtener áreas de interés lo más próximas a la realidad con relación con las coberturas obtenidas, considerando puntos sobre los cuales no se tenía suficiente certeza, así como áreas que fueron fácilmente identificables (ver anexo G).

Tipo de Muestreo

Para la selección de las muestras prueba tanto en el mapa de cobertura como para la salida de campo, se realizó un muestreo aleatorio estratificado, principalmente por la facilidad de acceso de los sitios de muestreo cercanos a las carreteras y la disponibilidad y selección de estratos con muestras homogéneas, en este caso coberturas, dentro del mapa obtenido del MAGAP.

Diseño de Muestreo

Se definió el número de muestras prueba y su distribución en función de la superficie del área de estudio, los estratos y el grado de confianza. Con el objetivo de determinar la exactitud de cada categoría del mapa de cobertura obtenido a partir de la clasificación, se empleó la ecuación de Cochran (1977) citado en Olofsson et al. (2014). Para la zona de estudio, respecto de las coberturas, se obtuvo un total de 32 muestras, con una distribución balanceada con relación del peso obtenido para cada cobertura en función del área de cada una, como se describe en la Tabla 14.

Tabla 14

Determinación del tamaño de la muestra para los años 2015 y 2020.

Muestreo para la cobertura del año 2015						
Categoría	Área (km²)	Wi	Ui	Si	Wi*Si	Balanceado
Bosque	132,57	0,20	0,9	0,30	0,06	6
Otras Tierras	34,86	0,05	0,6	0,49	0,03	2
Tierra Agropecuaria	244,15	0,36	0,95	0,22	0,08	12
Vegetación	249,24	0,37	0,9	0,30	0,11	8
Zona Antrópica	11,16	0,02	0,6	0,49	0,01	4
Total	671,98	1,00			0,28	
n	5,66	32				

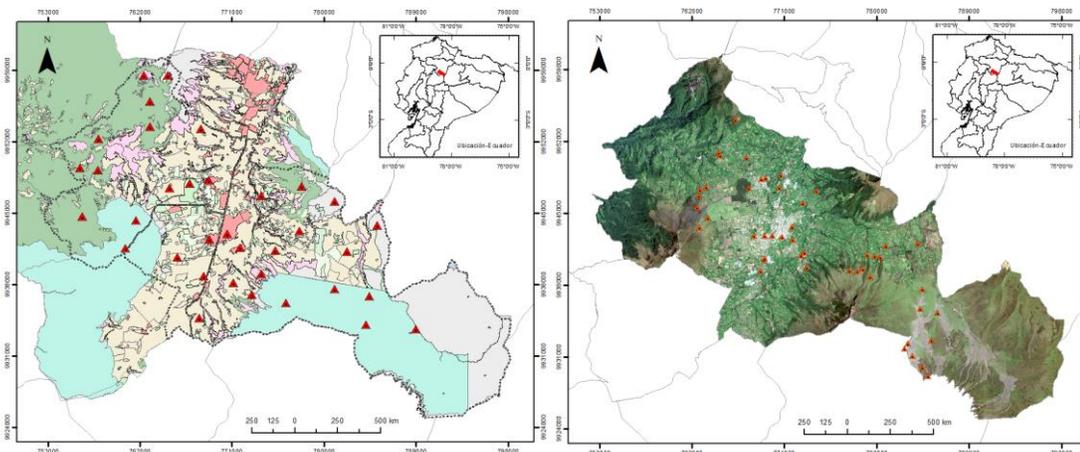
Muestreo para la salida de campo 2020						
Categoría	Área (km²)	Wi	Ui	Si	Wi*Si	Balanceado
Bosque	124,49	0,19	0,9	0,30	0,06	6
Otras Tierras	34,46	0,05	0,6	0,49	0,03	2
Tierra Agropecuaria	250,87	0,37	0,95	0,22	0,08	12
Vegetación	247,72	0,37	0,9	0,30	0,11	8
Zona Antrópica	14,44	0,02	0,6	0,49	0,01	4
Total	671,98	1,00			0,28	
n	5,66	32				

Una vez definidas las áreas de entrenamiento (Figura 27), se empleó la herramienta *Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs* del software *ENVI 5.5.3*, para determinar el grado de exactitud de las clasificaciones.

En función de la escala de valoración de coeficientes Kappa se obtuvo para el mapa de cobertura del año 2015 un valor de 0.83 (Tabla 15), y para el mapa de cobertura del año 2020 un valor Kappa igual a 1 (Tabla 16), que indica un valor casi perfecto, es decir para las dos coberturas se obtuvo una concordancia alta entre las categorías.

Figura 27

Información base tomada como fuente de validación.



Nota. Gráfico en el que se visualiza las áreas de entrenamiento prueba para la validación de los mapas de cobertura del suelo (Izquierda: Áreas de entrenamiento test para el año 2015; Derecha: Áreas de entrenamiento test para el año 2020).

Tabla 15

Matriz de Confusión para el Mapa de Cobertura 2015.

Clase	Vegetación	Bosque	Otras Tierras	Tierras Agrop.	Zona Antrópica
Vegetación	7	0	0	0	0
Bosque	0	5	0	0	0
Otras Tierras	1	0	1	0	0
Tierra Agropecuaria	0	1	1	12	1
Zona Antrópica.	0	0	0	0	3
Total	8	6	2	12	4
Kappa Coefficient	0.83				

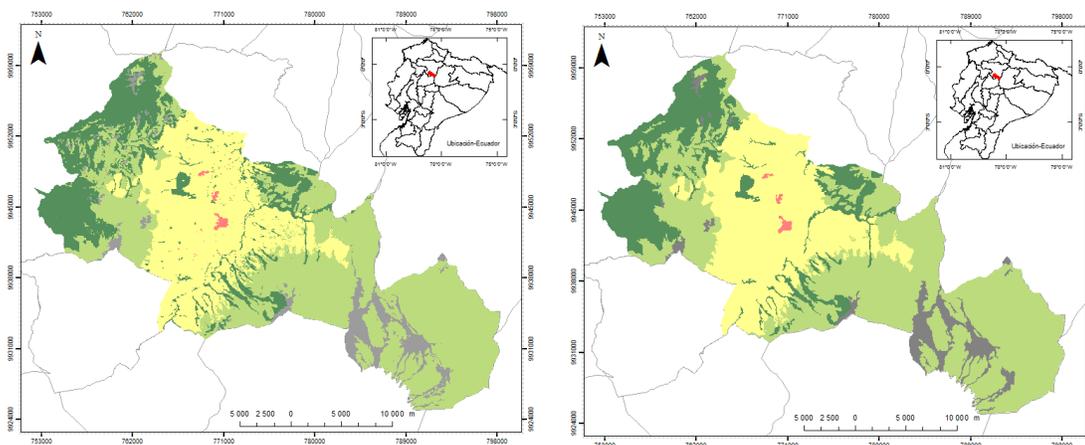
Tabla 16

Matriz de Confusión para el Mapa de Cobertura 2020

Clase	Vegetación	Bosque	Otras Tierras	Tierras Agrop.	Zona Antrópica
Vegetación	8	0	0	0	0
Bosque	0	6	0	0	0
Otras Tierras	0	0	2	0	0
Tierras Agrop.	0	0	0	12	0
Zona Antrópica	0	0	0	0	4
Total	8	6	2	12	4
Kappa Coefficient	1				

Edición Final de Mapas de Cobertura del Suelo

Con el objetivo de depurar los ruidos restantes producto del proceso de clasificación, se empleó la herramienta *Eliminate* del *Arctoolbox* del Software *ArcMap 10.4.1*, para de eliminar los segmentos menores a 16 ha, valor en función de la unidad mínima de mapeo descrita en la ecuación (4), asignándolos al área que comparte una mayor área, es decir, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados, caso contrario se dificulta la distinción por parte del usuario (M. A. López, 2012). Obteniéndose finalmente los mapas de cobertura de suelo para cada año como se observa en la Figura 28.

Figura 28*Mapa de cobertura de suelo del año 1991.*

Nota. Izquierda: Sin edición final, Derecha: Con edición final.

Simulación del crecimiento urbano

Sala et al.(2000) sostiene que el cambio en la cobertura del suelo se ha convertido en una herramienta para la modelación de escenarios prospectivos muy potente, permitiendo un análisis multitemporal que ayuda en la toma de decisiones. Para la simulación de la mancha urbana de las parroquias de Mejía se utilizó el programa Dinámica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), debido a su alta aplicabilidad en estudios de modelado en distintos ámbitos, donde demuestra ser una herramienta flexible e interactiva para los fines de estudio (Mas et al., 2011).

Una vez obtenidos los mapas de cobertura de suelo de los diferentes años, para poder determinar el comportamiento del crecimiento de la cobertura “Zonas Antrópicas” fue necesario realizar una simulación con las capas de cobertura y variables que podrían influenciar en el nuevo suelo urbano para conseguir una mayor exactitud del modelo de predicción.

Selección de variables

La definición de las variables se consideró a partir de estudios previos de varios autores: Díaz Urrutia & Domínguez (2014); García et al. (2008); Santacruz (2015); León (2015); Jami (2019); Arellano & Castro (2019), entre otros, y se adecuó principalmente en función de los componentes planteados en la Guía para formulación/actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) parroquial propuesto por la Secretaría Técnica Planifica Ecuador (2019). Se evaluó la información disponible, obteniéndose datos de los siguientes componentes: biofísico, sociocultural, asentamientos humanos y movilidad. Se tomó principalmente en cuenta criterios ambientales para la localización de suelo de expansión urbana, con el objetivo de evitar impactos negativos en el medio ambiente, especialmente en áreas de conservación o zonas de alto riesgo; además de factores que influyen sobre el desarrollo urbano sobre

el territorio, como lo son redes viales, equipamientos, infraestructura de servicios entre otros (Tabla 17).

Tabla 17

VARIABLES EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL SUELO URBANO.

Componente	Variable	Normativa	Fuente	Escala
Biofísico	Altura	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	MDT generado por Instituto Geográfico Militar	10 m
	Pendiente	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Elaboración propia como base MDT	-
	Ríos	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Áreas naturales	Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Susceptibilidad Volcánica	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Sistema Nacional de Información /IGENP	1:50000
	Capacidad de uso del suelo	Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	Instituto Espacial Ecuatoriano/ Instituto Geográfico Militar	1:25000
	Movimiento de Masa	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Sistema Nacional de Información /STGR	1:50000
	Susceptibilidad a Erosión	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Sistema Nacional de Información /MAGAP	1:50000
	Susceptibilidad a Inundación	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Sistema Nacional de Información /MAGAP	1:50000
Sociocultural	Centros Educativos	Reglamento a la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales	Sistema Nacional de Información/ MINEDUC	1:50000
	Cementerio	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Estadio	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Cancha	Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Centros de Salud	Reglamento a la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales	Sistema Nacional de Información /MSP	1:50000
Movilidad	Vías Secundarias	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Vías Principales	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
Asentamientos Humanos	Poblados	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo	Instituto Geográfico Militar	1:50000
	Servicios Básicos	Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización	Instituto Espacial Ecuatoriano/ Instituto Geográfico Militar	1:25000

Nota. Descripción de las variables tomadas en relación al marco legal vigente y de acuerdo a lo descrito por Jami (2019).

Descripción de las variables

Variables asentamientos humanos, movilidad y socioculturales

Las distancias a centros poblados y vías se consideró por la influencia directa que ejercen en los cambios que puedan generar sobre la cobertura del suelo; además de que la conectividad a través de redes viales permite dotar de servicios básicos, transporte entre otros beneficios a la población.

Las variables que conforman equipamientos (salud, educación y recreación) generan un desplazamiento de la población, por lo tanto, se analizó en función de la distancia a cada uno estos lugares; de igual manera, la distancia a infraestructura básica (alcantarillado, energía eléctrica y agua potable) que es importante en el territorio apto para los asentamientos humanos, teniendo en cuenta que mientras más próximos se encuentren de los mismos, mayor concentración de la población existirá.

Variables Biofísicas

a) Ríos

Se considera los factores ambientales como la distancia a ríos y quebradas con relación a sus franjas de protección definidas por el GAD Mejía en el año 2017, donde se establece un retiro mínimo de 10 metros a cada lado del cauce del río considerando las cercanías como zonas vulnerables de inundación o deslizamientos. De esta forma se busca el desarrollo urbano hacia zonas sin riesgo.

- Susceptibilidad a inundación

Importante por la definición de áreas propensas a ser afectadas por el desbordamiento de ríos o producto de fuertes precipitaciones, por lo que las zonas cercanas presentan una restricción con relación al uso urbano.

- *Susceptibilidad a deslizamiento*

Involucra zonas inestables que pueden afectar a los asentamientos humanos, de esta manera el uso urbano presentará menor probabilidad en zonas que sean más propensas a movimientos de masa.

b) *Altitud*

La población se ubica y realiza sus actividades principalmente sobre zonas de baja a media altura es decir alturas hasta 2900 msnm, evitando las partes altas que representan alturas mayores a los 3000 msnm por el tipo de vegetación y su capacidad de uso (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, 2014), estos aspectos están relacionados con la temperatura y la precipitación, que condicionan el crecimiento de especies nativas y cultivos.

c) *Pendiente*

Variable que beneficia directamente las zonas ubicadas en bajas pendientes que se encuentran por debajo del 30 % o 8°, facilitando el desarrollo de actividades productivas mientras mayor sea el grado de la pendiente es más difícil acceder y menor es la probabilidad que aporte la variable al crecimiento urbano, sin embargo, no se descarta que ocurra.

d) *Áreas Protegidas*

Con relación a las zonas consideradas como áreas protegidas a través del cálculo de la distancia euclidiana se busca restringir la urbanización en distancias cercanas a áreas con un alto valor ambiental y ecológico.

e) *Capacidad de Uso*

Hace referencia a aquellos suelos que presentan zonas de mayor aptitud para la conservación, agricultura, ganadería entre otras actividades, de la misma forma, zonas con menor potencial y con ciertas limitaciones al aprovechamiento productivo.

La información que se encuentra en formato ráster, se evaluó en función de las limitaciones de uso de suelo agrícola y forestal, de manera que el crecimiento urbano sea proyectado sobre áreas que no presenten afectación sobre su capacidad.

f) Susceptibilidad a erosión

Condicionada por la pendiente y el uso de suelo que entre sus rangos altos a muy altos representan un suelo desprovisto de vegetación; mientras que para rangos entre ligeros a moderados está ligada a suelos agrícolas, matorrales y bosque. Para el análisis se buscó que la simulación del crecimiento se proyecte en condiciones donde se pueda aprovechar las superficies erosionadas que por el proceso de desertificación ha provocado la reducción de la vegetación, con el objetivo de generar una limitación de la expansión y un equilibrio, cuidando zonas naturales que aún no se encuentran erosionadas.

g) Peligro Volcánico

Variable importante al momento de considerar los diferentes peligros volcánicos como son la emisión de flujos piroclásticos, lahares y caída de ceniza, que pueden afectar a los asentamientos humanos aumentando su vulnerabilidad tanto como las infraestructuras

Clasificación de variables

Como lo cita Arellano & Castro (2019), las variables que influyen en el crecimiento urbano, se pueden clasificar dependiendo del tipo de descripción, análisis y enfoque. De manera generalizada se clasifican en (Tabla 18):

- *Variables de tipo categóricas*: Clasifican a los sujetos distribuyéndolos en grupos, de acuerdo con algún atributo previamente establecido.
- *Variables de tipo continuas*: Miden atributos que toman un número infinito de valores.

Tabla 18

Descripción de variables utilizadas en la simulación.

Variable	Descripción	Tipo
Biofísicas	Altura	Continua
	Pendiente	Continua
	Distancia a Ríos	Continua
	Distancia a áreas naturales	Continua
	Susceptibilidad Volcánica	Categoría
	Capacidad de Uso	Categoría
	Movimiento de Masa	Categoría
	Distancia a zonas propensas a Inundación	Continua
	Susceptibilidad a Erosión	Categoría
Socioeconómicas	Distancia a Centros Educativos	Continua
	Distancia a Cementerio	Continua
	Distancia a Estadio	Continua
	Distancia a Cancha	Continua
	Distancia a Centros de Salud	Continua
	Distancia a Vías Secundarias	Continua
	Distancia a Vías Principales	Continua
	Distancia a Poblados	Continua
	Servicios Básicos	Continua

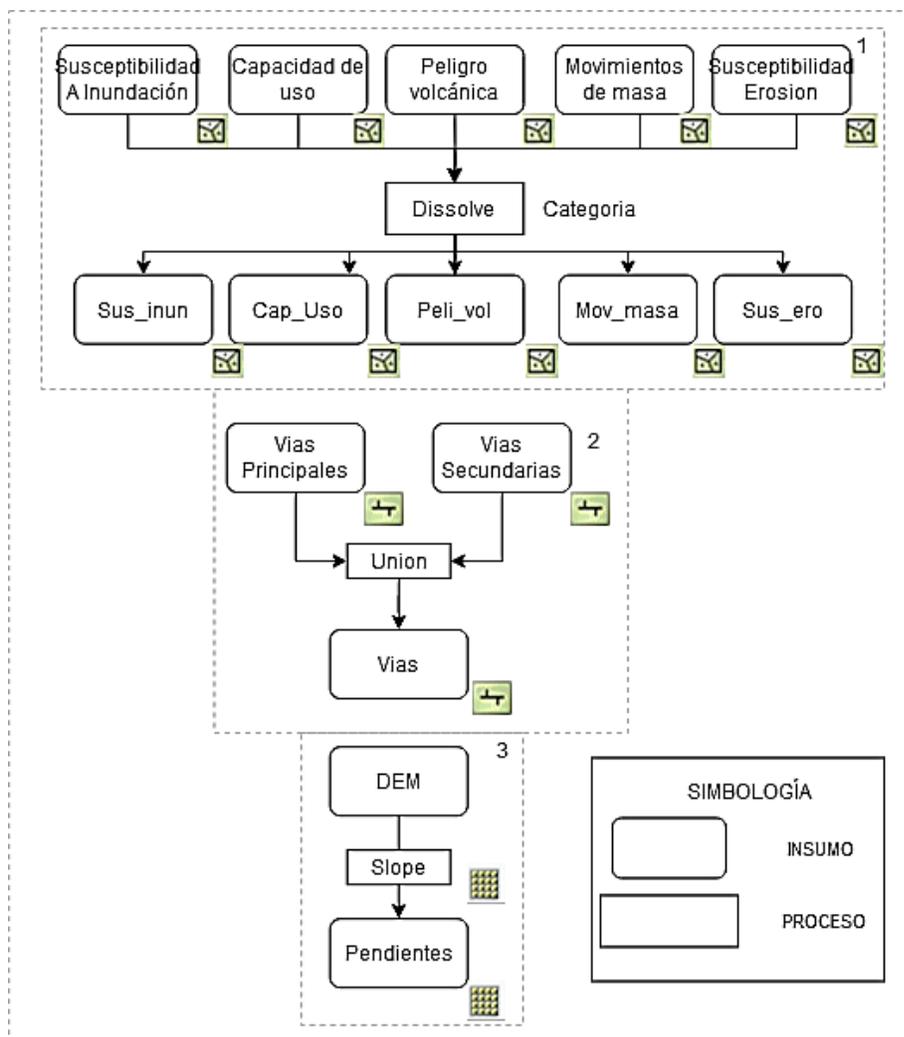
Nota. Variables definidas en función de los estudios elaborados por Salazar et al. (2020); Arellano & Castro (2019); Jami (2019); Plangg Riegel et al. (2019).

Tratamiento de las variables explicativas

Como se indica en la Figura 29, en las variables: peligro volcánico, capacidad de uso del suelo, movimiento de masa, susceptibilidad a inundación y susceptibilidad a erosión, se simplificó los datos basado en la categoría de cada capa vectorial.

Figura 29

Diagrama de flujo del proceso empleado en las variables.

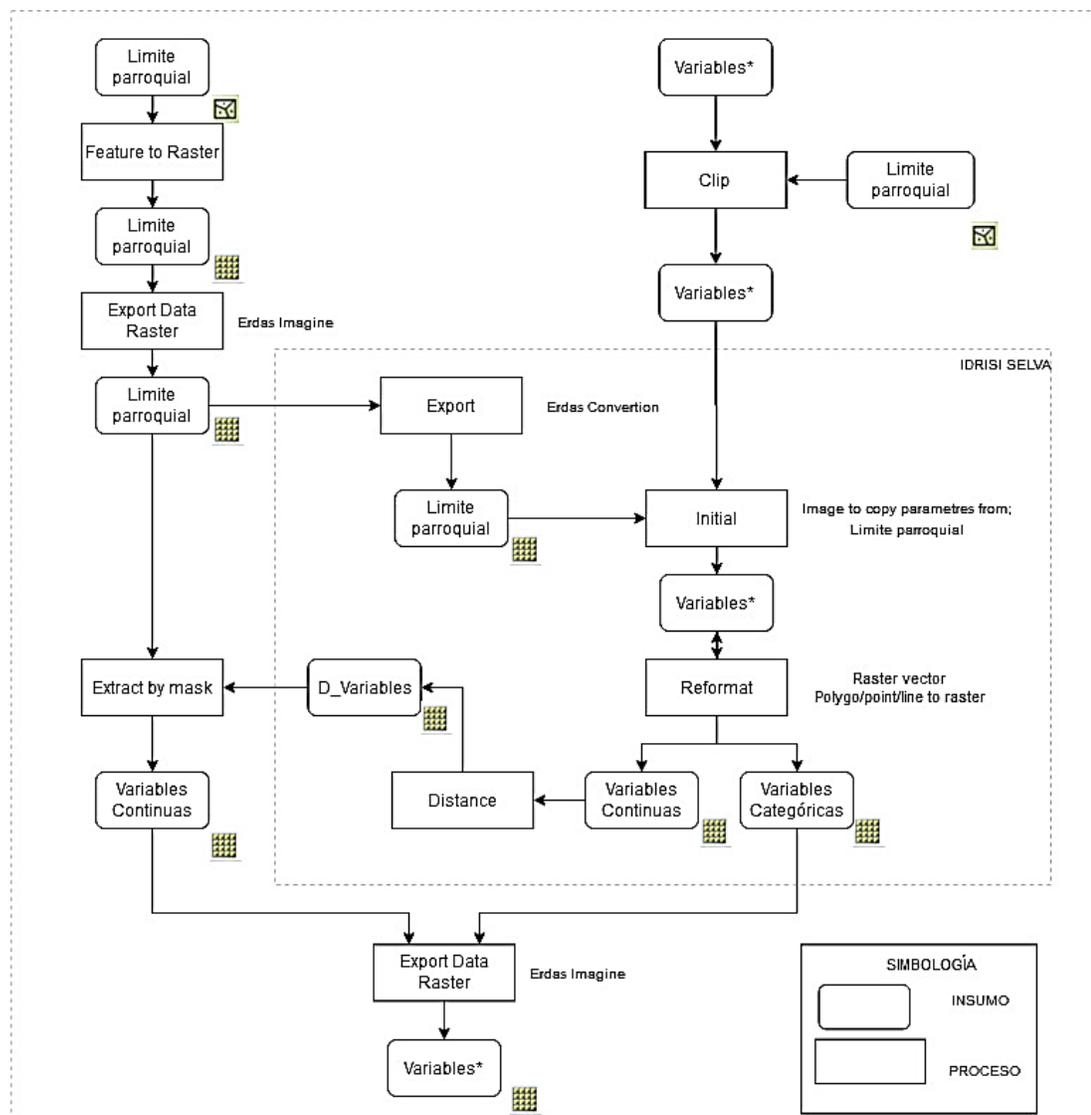


Para las variables: vías principales y vías secundarias se realizó una unión de capas con el fin de trabajar con un solo archivo. Finalmente, en el modelo digital de elevación, se aplicó la herramienta slope para obtener una capa ráster de pendientes.

Las variables se sometieron a la conversión de las capas vectoriales a ráster, para conseguir la homogenización del número de fila y columnas, píxeles, sistema de proyección, estandarización del valor nulo en todas las capas, el tipo de datos, número de bits y el rango (Espinoza, 2017) como se indica en la Figura 30.

Figura 30

Diagrama de flujo para la obtención de las variables normalizadas.

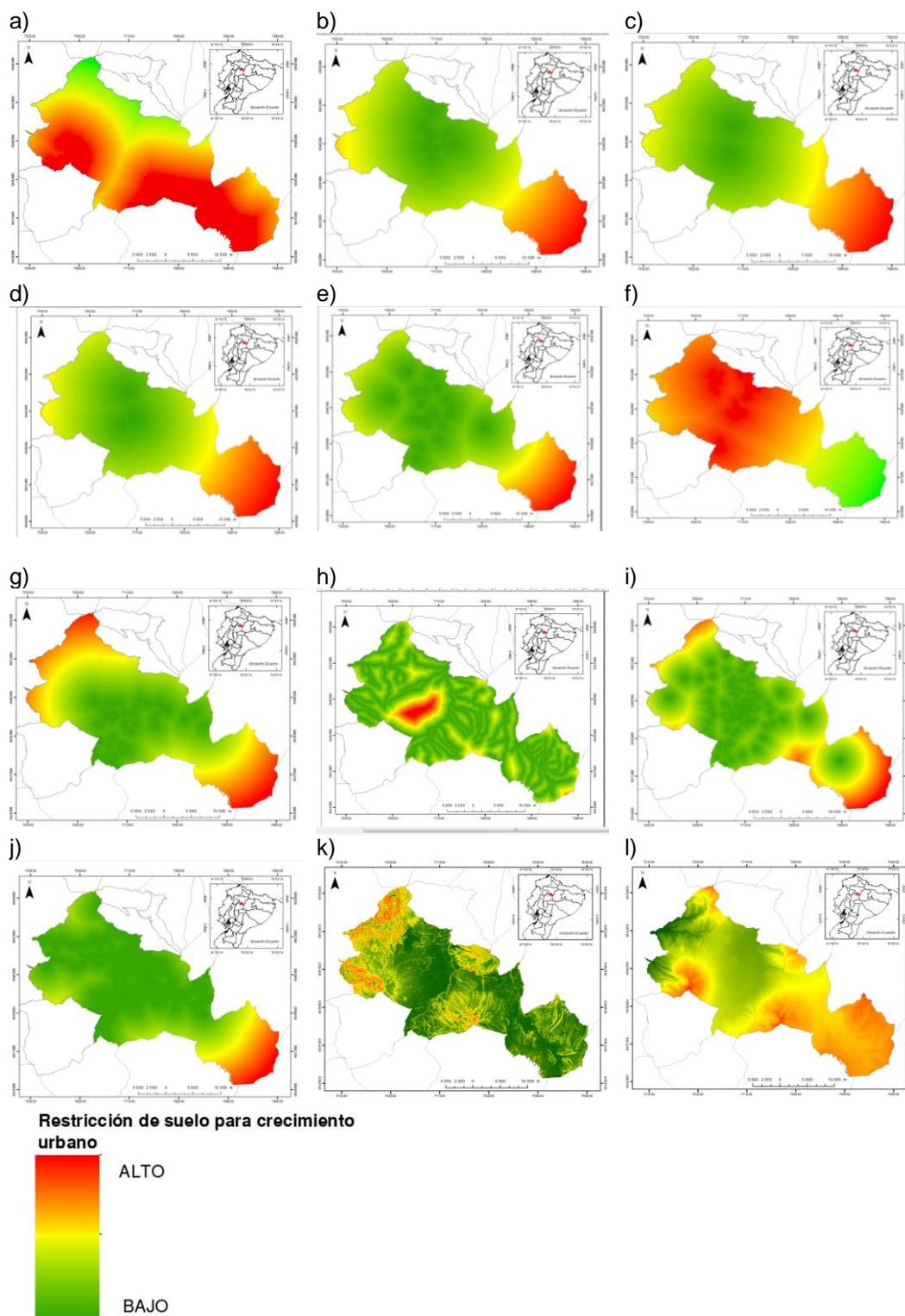


Nota. Variables* se refiere a todas las variables explicativas enumeradas en la Tabla 17.

Para cada variable continua se calculó la distancia euclidiana (Figura 31) que describe la relación de cada celda con el punto origen basándose en la distancia de la línea recta, es decir, es la distancia desde cada celda en el ráster hasta el origen más cercano (Benayas, 2016).

Figura 31

Conjunto de variables continuas utilizadas en la simulación.



Nota. Conjunto de variables normalizadas. a) distancia a áreas naturales, b) distancia a áreas recreativas, c) distancia a cementerios, d) distancia a centros de salud, e) distancia a centros educativos, f) distancia a zonas propensas a inundaciones, g) distancia a poblados h) distancia a ríos y quebradas, i) distancia a disponibilidad de servicios básicos, j) distancia a vías, k) Pendiente, l) Altitud.

Por otro lado, en las variables categóricas (Figura 32) se estandarizaron los rangos tal como se describe en la Tabla 19, de manera que la visualización de cada categoría sea correcta.

Tabla 19

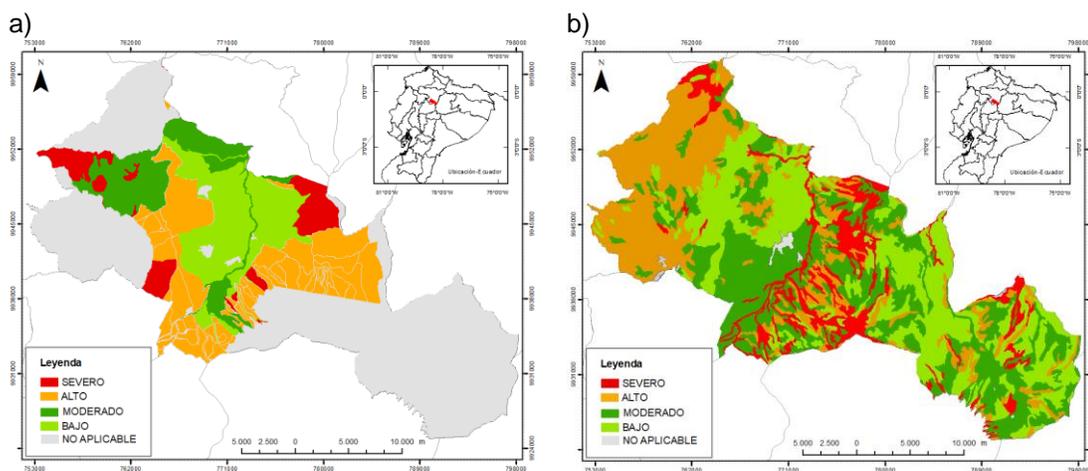
Estandarización de clases para cada variable categórica.

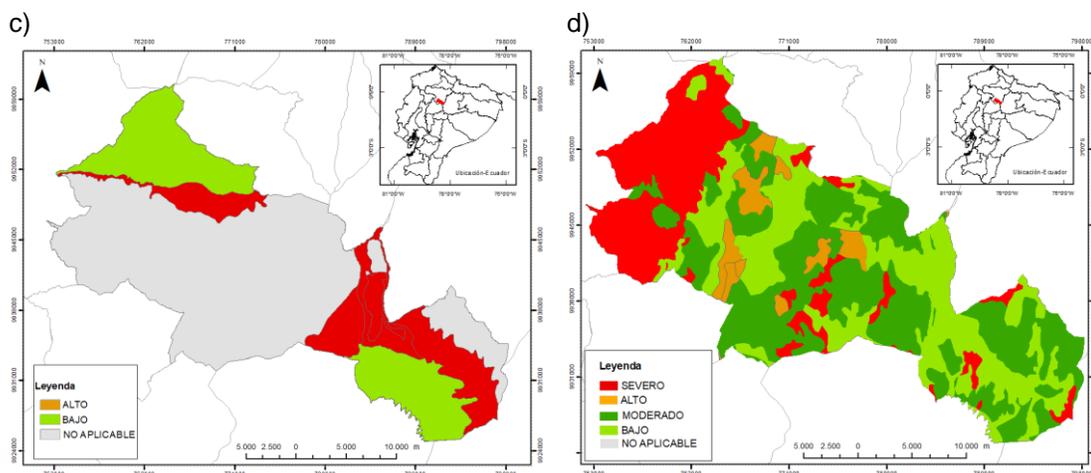
	Susceptibilidad a Movimientos de masa	Peligro volcánico	Capacidad de uso agropecuario y forestal	Susceptibilidad a Erosión
Severo	1	1	1	1
Alto	2	2	2	2
Moderado	3	3	3	3
Baja	4	4	4	4

Nota. La variable Susceptibilidad a Inundaciones se analizó en función de la distancia a las zonas propensas de inundaciones por lo tanto no fue necesario una estandarización.

Figura 32

Conjunto de variables categóricas utilizadas en la simulación.





Nota. Conjunto de variables normalizadas, a) capacidad de uso, b) susceptibilidad a erosión, c) peligro volcánico, d) movimientos de masa.

Generación del modelo predictivo de crecimiento urbano

La proyección de la cobertura de suelo para el año 2030 se realizó teniendo en cuenta a Soares Filho et al. (2009), que mencionan que el proceso se puede resumir en tres fases: Calibración, validación y simulación.

Para la simulación de cobertura de suelo del año 2030, se utilizó 7 períodos distintos (Tabla 20) con el fin de alcanzar un mejor resultado y siguiendo la metodología propuesta por Plangg Riegel et al. (2019). que se muestra en la Figura 33.

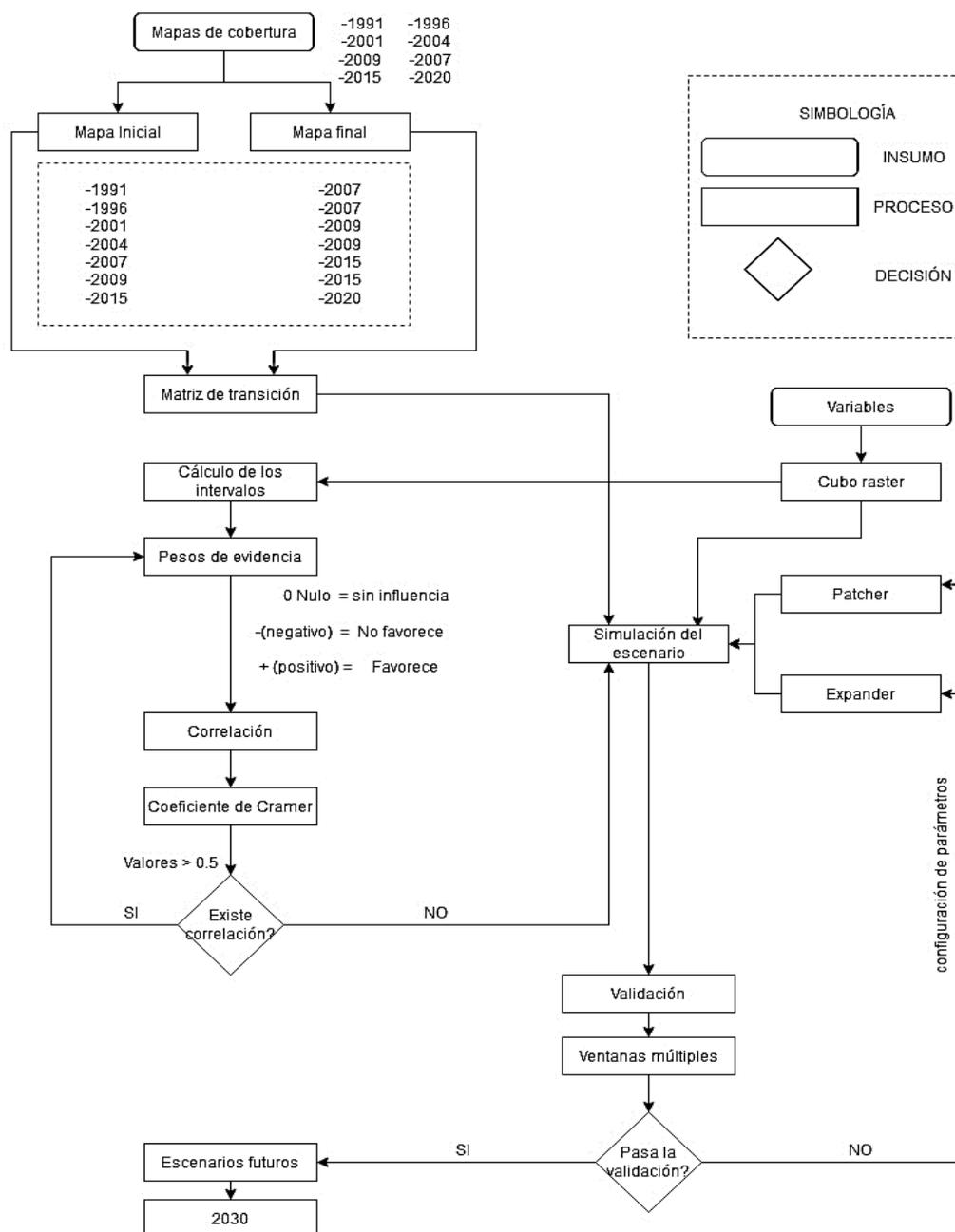
Tabla 20

Períodos de análisis para la simulación de la cobertura de suelo del año 2030.

Período	Fecha Análisis (t_0)	Fecha Análisis (t_1)
I	1991	2007
II	1996	2007
III	2001	2009
IV	2004	2009
V	2007	2015
VI	2009	2015
VII	2015	2020

Figura 33

Diagrama de Flujo de la metodología aplicada en Dinámica EGO.



Para el desarrollo del modelo basado en Autómatas Celulares se empleó el sistema de clasificación aplicado por Linares et al. (2014) reclasificando los ocho rásters en productos binarios (0/1) de dos clases: urbanizada y no urbanizada.

De acuerdo al MAE & MAGAP (2015) la cobertura de Zona Antrópica está conformada por áreas pobladas e infraestructura, por lo tanto, se ubicó en la clase “Urbanizada”, mientras que, para la clase “No Urbanizada” se incluyeron las coberturas de: Bosque, Tierra Agropecuaria, Vegetación Arbustiva y Herbácea, Cuerpos de Agua y Otras Tierras, tal como se evidencia en la Tabla 21.

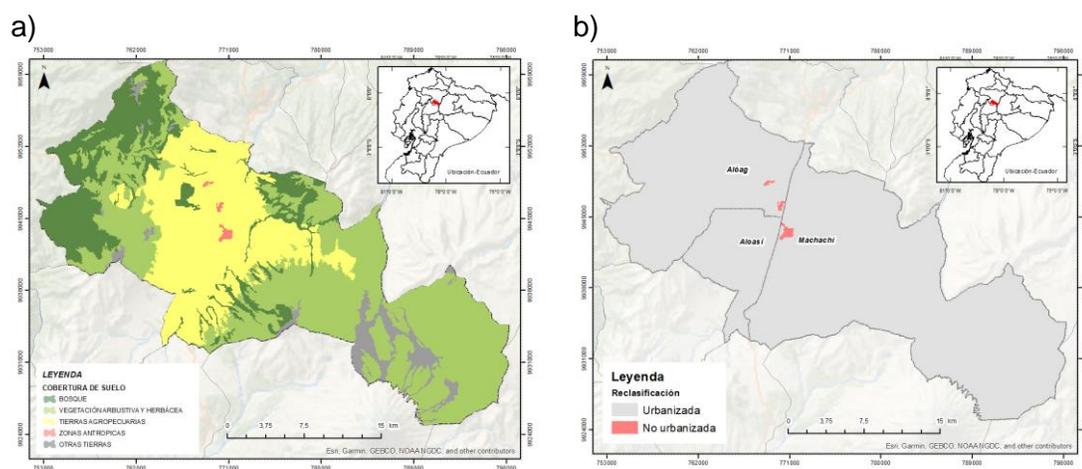
Tabla 21

Reclasificación de las coberturas de suelo.

Cobertura	Reclasificación	Reclasificación
Bosque	No Urbanizada	0
Otras Tierras	No Urbanizada	0
Tierra Agropecuaria	No Urbanizada	0
Vegetación	No Urbanizada	0
Zona Antrópica	Urbanizada	1

Figura 34

Reclasificación de las coberturas de suelo.



Nota. a) Cobertura de suelo con 5 clases (Bosque, Vegetación Arbustiva y Herbácea, Tierra Agropecuaria, Zona Antrópica y Otras Tierras). b) Cobertura de suelo reclasificada en 2 clases (Urbanizada y No Urbanizada).

Generación del cubo ráster

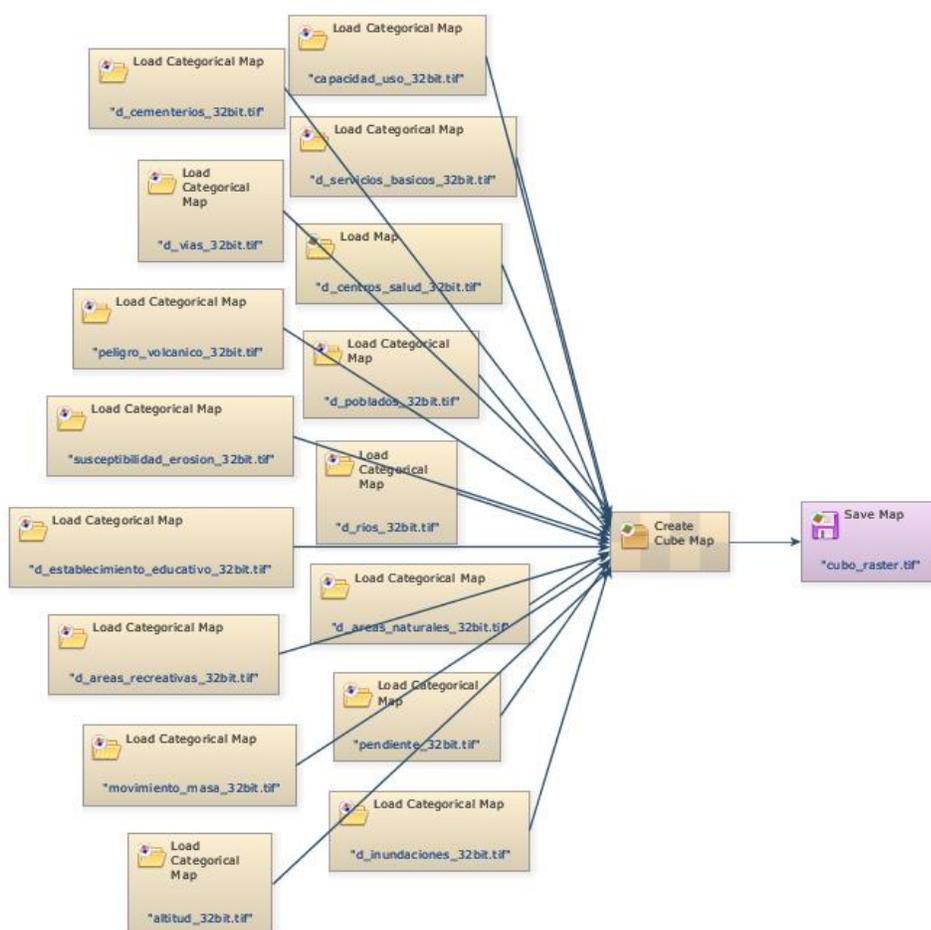
Como parte inicial para la simulación del crecimiento urbano fue importante estandarizar las variables como se describió anteriormente. Para cada cobertura se definió el mismo número de filas y columnas, al igual que el tamaño de píxel con un

valor de 30 m, mismo sistema de proyección precisándose para este estudio WGS84 Zona 17 Sur y los valores que se consideren nulos “null”.

Una vez realizada la estandarización de todos los insumos de entrada se creó un cubo ráster con todas las variables continuas y categóricas (Figura 35). Este archivo ayudó a tener una serie de elementos estáticos en donde sus atributos no cambian a lo largo de los procedimientos e iteraciones del modelo (Soares Filho et al., 2009).

Figura 35

Modelo del Cubo Raster, con todas las variables.



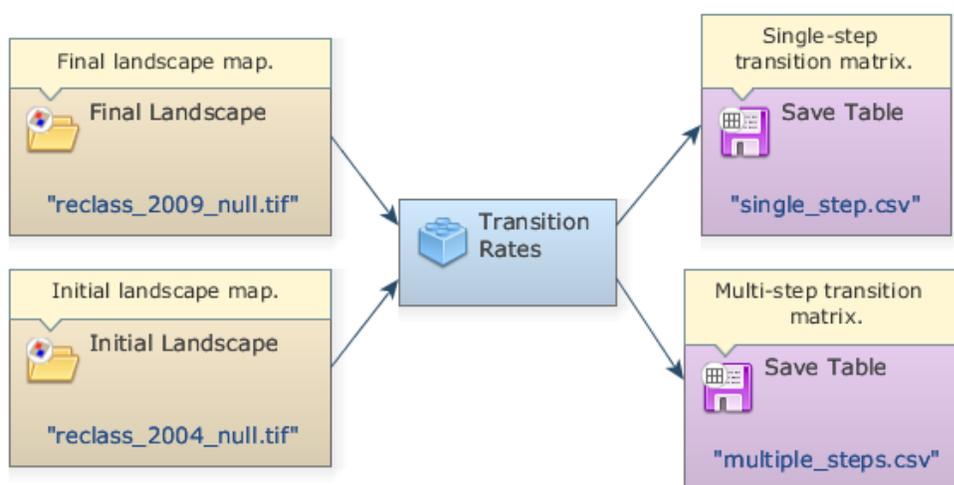
Fase de calibración

Cálculo de matrices de transición

El modelo de matriz de transición exige como elementos de entrada dos capas ráster: cobertura de suelo inicial y cobertura de suelo final (Figura 36), en el *functor* *Transition Rates* es necesario especificar la diferencia de años entre las capas. Como resultado se obtiene dos tablas que almacenan los datos de transición de 2 (No urbanizada) a 1 (Urbanizada) simple (un determinado período de tiempo) y múltiple (tasas anuales de cambio) (Espinoza, 2017).

Figura 36

Modelo Determine Transition Matrix.



Cálculo de rangos para categorizar variables y cálculo de pesos de evidencia

Para emplear el *functor* *Determine Weights of Evidence Ranges* los insumos necesarios son: ráster del mapa inicial, ráster del mapa el final y Cubo Ráster. El procedimiento permite establecer los parámetros de las variables continuas y categóricas que se emplearán en la calibración del modelo, de esta manera se obtiene rangos mediante la generación de buffers con un determinado número de intervalos.

Se requiere la especificación del tipo de variable que se encuentra en el Cubo Ráster, es decir, si es categórica o si es continua.

En caso de ser continua es necesario especificar: valor de incremento, delta mínimo, delta máximo y ángulo de tolerancia. Se utilizó los valores sugeridos por Soares Filho et al. (2009) que se especifican en la Tabla 22.

Tabla 22

Parámetros de functor Determine Weights of Evidence Ranges.

Función	Valor
Incremento	Tamaño de la celda
Delta mínimo	1 celda
Delta máximo	500 000 celdas
Ángulo de tolerancia	5 grados

Sin embargo, el valor de Incremento se modificó para cada variable, debido a que el tamaño estándar de 30 metros creaba categorías innecesarias en las diferentes variables continuas, finalmente se obtuvo los valores que se especifican en la Tabla 23.

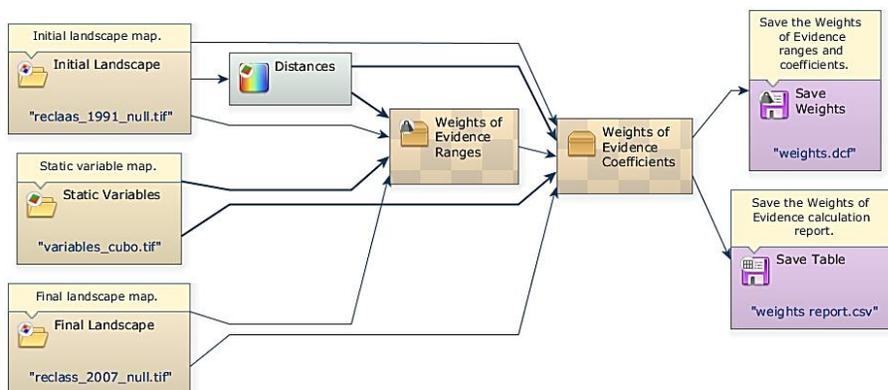
Tabla 23

Valor de incremento para las variables del modelo.

Insumo	Variables	Incremento (m)
Altura	Altura	30
Pendiente	Pendiente	8
Ríos	Distancia a Ríos	100
Áreas naturales	Distancia a áreas naturales	100
Susceptibilidad a Inundación	Distancia a zonas de inundación	60
Centros Educativos	Distancia a Centros Educativos	50
Cementerio	Distancia a Cementerio	100
Estadio/Canchas	Distancia a áreas recreativas	100
Centros de Salud	Distancia a Centros de Salud	50
Vías Secundarias	Distancia a Vías	50
Vías Principales		
Poblados	Distancia a Poblados	50
Servicios Básicos	Servicios Básicos	30

Figura 37

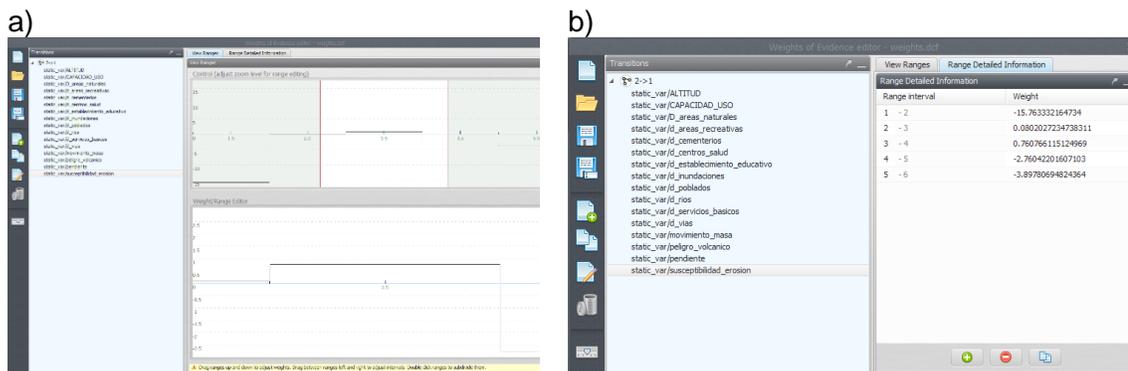
Modelo de cálculo de rangos.



El resultado del proceso son dos archivos, el primero muestra los rangos de las variables con sus respectivos pesos, mientras que el segundo permite visualizar los rangos con sus posibles transiciones, pesos de coeficientes, contraste y significancia, como se detalla en la Figura 38.

Figura 38

Elementos de salida del modelo Determine weight of evidence ranges and coefficients.



Nota. a) Ventana de visualización de rangos. b) Ventana de información detallada de los rangos.

Los valores positivos en los pesos de coeficientes representan una relación positiva al crecimiento urbano, el contraste representa el efecto de asociación de las

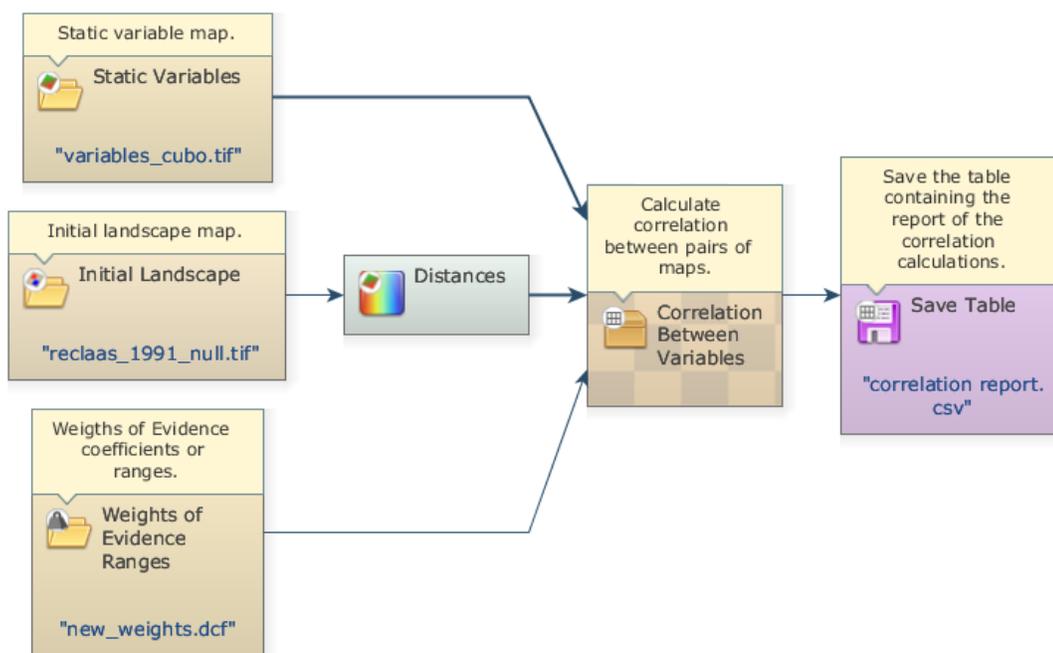
variables, por lo tanto, los valores cercanos a cero no tienen ningún efecto (Soares Filho et al., 2009).

Cálculo de correlación de variables.

Los insumos de entrada del modelo son: el mapa ráster de la cobertura inicial, el Cubo Ráster y los pesos de coeficiente antes calculados. El *functor Weights of evidence correlation* (Figura 39) da como resultado una tabla en donde se presentan valores estadísticos que permiten determinar la correlación entre las variables.

Figura 39

Modelo del Functor Weights of evidence correlation.



El valor que se tomó en cuenta fue el estadístico de *Cramer*, como valor máximo 1 lo que indica una máxima asociación y un valor mínimo de 0 que indica una independencia perfecta (P. López & Fachelli, 2015).

Al tener un valor mayor a 0.5 en el coeficiente de *Cramer* (Campos et al., 2013) se eliminó o asoció la variable, según el caso en cada uno de los períodos, de tal forma que se minimizó la posibilidad de tener variables interrelacionadas que afecten al modelo

de simulación (Silva et al., 2016). Es necesario guardar los nuevos pesos de los rangos después de la modificación en las variables.

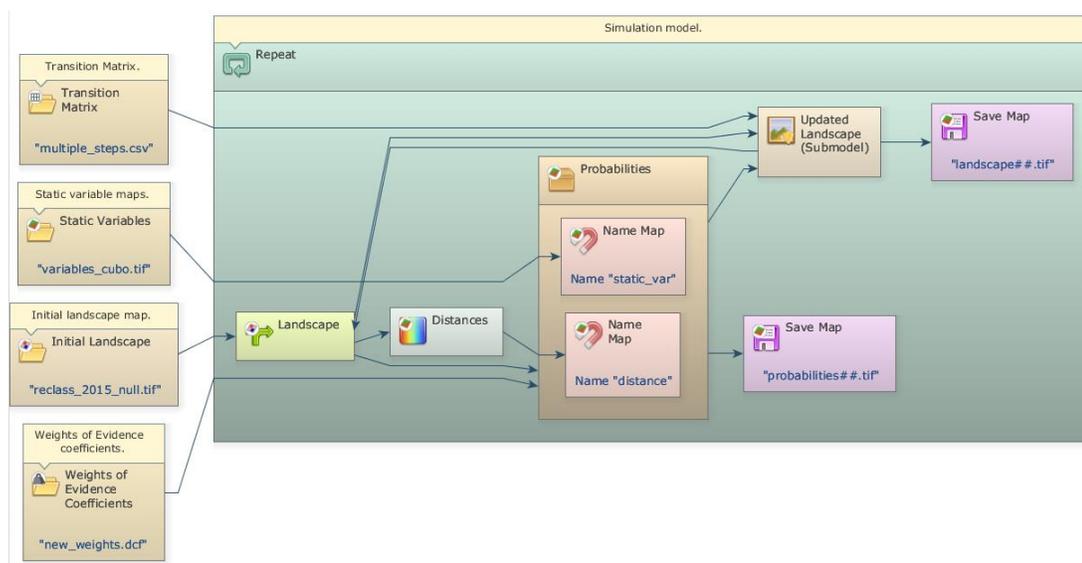
Fase de simulación y validación.

Construcción y ejecución el modelo de simulación Land Cover Change (LUCC)

En el modelo es necesario incluir los valores previamente calculados de la matriz de transición, las variables y el mapa ráster de la cobertura del año inicial. En el *functor Calc Weight of Evidence Probability*, que se visualiza en la Figura 40, se simuló el mapa de cobertura para el año final, por ejemplo, en el período VII se tiene como año inicial 2015 y año final 2020, por lo tanto, el mapa de simulación se lo hizo para el año 2020, utilizando como insumo de entrada en mapa ráster de cobertura del año 2015, con un valor de 5 repeticiones, es decir se calculó las probabilidades en función del número de iteraciones equivalente al número de años transcurrido entre los períodos seleccionados.

Figura 40

Modelo para la simulación del crecimiento urbano.



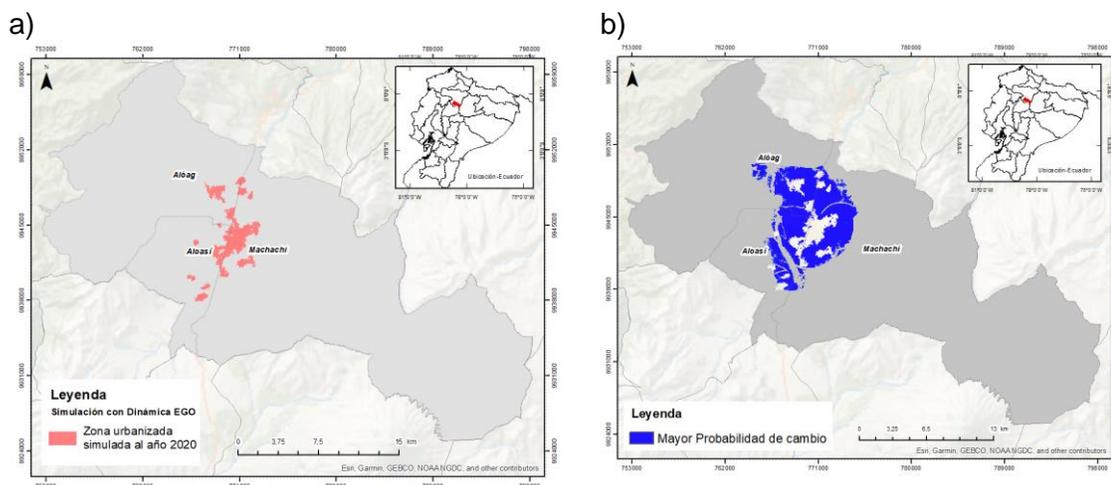
Los valores asignados a los parámetros de *Patcher* y *Expander* fueron en base al estudio realizado por Arellano & Castro (2019) asignando un porcentaje de 0.8 para

los cambios realizados por *Expander* y el restante para *Patcher*, equivalente a 0.2. Los valores del tamaño medio del parche (*Mean Patch Size, Patch Size*), varianza (*Variance*) e Isometría (*Patch Isometry*) fueron definidos en función del tamaño de la celda tal como lo citan Soares Filho et al. (2009), que indican que el tamaño de celda de los parches se formarán del promedio correspondiente a 4 celdas y una varianza de 8 celdas, por lo tanto, para el presente estudio correspondió a 0.09 ha (30 x 30 metros), para Mean Patch Size 0.36 ha, Patch Size Variance en 0.72 ha, y Patch isometry en 1.5

El resultado final fue el mapa simulado del año final y un mapa de probabilidad de cambio (Figura 41), el cual sirvió de insumo para la validación del modelo de predicción.

Figura 41

Mapa simulado del crecimiento urbano para el año 2020 y mapa de probabilidad de cambio- Período(VII).



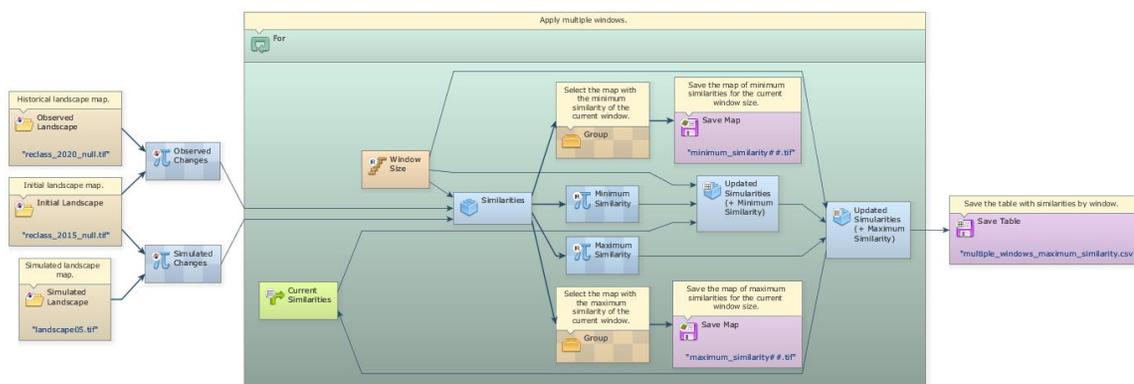
Nota. Literal a) indica el mapa simulado al año que se tiene un mapa observado o de referencia, y en el literal b) se indica el mapa de probabilidad generado por el software Dinámica EGO.

Validación de la simulación mediante ventanas múltiples y una función de decaimiento constante.

En la validación del modelo se utilizó una función de decaimiento constante dentro de un tamaño de ventana variable, en donde, los valores son igual a 1 cuando encuentra un píxel con cambio dentro de la ventana. Este tipo de validación ayuda a los modelos que no tiene un buen ajuste a nivel de píxel, es decir, el nivel de su similitud es paisajística. En la Figura 42 se señala los insumos de ingreso, el mapa simulado anteriormente, el mapa inicial y el mapa final (mapa observado).

Figura 42

Modelo para la validación de la simulación.



Una vez obtenido los valores de similitud para cada uno de los períodos, fue necesario elegir el mejor modelo. Para cada uno de los períodos se siguió los pasos antes mencionados con sus respectivos valores de mínima y máxima similitud de las ventanas múltiples de 1,3,5 y 11.

Fase para la generación de escenarios futuros

Proyección de trayectorias de crecimiento urbano

Calibrado y validado el modelo de simulación, se realizó la proyección para el año 2030, utilizando como insumos de entrada, coeficientes de pesos de las variables, el cubo de las variables, el mapa ráster de la cobertura inicial y matriz de transición. En

el *Functor For* se define el número de iteraciones que corresponde a la diferencia de tiempo entre en año inicial y el año de proyección, en este caso, 15, tal como se detalla en la Figura 43.

Figura 43

Modelo de la simulación calibrado y validado para el año 2030.

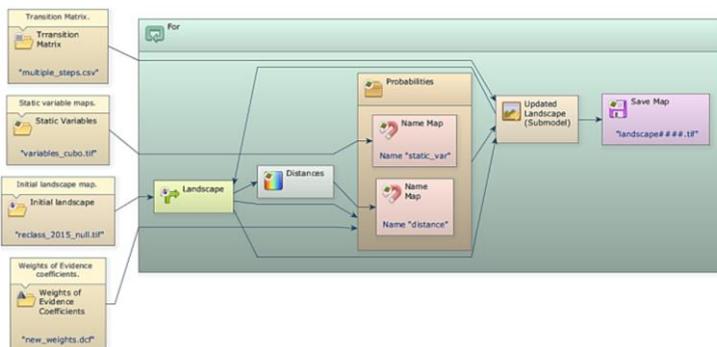
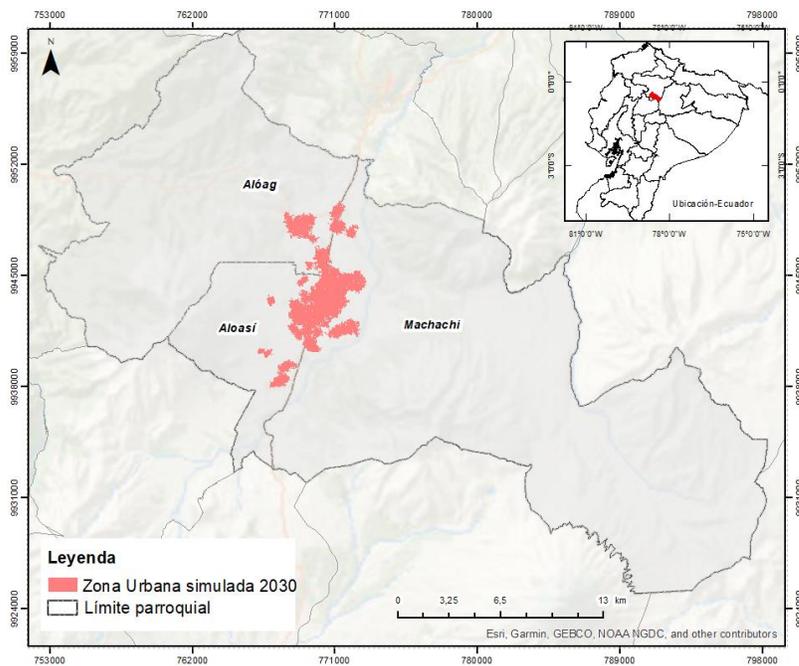


Figura 44

Proyección de crecimiento urbano al año 2030



Nota. Se visualiza el mapa simulado del crecimiento urbano para el año 2030 obtenido del software Dinámica EGO.

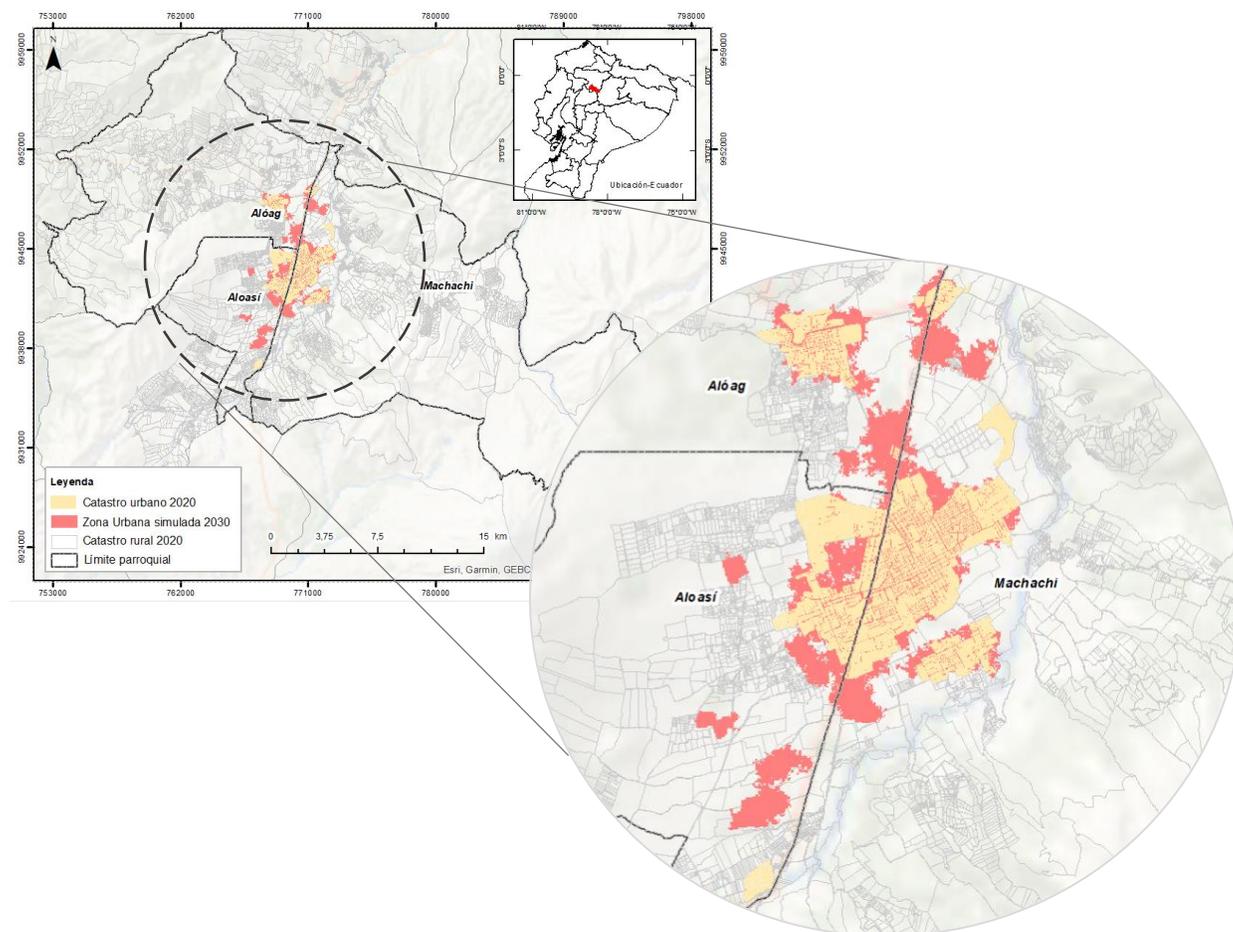
Se generó una proyección tendencial al año 2030 de la zona urbana de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi con el objetivo de lograr comprender y poder anticipar los futuros cambios para la mejora en la toma de decisiones. Observándose un crecimiento hacia las zonas agropecuarias que para el caso de estudio fueron incluidas dentro la zona no urbanizada, analizado como producto binario.

Determinación de áreas de expansión urbana para la implantación del LADM

Una vez obtenido los resultados de simulación del crecimiento urbano para el año 2030, se realizó una comparación espacial con el uso urbano vigente en función del catastro oficial del municipio de Mejía del año 2020 (Figura 45). De esta manera se determinó las posibles zonas afectadas por la expansión urbana para el año 2030 a nivel predial tanto en el suelo urbano como rural.

Figura 45

Zonas urbanas para el año 2030 respecto al catastro oficial del año 2020.

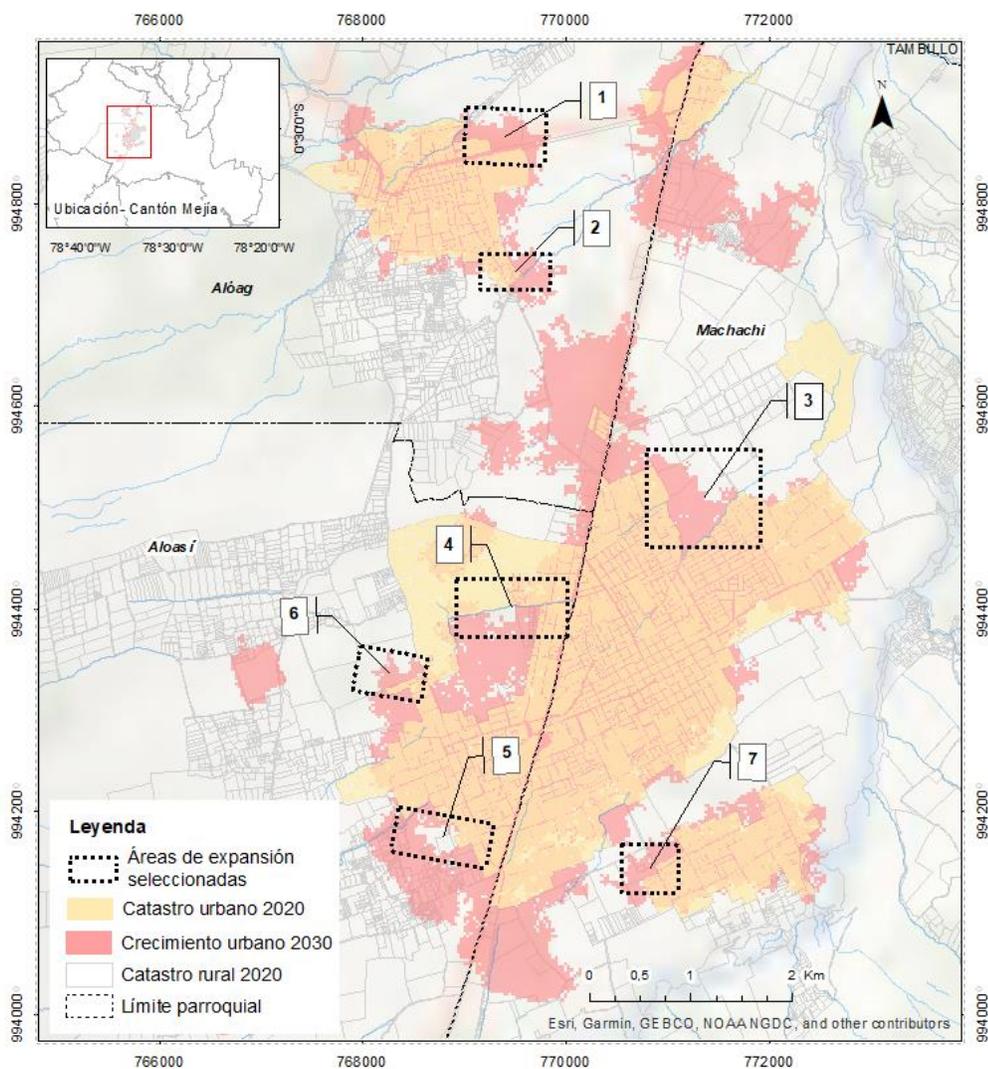


Para establecer las áreas de expansión urbana que afectan a los predios rurales de acuerdo con el objetivo del estudio, se tomó en cuenta los siguientes criterios. Que:

- Exista catastro urbano.
- Exista catastro rural.
- Exista zona de expansión urbana simulada para el año 2030.

Figura 46

Posibles zonas consideradas para la expansión urbana.

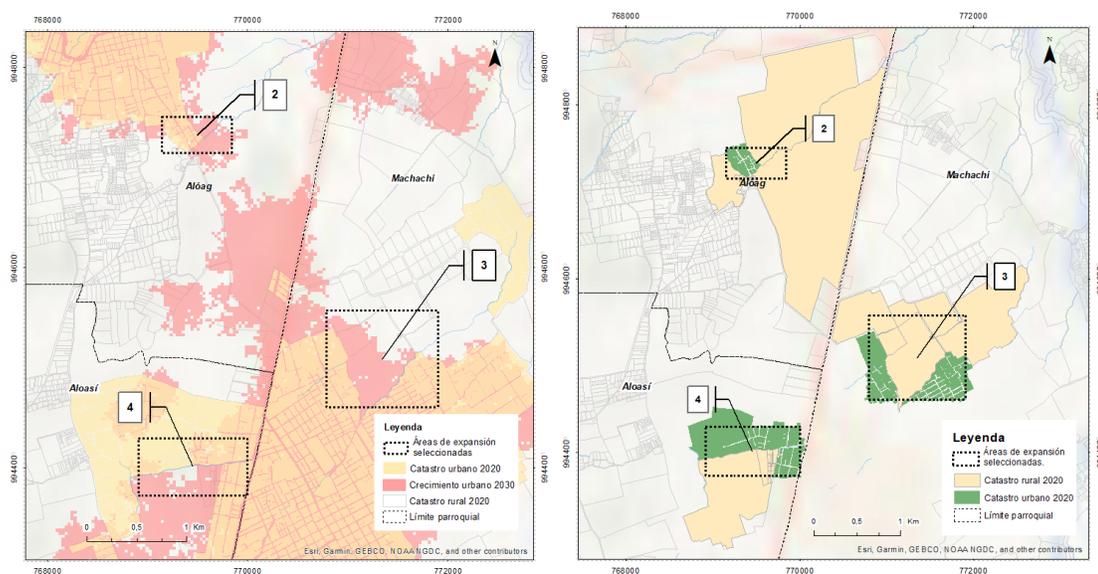


Nota. El catastro urbano se relacionó con el mapa de cobertura del suelo al año 2020, en donde, se descartó las zonas donde existió incongruencia entre el catastro y la cobertura de zonas antrópicas para el año 2020.

Se seleccionó aleatoriamente tres zonas para su integración en el nuevo modelo de administración territorial, una para cada parroquia como se observa en la Figura 47. Para poder implantar la información catastral al nuevo sistema, es necesario exportar los predios urbanos y rurales que se encuentran dentro de las zonas elegidas.

Figura 47

Zonas de expansión urbana a integrarse en el nuevo sistema de administración territorial.



Nota. En la gráfica de la izquierda se observan las tres áreas de expansión seleccionadas, mientras que en la gráfica derecha se representan los predios del catastro urbano y rural del año 2020 que se ven afectados por las áreas seleccionadas y los que serán implantados dentro del sistema de administración del territorio.

Análisis de variables para la implantación en el modelo LADM

Análisis del Catastro del GAD Municipal de Mejía

Para la implantación del sistema de administración del territorio se empleó la información proporcionada por el Departamento de Avalúos y Catastro del Gobierno

Autónomo Descentralizado del cantón Mejía del año 2020 en una geodatabase dentro del cual se encontró dos *feature class*, la del catastro urbano y el del catastro rural, cada una con sus codificaciones catastrales cumpliendo con la Ordenanza de Valoración de los Predios Urbanos y Rurales y Determinación, Administración y Recaudación de Impuestos Prediales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Mejía 2020-2021.

Tanto para el catastro urbano como rural se buscó estandarizar las variables que se encontraban en común e incluir aquellas que son importantes para cada base de datos tanto rural como urbana de manera que se incorporen sin afectar al trabajar en conjunto y evitar dejar demasiados campos vacíos en la base de datos unificada.

Tabla 24

Información contenida en cada base de datos del catastro urbano y rural.

Urbano	Rural
Nombres y Apellidos	Nombres y Apellidos
Cédula/RUC	Cédula/RUC
Código Catastral	Código Catastral
Id Predio	Id Predio
Tipo de Propiedad	Tipo de Persona
Barrio	Sector
Dirección	Dirección
Parroquia	Parroquia
Área del Terreno	Área del Terreno
Avalúo del Terreno	Avalúo del Terreno
Avalúo de la Construcción	Avalúo de la Construcción
Frente/Fondo/Tipo de Lote	Base Imponible
Fecha de Nacimiento	Impuesto
Cerramiento	

Análisis de la Clasificación del Suelo

Fue importante identificar la clasificación del uso del suelo definida en el artículo 28 de la LOOTUGS citado por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2018a, p. 40) y las nuevas áreas de expansión, que se plantea sean definidas como una nueva categoría dentro de la planificación parroquial, englobando el uso urbano y rural, esto con la finalidad de evitar una urbanización rápida, preservar y recuperar el suelo urbano

y las áreas de expansión ya definidas dentro del sistema en función del Art. 27 de la LOOTUGS del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2018a, p. 36).

Análisis de la Variable Riesgos

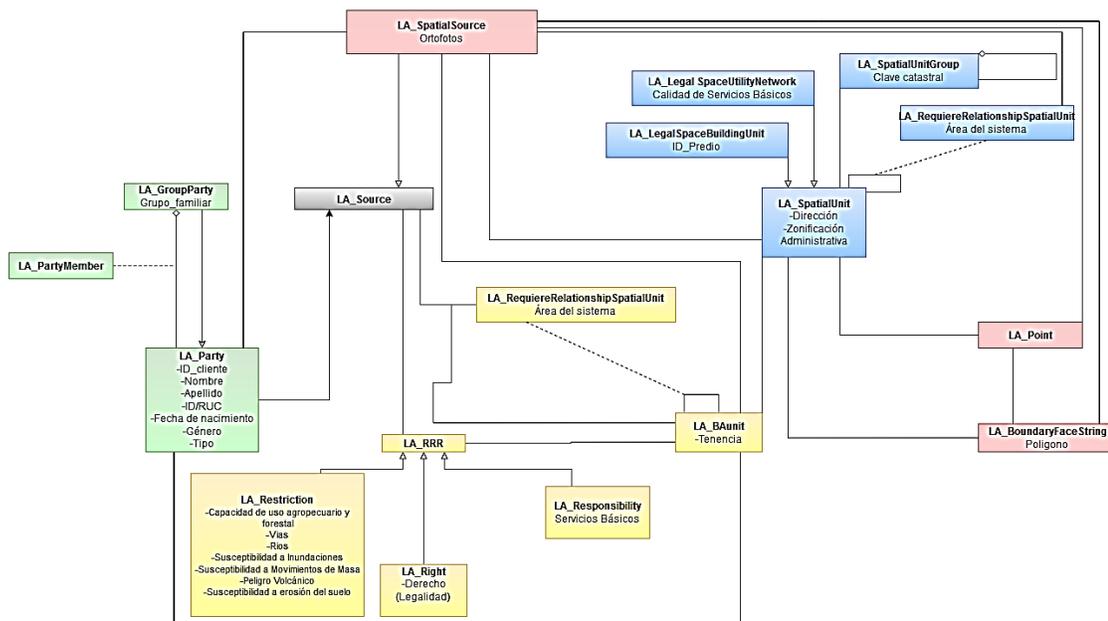
Al identificar los riesgos naturales y antrópicos de ámbito cantonal, se fomentará la calidad ambiental, la seguridad, la cohesión social y la accesibilidad del medio urbano y rural, y establecerán las debidas garantías para la movilidad y el acceso a los servicios básicos y a los espacios públicos de toda la población” (2018b, p. 40).

Ushiña (2019) considera que los asentamientos tanto formales como informales están propensos a amenazas que pueden ser controlados por normas adecuadas de construcción y una correcta planificación urbana, identificando áreas más problemáticas y la definición de nuevos usos de suelo que se pudiesen implementa.

Implantación del Sistema de Administración de Tierras

Figura 48

Esquema del modelo LADM con las clases utilizadas en el estudio.



En la Figura 48 se detalla el desarrollo del modelo LADM con relación a la información base obtenida en función del catastro e información de otras entidades referentes a riesgos y clasificación del suelo.

A continuación, se describe la relación de los paquetes con la información obtenida a partir del catastro urbano y rural de esta manera

Paquete de Interesados(Party)

LA_Party

Hace referencia a la información de las personas, organizaciones o instituciones que poseen tenencia en la propiedad o predio. Pueden ser varias personas que intervienen y pueden ser jurídicas, naturales, instituciones entre otros.

LA_GroupParty

Grupo de interesados del predio que heredan las asociaciones que LA_Party tiene con las clases derechos, restricciones, responsabilidades y la unidad espacial.

Paquete Administrativo (Administrative)

LA_RRR

Corresponde a la relación existente entre los interesados con el objeto LADM, con respecto al uso, tenencia o administración.

LA_Right

Se refiere a una actividad o conjunto de acciones que los interesados tienen sobre un predio, haciendo referencia principal a la tenencia que tiene la persona u organización, basados en la legislación nacional.

LA_Restriction

Es una obligación estatal o no estatal de abstenerse de hacer algo sobre el predio; tiene relación con el suelo, es decir siguen vigentes, pese a que el derecho de la tierra se transfiere después de haberse creado y registrado. Para el caso de las zonas de estudio se determinó que existen restricciones viales, por afectación de ríos y

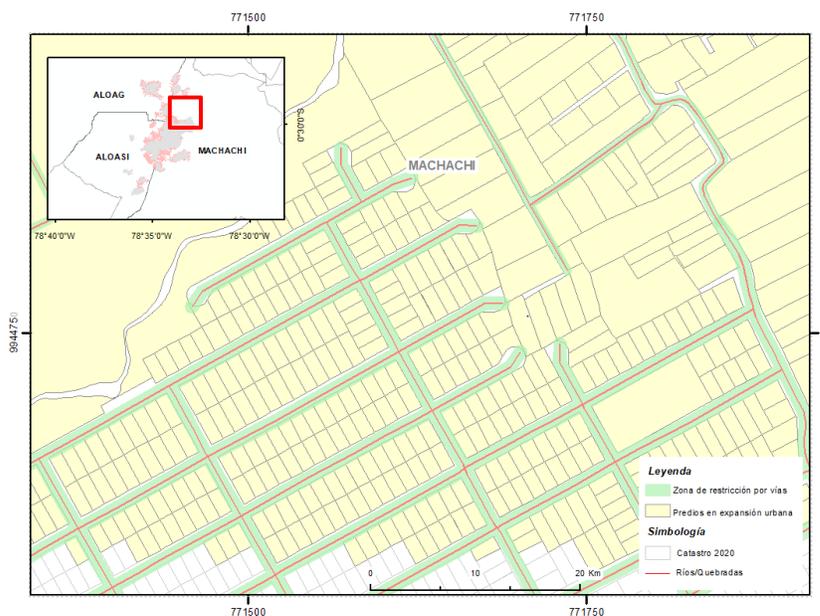
quebradas, presencia de riesgos naturales y clasificación del suelo definido por la simulación obtenida en el software Dinámica EGO.

– *Restricción vial*

Se estableció en función de la Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza de Urbanizaciones y Fraccionamientos en el cantón Mejía (2016), donde se establece que para construir edificaciones con relación con el eje de las vías principales se tendrá un ancho mínimo de 10 metros, en vías secundarias un mínimo de 6.50 metros y para las vías locales tendrán 4 metros. A partir de las distancias definidas se establecen buffers, teniendo en cuenta el tipo de vía, con los cuales se realiza una intersección con los predios para definir los predios que no cumplen con esta disposición (Figura 49).

Figura 49

Restricción Vial en la parroquia Machachi.



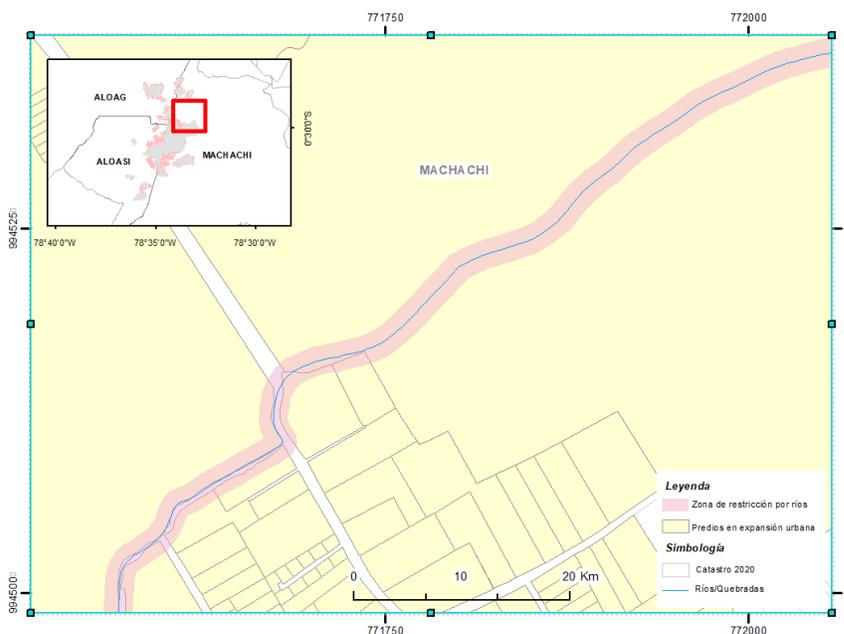
– *Restricción por afectación de ríos y quebradas*

Se restringe la construcción de edificaciones o construcciones cerca de ríos, quebradas y acequias en base al artículo 42 del capítulo IX de la Ordenanza Sustitutiva a la ordenanza de construcciones del cantón Mejía (2017), en el caso de afectación de

ríos se establece un retiro mínimo de 10 metros a cada lado en función al cauce principal de los cuerpos de agua (Figura 50).

Figura 50

Restricción por afectación de ríos y quebradas.



– *Restricción por riesgos*

Se considera también riesgos a las susceptibilidades o vulnerabilidades que presenta el predio y los propietarios en presencia de los riesgos antrópicos y naturales, para el estudio se consideró las variables susceptibilidad a inundaciones, susceptibilidad a deslizamiento, susceptibilidad a erosión y peligro volcánico, considerando que los predios propensos o ubicados en zonas con rangos altos a muy altos de riesgo deben restringirse para la construcción de edificaciones o su vez la limitación de los asentamientos humanos sobre los mismos.

– *Restricción por la capacidad de uso*

Se definen a los predios que presentan determinadas características con relación a la adaptabilidad o no de cultivos propios de la zona, además de señalarse los riesgos que se pueden generar al emplearlos, de manera que se indica las

potencialidades y limitaciones para el uso agrícola, ganadero y forestal dentro de cada predio. Es así que los predios que se encuentren en zonas con limitaciones muy fuertes es decir su uso es de conservación o tierras aptas para aprovechamiento forestal o agrícola no deberán construir edificaciones, esto con la finalidad de tratar de preservar las coberturas vegetales propias de la zona.

LA_Responsability

Es una obligación formal o informal que tiene los propietarios u organizaciones de hacer algo con los predios. Se estableció, basado en las normas establecidas en la Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza de Urbanizaciones y Fraccionamientos en el cantón Mejía (2016), en el artículo 10, que el propietario del predio será responsable de contribuir en la ejecución y gastos de las obras de infraestructura tales como servicios básicos, instalación de redes de energía eléctrica, telefonía y alumbrado público, adquiriendo una responsabilidad de pago, fijado por el municipio con el fin de retribuir económicamente los servicios y mejoras que se realicen.

BAUnit

Se refiere al objeto legal o predio y su estado, permitiendo que la relación se apoye en títulos de propiedad, escrituras entre otros, registrando las unidades de propiedad básicas que pertenecen al interesado.

Paquete de Unidades Espaciales (Spatial Unit)

LA_SpacialUnit

Describe las características físicas y geométricas del predio.

LA_SpacialUnitGroup

En la implementación del LADM permite incluir identificadores de las unidades espaciales en zonas jerárquicas que permiten establecer una relación, en este caso se vincula mediante la clave catastral como el código que incluye la información del predio a partir de la provincia a la que pertenece hasta el número de predio.

Como se detalla en la Tablas 25 y Tabla 26 cada catastro posee una codificación propia los seis primeros dígitos fueron definidos en base al estándar de la Comunidad Andina, en el caso de los valores numéricos para cada parroquia varían: Machachi (50), Alóag (51) y Aloasí (52), mientras que los dígitos restantes dependen del área en que se encuentren como se detalla a continuación:

- Área urbana se agregan ocho dígitos.
- Área Rural se agregan siete dígitos.

Tabla 25

Codificación Catastral del área urbana del GAD-Mejía.

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Manzana	Predio
17	03	50	07	009	008

Tabla 26

Codificación Catastral del área rural del GAD-Mejía.

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector/Polígono	Predio
17	03	50	23	00013

LA_LegalSpaceBuildingUnit

Se refiere a la unidad de construcción presente en el predio y sus características.

LA_LegalSpaceUnilityNetwork

Indica los servicios públicos básicos que cuenta el predio además de servicios complementarios como alumbrado público, recolección de basura y transporte urbano.

Tabla 27

Descripción de los paquetes del LADM con sus clases.

LA_PARTY	LA_Party	ID_cliente
		Nombres/Apellidos
		Cédula/RUC/Pasaporte
		Fecha de nacimiento
		Género
	Tipo persona	Natural Jurídica
	LA_Group Party	Grupo Familiar

LA_RRR	LA_Right	Derecho	Municipal Propietario
		Susceptibilidad a Movimientos de masa	Alta
			Mediana
			Moderada
		Peligro volcánico	Baja
			Alta
			Mediana
		Capacidad de uso agropecuario y forestal	Moderada
			Baja
			Alta
	LA_Restriction	Susceptibilidad a Erosión	Mediana
	Inundaciones		Moderada
			Baja
	Restricción de Vías	Propenso	
No propenso			
Ancho mínimo Vías Principales: 10 m Vías Secundarias: 6,50 m Vías Locales: 4:m			
Restricción por afectación de ríos	Franjas de Protección		
	Retiro mínimo de 10 m a cada lado		
LA_Responsibility	Pago de servicios básicos	Agua Alcantarillado Recolección de basura Energía eléctrica	
LA_BAUnit	Tenencia/Posesión Compra venta Predio Calle1, calle2, barrio		
LA_SPACIAL UNIT	LA_SpatialUnit	Parroquia	Alóag
			Aloasí
			Cutuglagua
			El Chaupi
			Machachi
			Manuel Cornejo
	Área del sistema Avalúo del Predio	Clasificación del Suelo	Tambillo
			Uyumbicho
			Urbano
			Rural
LA_SpatialUnit Group	Clave catastral	Expansión Urbana	
		Presencia o no de construcción	
LA_LegalSpace BuildingUnit	Tipo de propiedad	Unipropiedad Propiedad Municipal Propiedad Horizontal	
LA_LegalSpace UnilityNetwork	Servicios Básicos		

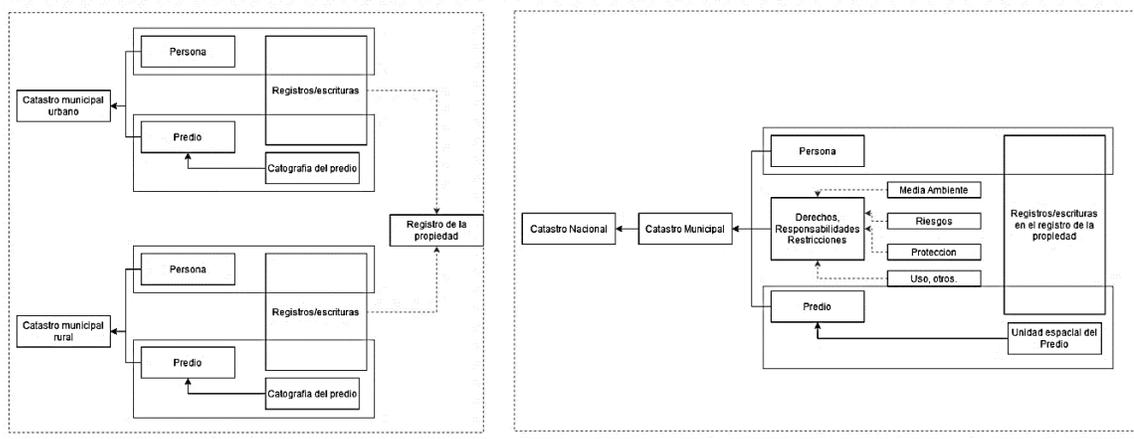
Integración del sistema de tenencia STDM

El objetivo principal del trabajo de investigación fue el diseño de un modelo de sistema de administración territorial bajo los principios establecidos por la Norma ISO 19152 LADM (Land Administration Domain Model) que incluya las variables biofísicas y socioeconómicas dentro de los procesos de reglamentación y legalización de las tierras. La estructura del modelo STDM fue modificada y adaptada de manera que incluya términos de riesgos ambientales y clasificación del suelo.

Los catastros territoriales tienen una estructura en la cual se hace relación de los datos geométricos, económicos y jurídicos de las parcelas (entidad predio) y sus propietarios (entidad persona) (Erba, 2015); sin embargo, es importante considerar las vulnerabilidades, amenazas y el riesgo dentro de la planificación de nuevas áreas a ser urbanizadas tal como lo cita en el Artículo 11 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo: “Los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos, de acuerdo con lo mencionado en esta Ley, los GAD cantonales clasificarán todo el suelo cantonal en urbano y rural y definirán el uso y la gestión del suelo”, como se describe en la Figura 51.

Figura 51

Modelo del sistema catastral actual vs modelo basado en la norma LADM ISO 19152.



Nota. Tomado de Salazar et al. (2016).

De esta manera, se implementó un sistema que abarque los temas antes mencionados. Es importante mencionar que, al implantar estos términos dentro del sistema, exige una creación de diferentes entidades, en este caso 4 entidades: Predio, Persona, Riesgos y Suelo. Cada una de estas entidades se manejó bajo sus propios elementos (Tabla 28) pero siempre conservando un campo en común, en este caso “clave catastral”, como identificador único.

Tabla 28

Descripción de los términos usados en el sistema de administración territorial.

Entidad	Descripción	Elementos	Descripción
Predio	Espacio donde el individuo se desenvuelve, estas pueden ser: parcelas, espacios jurídicos y redes de servicios	Clave Catastral	Identificación única del predio
		Id Predio	Número único de identificación del predio
		Avalúo del Predio	Valor económico del terreno.
		Área Del Sistema	Área determinada por el polígono del predio.
		Derecho	Derecho de propiedad
		Calle 1	Calle Principal
		Calle 2	Calle Secundaria
		Barrio	Barrio al que pertenece el predio
		Parroquia	Parroquia
		Restricción Vial	Obligación de no construir edificaciones sobre el eje vial
		Restricción De Ríos	Obligación de no construir edificaciones en franjas de protección
		Servicios Básicos	Obras de infraestructura: agua potable, luz eléctrica, alcantarillado y recolección de basura
		Tipo De Predio	Tipo de propiedad
		Polígono	Polígono del predio
Persona	Persona u organización que desempeña un rol dentro de un espacio físico	Clave Catastral	Identificación única del predio
		Id Cliente	Código que identifica al propietario, grupo de miembros u organización del predio
		Nombre	Nombre de la persona
		Apellido	Apellido de la persona
		Cédula/Ruc	Identificación única del propietario, grupo de miembros u organización
		Género	Identidad de género de cada propietario
		Fecha	Fecha de Nacimiento
		Tipo De Persona	Aspecto Legal o administrativo del propietario

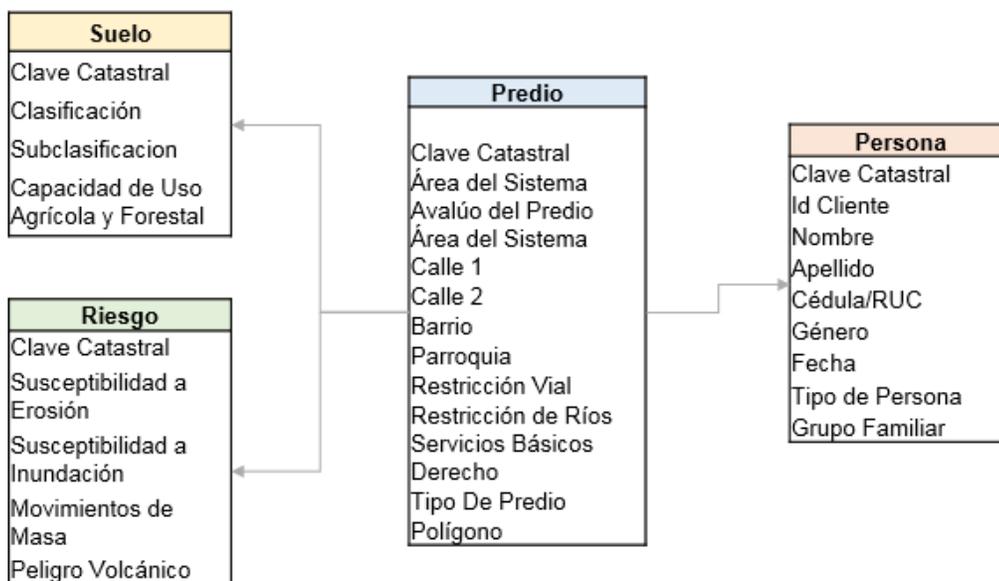
Suelo	Define el uso y la gestión del suelo	Grupo Familiar	El predio tiene relación con más miembros de la familia
		Clave Catastral	Identificación única del predio
		Clasificación	Clasificación del predio según el catastro oficial
		Subclasificación	Clasificación del predio según simulación al año 2030
		Capacidad De Uso Agrícola Y Forestal	Ordenamiento de la aptitud natural que presenta el suelo
Riesgo	Vulnerabilidad de una población o región a una amenaza o peligro	Clave Catastral	Identificación única del predio
		Susceptibilidad A Erosión	Riesgo de degradación por erosión que puede sufrir el suelo
		Susceptibilidad A Inundación	Probabilidad de desbordamiento de ríos
		Movimientos De Masa	Probabilidad de desplazamiento o movimiento de masa provocado por factores externos
		Peligro Volcánico	Probabilidad de riesgo a peligro volcánico

Incorporación de datos al sistema STDM

Para ingresar los datos al sistema STDM fue necesario su reorganización, de manera que se ajusten a los parámetros, como se establece en la Figura 52.

Figura 52

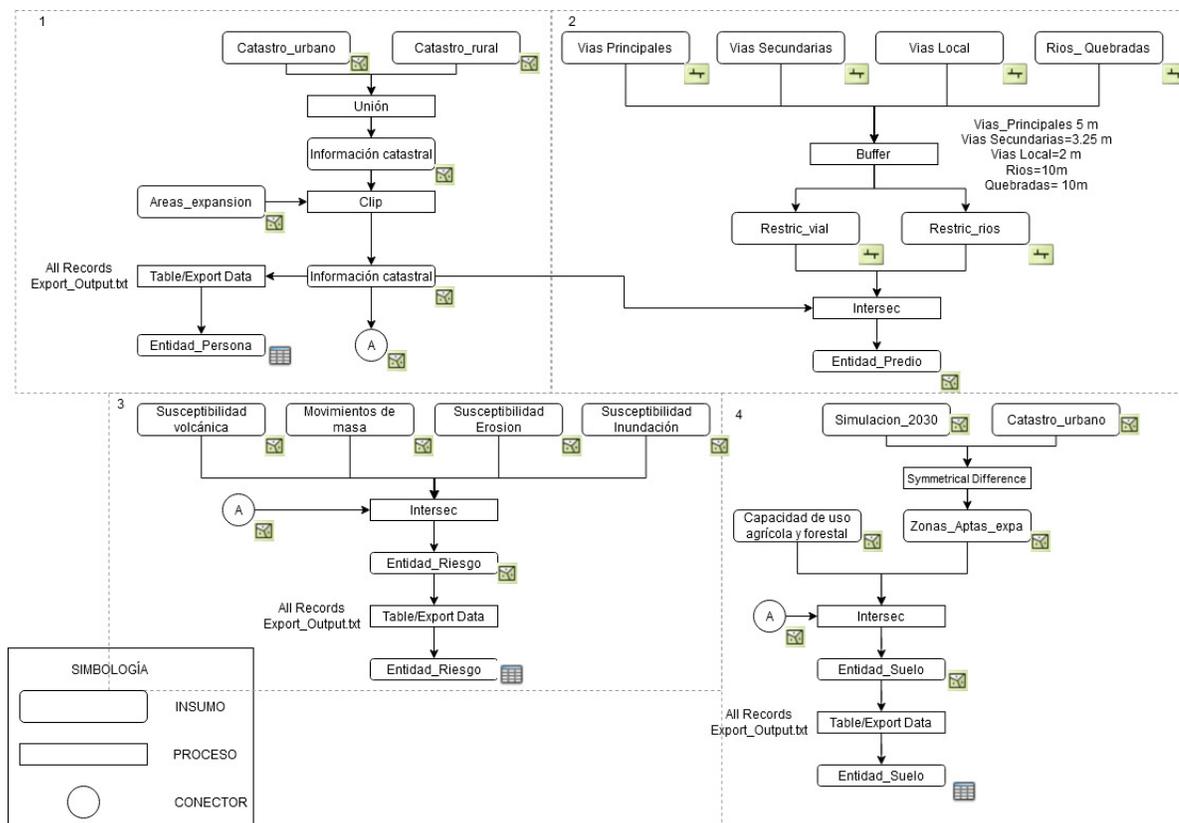
Entidades utilizadas en el sistema de administración territorial.



Las entidades Persona, Suelo y Riesgo se administran bajo documentos de texto con el formato delimitado por comas (*.csv), mientras que la entidad Predio debe ser un archivo shapefile (*.shp).

Figura 53

Diagrama de flujo de la obtención de información de las entidades.



Las capas vectoriales del catastro urbano y rural se unificaron en una sola capa y se comparó espacialmente con las áreas de expansión urbana previamente seleccionadas.

Para el tema de restricciones, se creó los respectivos buffers en cada una de las capas: vías principales, vías secundarias, vías locales, ríos y quebradas; las restricciones por riesgos se obtuvieron al intersecar las capas vectoriales: susceptibilidad a inundaciones, susceptibilidad a erosión, peligro volcánico y movimientos de masa, con el catastro unificado.

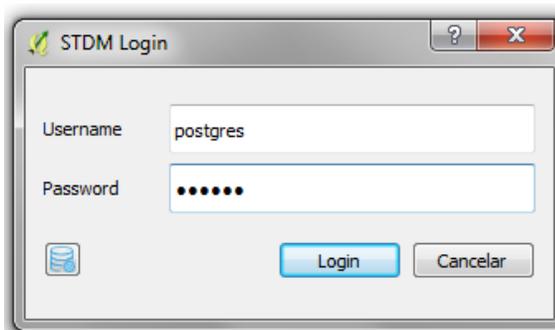
Las zonas posibles para la expansión urbana se obtuvieron al comparar espacialmente el catastro urbano y la simulación obtenida para el año 2030, una vez generado este resultado, se realizó una intersección con la capa de capacidad de uso agrícola y forestal para poder obtener la información de la entidad suelo. Posteriormente se exportó la tabla de atributos en archivo texto de cada uno de los archivos finales de cada proceso.

Configuración de la Base de Datos

Social Tenure Domain Mode (STDM) es una extensión del software libre QGIS, que se puede adquirir libremente a través de su página oficial. Para poder ingresar los datos al complemento STDM es necesario tener conocimientos básicos del manejo del software libre QGIS y una cuenta de administrador en PostgreSQL debido a que se maneja bajo un gestor de base de datos.

Figura 54

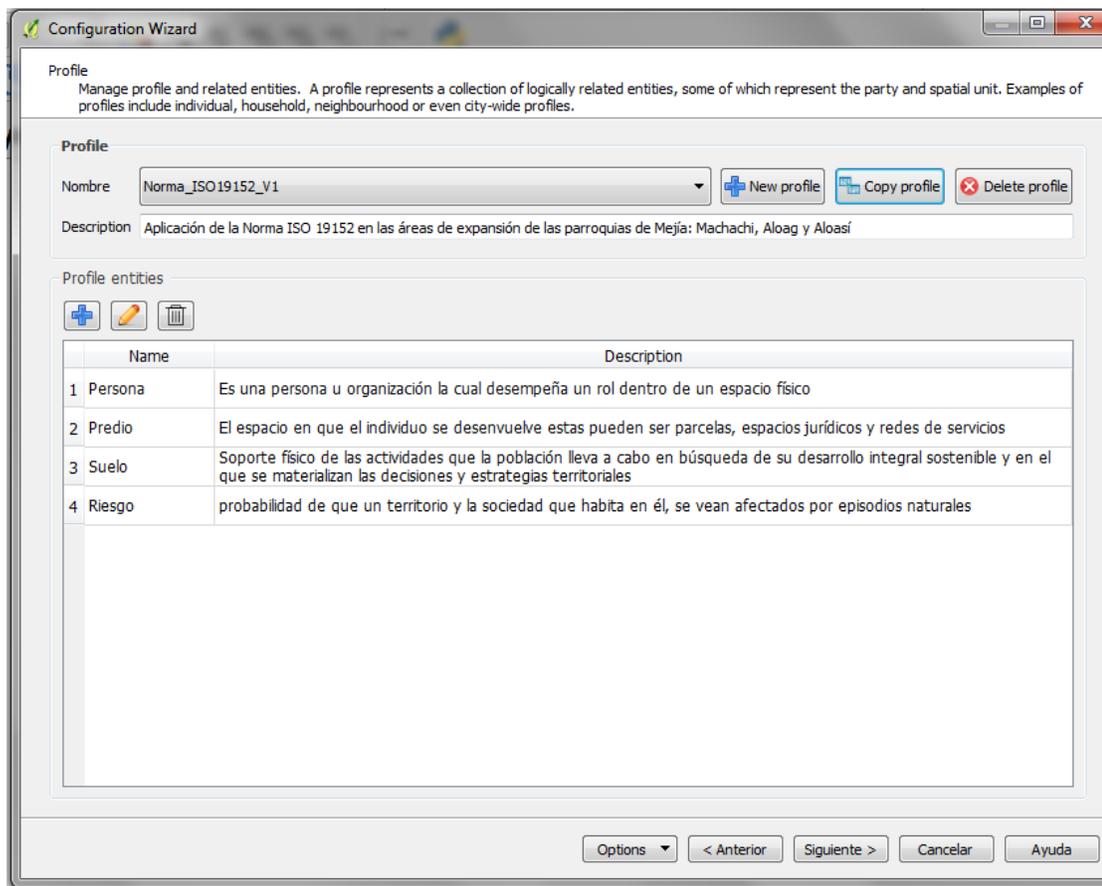
Ingreso al software Social Tenue Domain Model.



Es necesario crear en el STDM las entidades mencionadas en la Figura 52, por lo tanto, siguiendo el manual del software (GLTN, 2018). El primer paso fue crear las entidades con la herramienta Configuration Wizard (Figura 55), en donde se da el nombre con su respectiva definición.

Figura 55

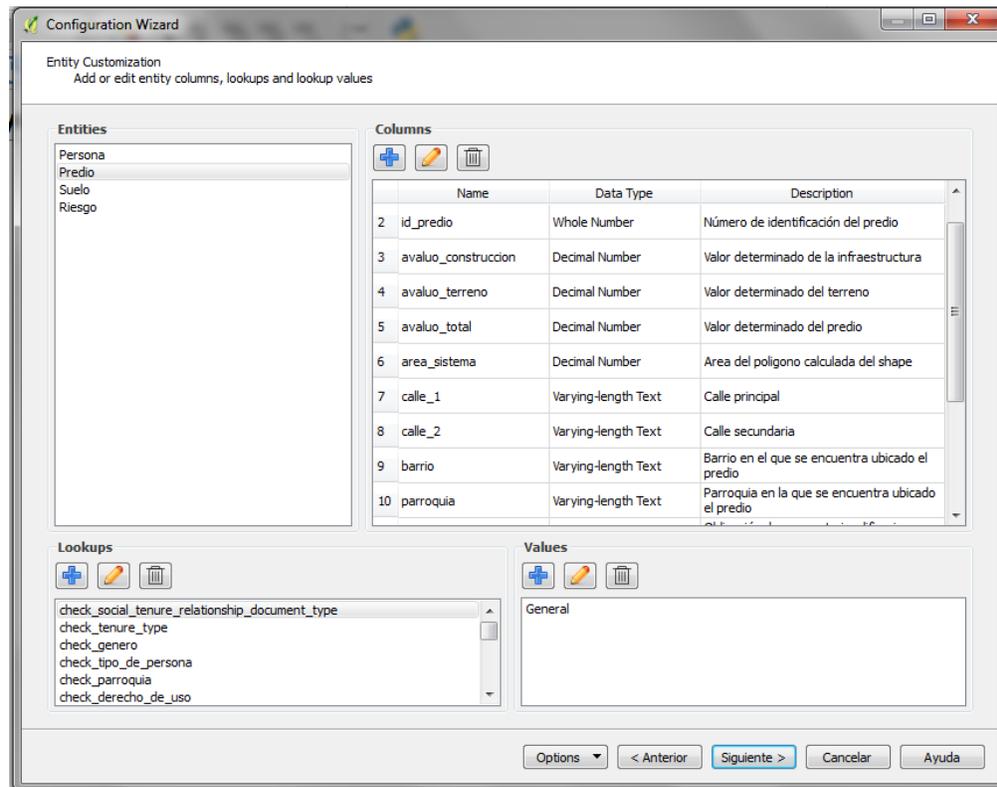
Creación de las entidades en la herramienta Configuration Wizard.



Las columnas son las propiedades de una entidad que son representadas por un nombre único con una descripción breve, además se debe especificar el tipo de datos que se van a almacenar, cuyas propiedades se especificaron en la Tabla 28. Para la entidad predio es obligatorio crear una columna con tipo de dato “*geometry*” debido a que en esta propiedad se cargará la información geométrica del shape.

Figura 56

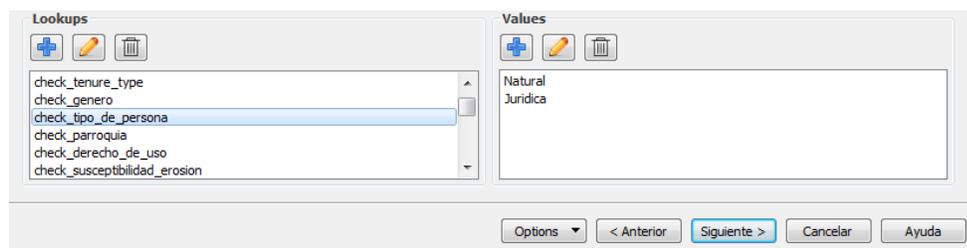
Creación de las columnas para cada entidad.



Los *Lookups* se utilizaron para almacenar valores que rara vez cambian. Lo permite una automatización en el ingreso de ciertos datos. Cada *Lookup* debe tener una lista de valores tal como se indica en la Figura 57.

Figura 57

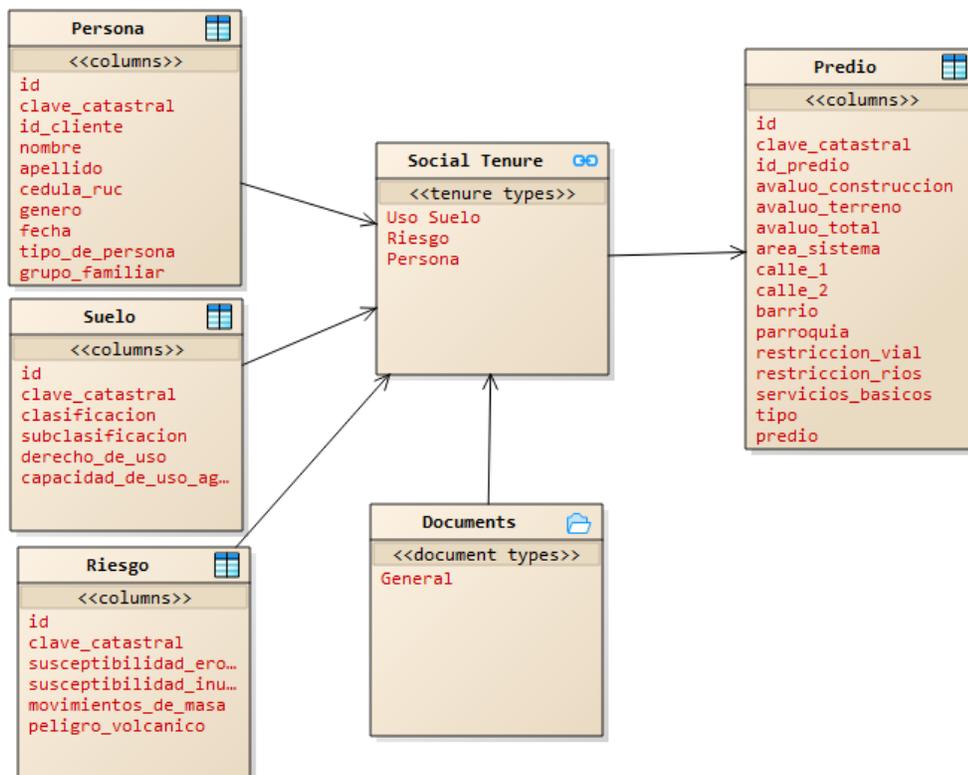
Lookup creados para el sistema.



Terminada la creación de las entidades con sus respectivas propiedades, el sistema da una visión general de modelo que se va a emplear en el sistema de administración territorial.

Figura 58

Esquema de las entidades y su relación en el software STDM.



Nota. Ingreso de las entidades persona, suelo, riesgo y predio con cada uno de sus variables en el software STDM.

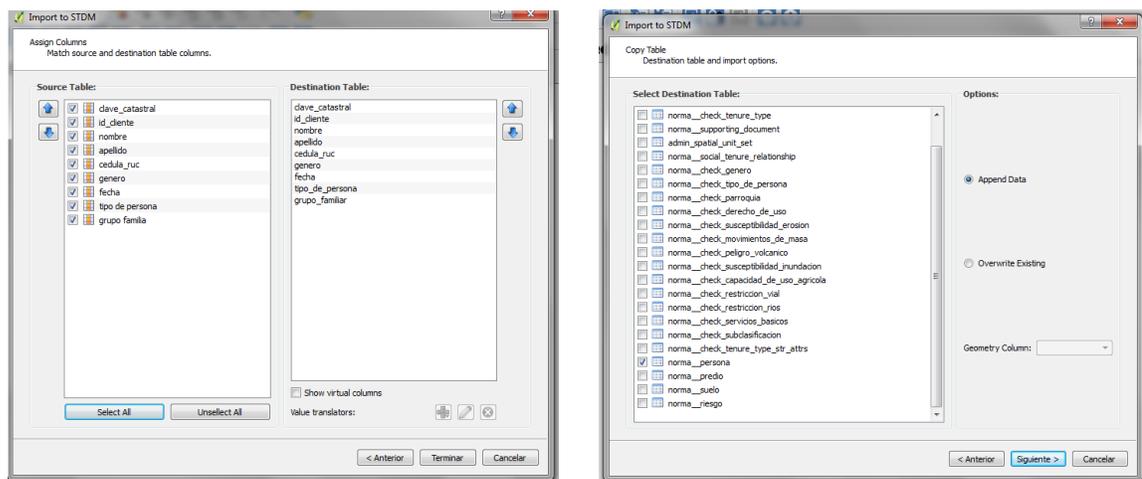
Para que todas las configuraciones del nuevo perfil se almacenen de forma permanente en la base de datos, es necesario correr el programa para verificar que no exista ningún tipo de error. Este proceso implica convertir todas las entidades y *Lookups* creadas en la configuración, en tablas de bases de datos del STDM.

Creado el perfil, la incorporación de datos al sistema se realiza a través de una importación de los archivos (.csv) y shapefile al software para el ingreso de los datos alfanuméricos y la parte gráfica. Una vez cargados los archivos se debe elegir la tabla

en donde se va a subir la información; es importante verificar que el orden de la información del archivo (.csv) sea el mismo que el de la entidad creada anteriormente.

Figura 59

Incorporación de los datos en el software a través de la herramienta Import to STDM.

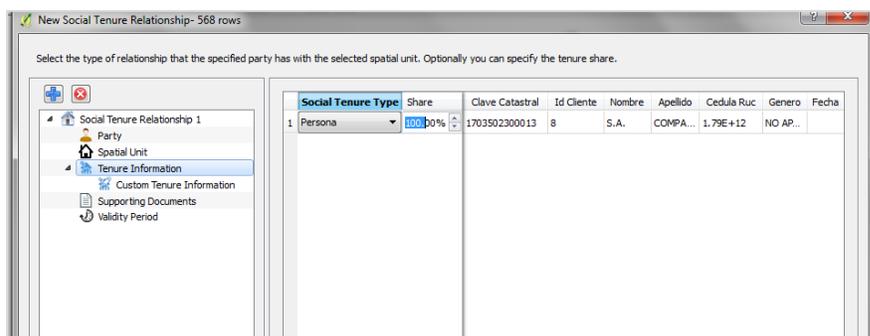


Las relaciones que tiene el predio con sus respectivas entidades, se denominan Relación de Tenencia Social, que tiene su propia tabla en la que almacena la relación de cada entidad con una unidad espacial, permitiendo elegir el tipo de relación que existe. Una de las grandes ventajas es que permite la incorporación de documentos de respaldo, que puede ser de cualquier tipo, permitiendo añadir registros de tipo informativa o a manera de pruebas.

Este proceso, que relaciona el predio con la persona, suelo y riesgo, se debe realizar para cada uno de los predios, seleccionando el tipo de tenencia y su porcentaje.

Figura 60

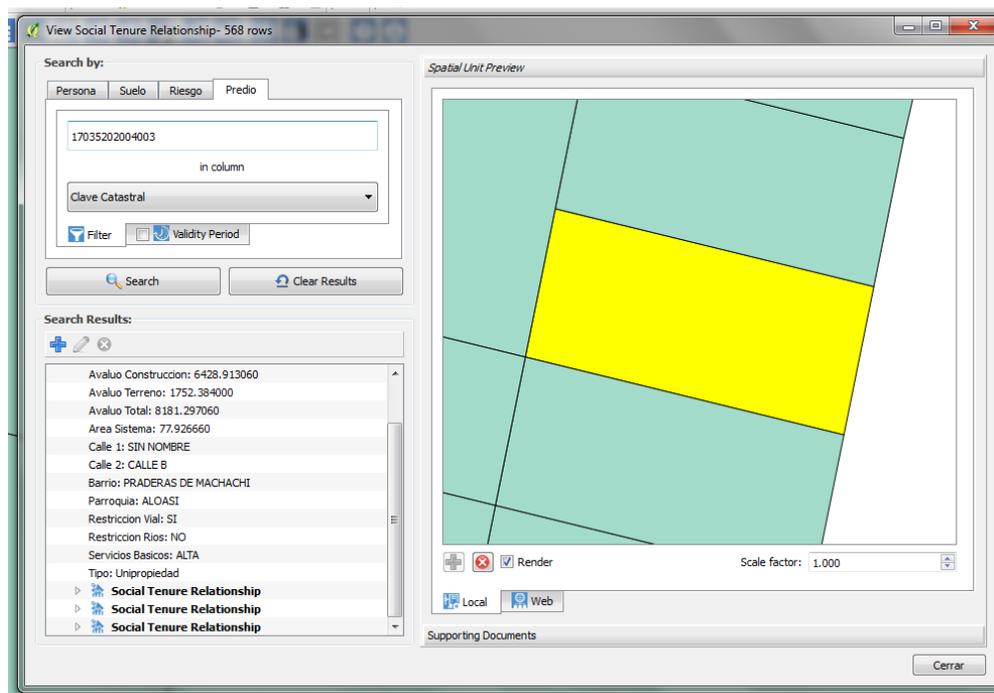
Generación de relaciones entre entidades.



Terminado el proceso anterior, se puede visualizar las relaciones con ayuda de la herramienta *View Social Tenue Relationship*.

Figura 61

Visualización de las relaciones generadas en el STDM.



Creación del documento

La herramienta *Document Designer* permite diseñar una plantilla que refleje la información de la base de datos del STDM. Está construida sobre *QGIS Print Composer*

que permite al *Document Designer* utilizar las diferentes funciones y herramientas de *Print Composer*. Con el diseñador de documentos, se puede crear plantillas que se pueden utilizar para el uso del propietario del predio o del municipio.

Después de diseñar una plantilla se puede usar el *Document Generator* y generar un documento para uno o más registros como se observa en la Figura 62.

Figura 62

Diseño del informe predial de tenencia de tierra.

INFORME PREDIAL DE TENENCIA DE TIERRA CANTÓN MEJÍA									
DATO DEL PROPIETARIO									
ID Cliente: [norma_persona.id_cliente]	Fecha de Nacimiento: [norma_persona.fecha]								
Nombre: [norma_persona.nombre]	Tipo de Persona: [norma_persona.tipo_de_persona]								
Apellido: [norma_persona.apellido]	Grupo Familiar: [norma_persona.grupo_familiar]								
Cédula/ RUC: [norma_persona.cedula_ruc]	Género: [norma_persona.genero]								
DATO DEL PREDIO	MAPA								
ID_Predio: [norma_predio.vv_id]									
Clave Catastral: [norma_predio.vv_soc]									
Parroquia: [norma_predio.vv_social]									
Barrio: [norma_predio.vv_social_tenencia_relacion]									
Calle Principal: [norma_predio.vv_social_tenencia]									
Calle Secundaria: [norma_predio.vv_social_tenencia]									
Servicios Básicos: [norma_predio.vv]									
Avalúo Construcción: \$ [norma_predio.vv_soc]									
Avalúo Terreno: [norma_predio.vv]									
Avalúo Total: \$ [norma_predio.vv]									
Área Total del Predio: [norma_predio.vv]									
Tipo de Propiedad: [norma_predio.vv]									
Derecho de Uso: [norma_predio.den]									
RIESGOS DEL PREDIO*									
Susceptibilidad de erosión: [norma_predio.susceptibilidad_erosion]									
Susceptibilidad a Inundación: [norma_predio.susceptibilidad]	<table border="1"> <tr> <td>Alto</td> <td>El agua transita, requiere atención inmediata</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>Control y adoptar medidas de control</td> </tr> <tr> <td>Bajo</td> <td>Ajustar medidas para reducir el riesgo</td> </tr> <tr> <td>Negligente</td> <td>El riesgo es mínimo, no requiere atención</td> </tr> </table>	Alto	El agua transita, requiere atención inmediata	Medio	Control y adoptar medidas de control	Bajo	Ajustar medidas para reducir el riesgo	Negligente	El riesgo es mínimo, no requiere atención
Alto	El agua transita, requiere atención inmediata								
Medio	Control y adoptar medidas de control								
Bajo	Ajustar medidas para reducir el riesgo								
Negligente	El riesgo es mínimo, no requiere atención								
Movimiento de Masa: [norma_predio.movimientos_de_masa]									
Peligro Volcánico: [norma_predio.peligro_volcanico]									
RESTRICCIONES DEL PREDIO									
Restricción de Vías**: [norma_predio.vv]									
Restricción de Ríos***: [norma_predio.vv]									
<small>** Información de las diferentes reglas provistas en la presente a los propietarios con el fin de aplicar acciones necesarias y poder mantener un adecuado uso del predio de acuerdo con el ordenamiento jurídico. *** Información de las diferentes reglas provistas en la presente a los propietarios con el fin de aplicar acciones necesarias y poder mantener un adecuado uso del predio de acuerdo con el ordenamiento jurídico. **** En caso de restricción por la fuerza de protección de ríos y quebradas el propietario deberá presentar la debida y para cumplir infraestructura de acuerdo a la Ordenanza.</small>									

INFORME PREDIAL DE TENENCIA DE TIERRA CANTÓN MEJÍA									
USO DEL SUELO									
<table border="1"> <tr> <td>Clasificación de Suelo Según el Catastro Oficial:</td> <td>[norma_suelo.cla]</td> </tr> <tr> <td>Categoría Referente a la Expansión Urbana:</td> <td>[norma_suelo.sub]</td> </tr> </table>	Clasificación de Suelo Según el Catastro Oficial:	[norma_suelo.cla]	Categoría Referente a la Expansión Urbana:	[norma_suelo.sub]	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Descripción</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Descripción			
Clasificación de Suelo Según el Catastro Oficial:	[norma_suelo.cla]								
Categoría Referente a la Expansión Urbana:	[norma_suelo.sub]								
Descripción									
<small>Se refiere la identificación de los usos de suelo ya definidos en función de la LOTUSG Art. 28 y la implementación de una nueva categoría denominada expansión urbana con el fin de evitar una urbanización rápida, preservar y recuperar el suelo urbano y las áreas de expansión ya definidas dentro del sistema en función del Art. 27.</small>									
USO DEL SUELO									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Líneas de Acción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>URBANA</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar proyectos sustentables ambientalmente en zonas baldías. Promover uso eficiente del suelo y edificaciones urbanas vacantes. </td> </tr> <tr> <td>RURAL</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Garantizar los derechos de uso y gestión de tierras, territorios, equidad, semillas, ganado y biodiversidad local. Controlar el fraccionamiento del suelo rural de vocación agrícola. No autorizar construcciones en predios rurales. Controlar la presión urbana sobre zonas agrícolas y rurales, territorios de valor patrimonial cultural y natural, reservas de biodiversidad, corrientes ecológicas, fuentes de agua y áreas verdes. </td> </tr> <tr> <td>EXPANSIÓN URBANA</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Implementar proyectos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo previa aprobación de la autoridad Agraria. Identificar terrenos seguros para los dueños de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernizar los asentamientos informales. Limitar el asentamiento de industrias que provoquen un impacto negativo ambiental. Regular las proyecciones del mercado de suelo e inmobiliario formal e informal, garantizando la sustentabilidad del suelo rural. </td> </tr> </tbody> </table>	Zona	Líneas de Acción	URBANA	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar proyectos sustentables ambientalmente en zonas baldías. Promover uso eficiente del suelo y edificaciones urbanas vacantes. 	RURAL	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar los derechos de uso y gestión de tierras, territorios, equidad, semillas, ganado y biodiversidad local. Controlar el fraccionamiento del suelo rural de vocación agrícola. No autorizar construcciones en predios rurales. Controlar la presión urbana sobre zonas agrícolas y rurales, territorios de valor patrimonial cultural y natural, reservas de biodiversidad, corrientes ecológicas, fuentes de agua y áreas verdes. 	EXPANSIÓN URBANA	<ul style="list-style-type: none"> Implementar proyectos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo previa aprobación de la autoridad Agraria. Identificar terrenos seguros para los dueños de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernizar los asentamientos informales. Limitar el asentamiento de industrias que provoquen un impacto negativo ambiental. Regular las proyecciones del mercado de suelo e inmobiliario formal e informal, garantizando la sustentabilidad del suelo rural. 	<small>Líneas de acción: Se definieron en función de la propuesta de Agenda Hábitat Sostenible del Ecuador 2036 con el objetivo de definir y orientar estrategias de intervención territorial en relación al uso urbano, rural y de expansión urbana.</small>
Zona	Líneas de Acción								
URBANA	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar proyectos sustentables ambientalmente en zonas baldías. Promover uso eficiente del suelo y edificaciones urbanas vacantes. 								
RURAL	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar los derechos de uso y gestión de tierras, territorios, equidad, semillas, ganado y biodiversidad local. Controlar el fraccionamiento del suelo rural de vocación agrícola. No autorizar construcciones en predios rurales. Controlar la presión urbana sobre zonas agrícolas y rurales, territorios de valor patrimonial cultural y natural, reservas de biodiversidad, corrientes ecológicas, fuentes de agua y áreas verdes. 								
EXPANSIÓN URBANA	<ul style="list-style-type: none"> Implementar proyectos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo previa aprobación de la autoridad Agraria. Identificar terrenos seguros para los dueños de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernizar los asentamientos informales. Limitar el asentamiento de industrias que provoquen un impacto negativo ambiental. Regular las proyecciones del mercado de suelo e inmobiliario formal e informal, garantizando la sustentabilidad del suelo rural. 								

El informe predial de tenencia de tierra fue elaborado de tal manera que refleje toda la información contenida en sistema de administración de tierras, con el fin de dar información útil tanto al usuario como al municipio, por lo que se implementó un ítem denominado líneas de acción (Anexo L).

Referente a las líneas de acción se definieron en función de la propuesta de Agenda Hábitat Sostenible del Ecuador 2036 con el objetivo de definir y orientar estrategias de intervención territorial con respecto al uso urbano, rural y de expansión

urbana, esta última como posible nueva categoría de la planificación parroquial, permitiendo con ello controlar el crecimiento de la mancha urbana tratando de prevenir el deterioro de los recursos del área urbana.

Siendo posible su definición en función de las características de tipo morfológico, físico ambiental y socioeconómico como lo describe el Artículo 41 de la LOOTUGS definida por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2018b) y como lo planteado en esta metodología.

Generación de Geodatabase

Una Geodatabase es un formato de almacenamiento de geoinformación que permite ordenar dentro de un mismo archivo mediante codificación de datos geográficos digitales, elementos de todo tipo tales como vector y raster (imágenes). A través de los *feature dataset* o *raster dataset* se organiza la información en grupos que se almacenan en *Feature Class* (grupo de puntos, líneas o polígonos representados como objetos geográficos) con la mismas extensión y sistema de coordenadas (Sosa Reyes & Villatoro, 2015).

La información obtenida fue distribuida en 2 geodatabases: la primera únicamente con los *feature class* obtenidos de las coberturas de suelo a partir del procesamiento de imágenes y sus respectivos *raster dataset*, y otra geodatabase con la información de la cartografía base y otros insumos temáticos empleados para las simulaciones de crecimiento urbano y la implementación del STDM; en este último se agrupó en 5 datasets que se describen a continuación (Figura 63):

Uso Urbano: *Dataset* que contiene ocho *feature class*, con la reclasificación obtenida de las coberturas de suelo: urbano y no urbano de los años 1991,1996,2001,2004,2007,2009,2015 y 2020 a escala 1:100000.

Variables Asentamientos Humanos: *Dataset* que contiene 1 *feature class* relacionado a los poblados e infraestructura de servicios básicos a escala 1:50000.

Variable Biofísico: *Dataset* con 9 *feature class* que corresponden a las variables que pertenecen o influyen en el medio natural sobre el cual se asienta la población y realizan sus actividades.

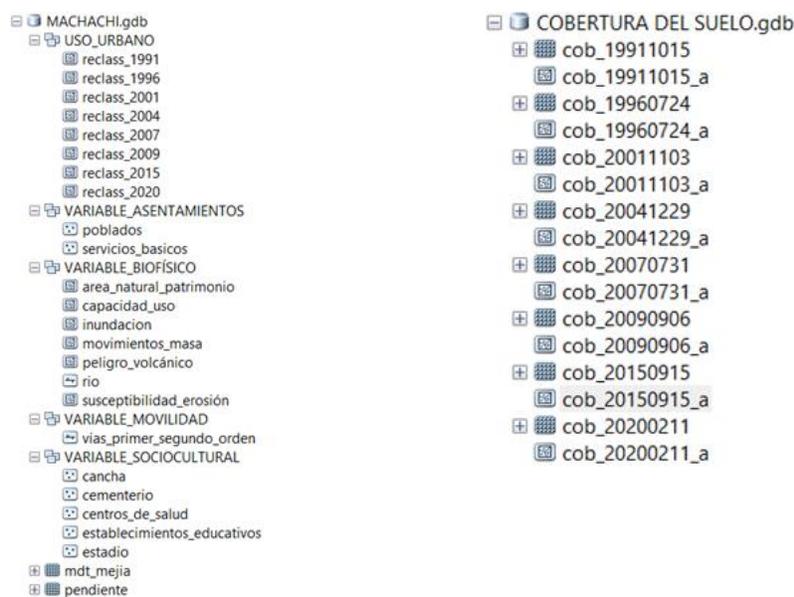
Variable Movilidad: *Dataset* que corresponde a 1 *feature class* de vías principales y secundarias que favorecen a la articulación del territorio.

Variable Sociocultural: *Dataset* que contiene 5 *feature class* relacionado con la cobertura de servicios donde influyen educación, salud, y otros aspectos que intervienen en la población.

Adicionalmente se incluyó dos *raster dataset* que corresponde al modelo digital de elevación.

Figura 63

Geodatabases.



Nota. Gráfica izquierda se encuentra la geodatabase generada para cada una de las variables analizadas dentro del proceso de simulación y para la incorporación al software STDM. En la gráfica derecha se encuentran las coberturas generadas para los ocho años seleccionados a través de la interpretación de imágenes satelitales.

Capítulo IV

Resultados

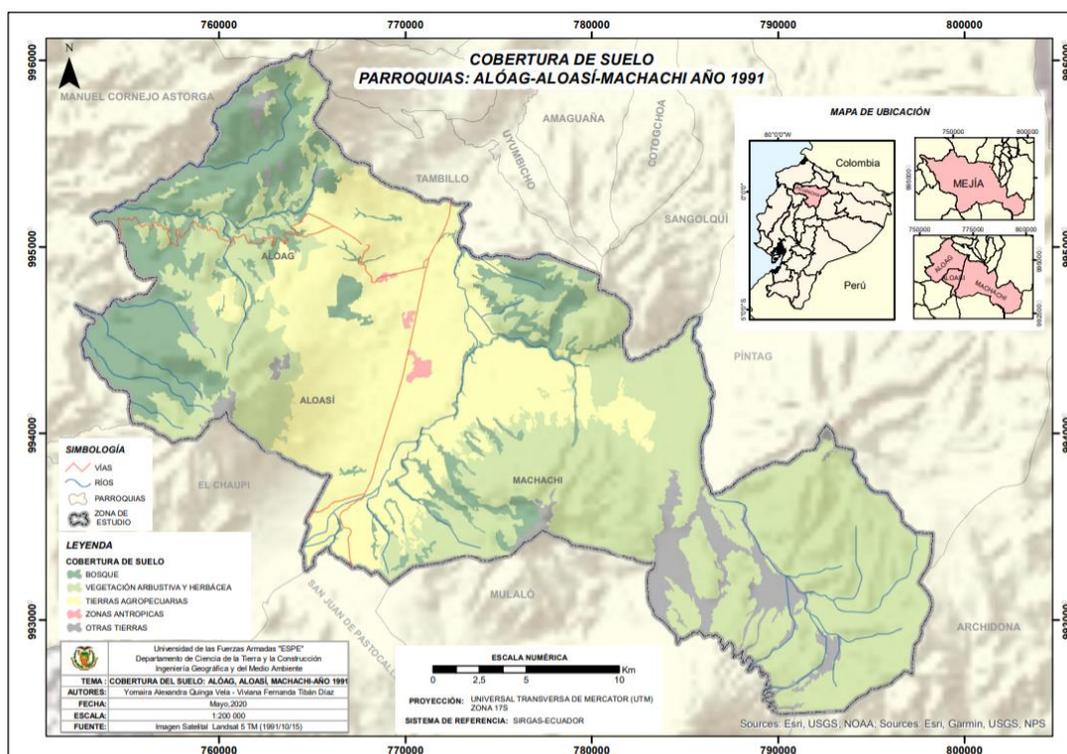
Análisis de las coberturas de suelo

Mapa de Cobertura del suelo del año 1991

Dentro de área de estudio se determinó que la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea es la de mayor predominancia con un 46.8% a nivel de las tres parroquias representando casi la mitad de la superficie analizada, seguida de la cobertura de Tierra Agropecuaria con un 29.6%; Bosque con un 18.3%, Otras Tierras con un 5.1% y finalmente Zona Antrópica con un 0.3%.

Figura 64

Mapa de Cobertura del suelo para el año 1991.



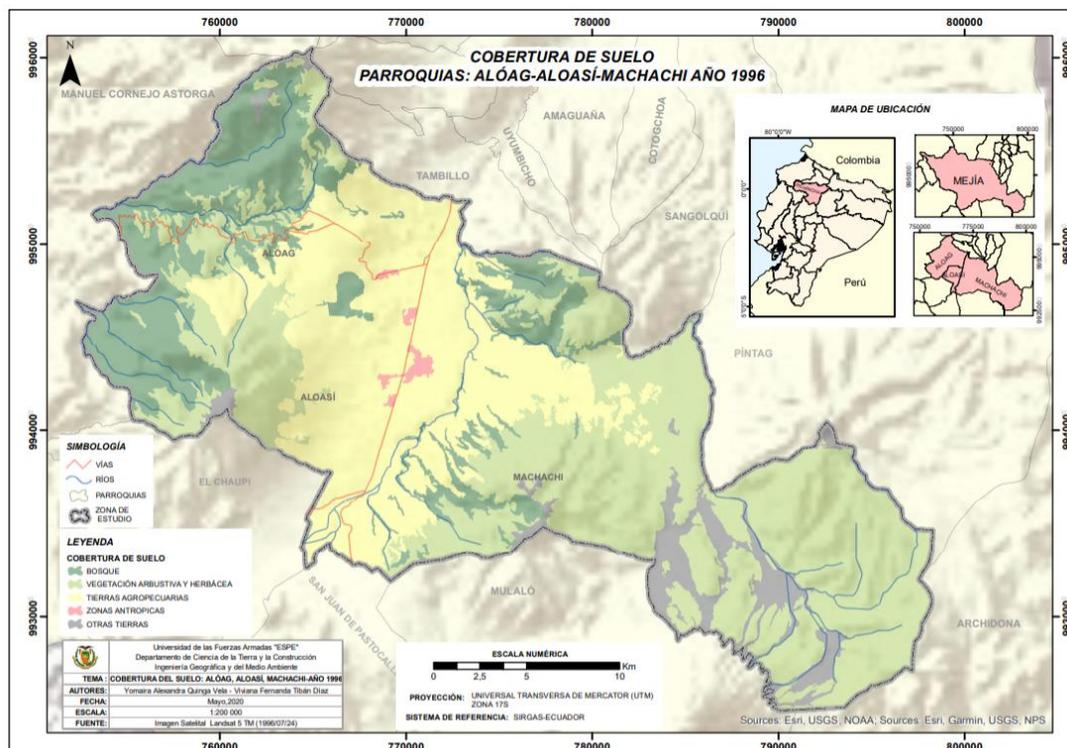
Mapa de Cobertura del suelo del año 1996

La superficie que presentó una mayor superficie con un 44 % fue Vegetación Arbustiva y Herbácea que representa la reducción de cobertura con respecto a la del

año 1991 de un 2.8%; por el contrario, las coberturas Tierras Agropecuarias con un 30.8%, Bosque con el 19.2%, Otras Tierras con el 5.5% y Zona Antrópica con 0.5% presentaron un incremento con relación a los resultados obtenidos para el año 1991.

Figura 65

Mapa de Cobertura del suelo para el año 1996.

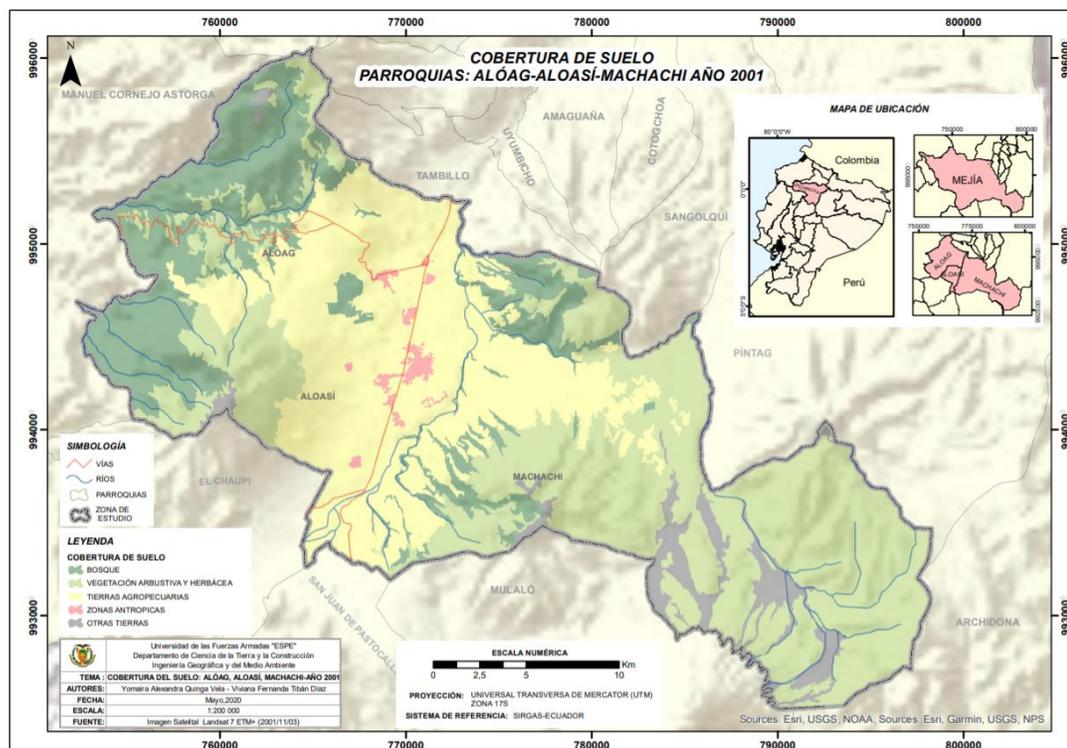


Mapa de Cobertura del suelo del año 2001

Las coberturas que presentaron mayores incrementos de área fueron Vegetación Arbustiva y Herbácea junto con Tierra Agropecuaria en un 41.5% y 32.9% respectivamente. Por otro lado, en este período la cobertura que redujo su área a diferencia de 1996 fue Otras Tierras, debido entre otros, a la reducción del glaciar en los alrededores del volcán Cotopaxi, factor que depende directamente de las condiciones meteorológicas que presenta el área al momento de capturar la imagen, el sensor. Sin embargo, Bosque y Zona Antrópica se incrementaron en un 20% y 0.9% del total de la superficie respectivamente.

Figura 66

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2001.

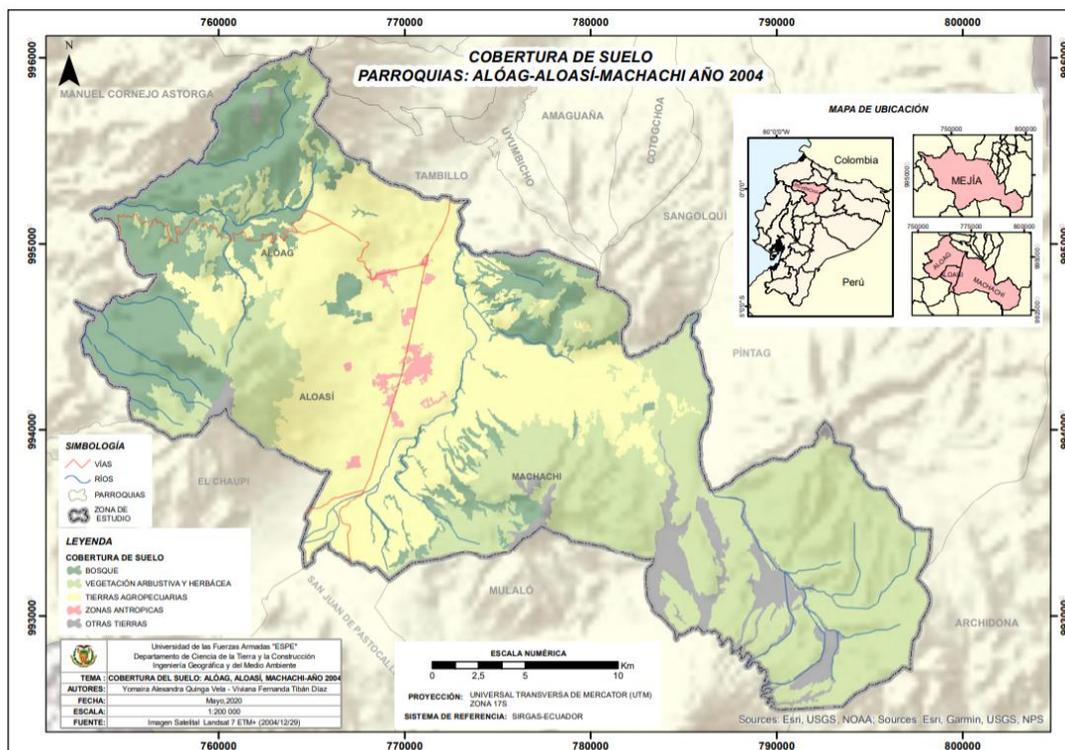


Mapa de Cobertura del suelo del año 2004

La cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea pese a presentar menor superficie con relación a la de años anteriores tiene un 39.8% de la superficie total, mientras que Tierra Agropecuaria tuvo un incremento del 2 % con respecto al año 2001 , seguida de Zona Antrópica con un 1.0% y Otras Tierras con 4.8% del total de la superficie; la cobertura Bosque por el contrario se redujo un 1.8 % con relación al año 2001, siendo probablemente la deforestación y plantaciones forestales las causas que generan esta variación de la superficie.

Figura 67

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2004.

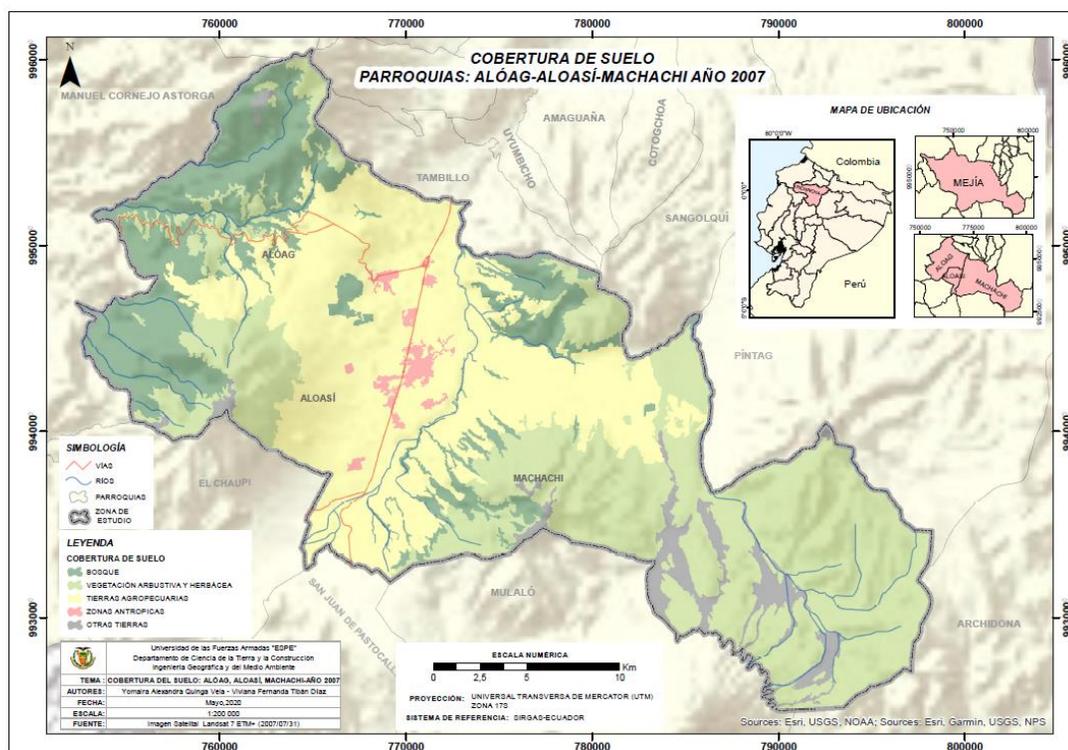


Mapa de cobertura de suelo del año 2007

La cobertura predominante continuó siendo la Vegetación Arbustiva y Herbácea con un 39.5% del área total, sin embargo, en comparación con el año 2004 se obtuvo una pequeña reducción de 0.30 % con relación a la superficie de la cobertura, por otro lado, para las coberturas de Bosque y Otras Tierras ocuparon un 19.5% y 4.2% respectivamente del total de la superficie de la zona de estudio. En este período se ve un incremento en Tierra Agropecuaria de 60 761.33 ha y en Zona Antrópica de 149.90 ha con relación al año 2004.

Figura 68

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2007.

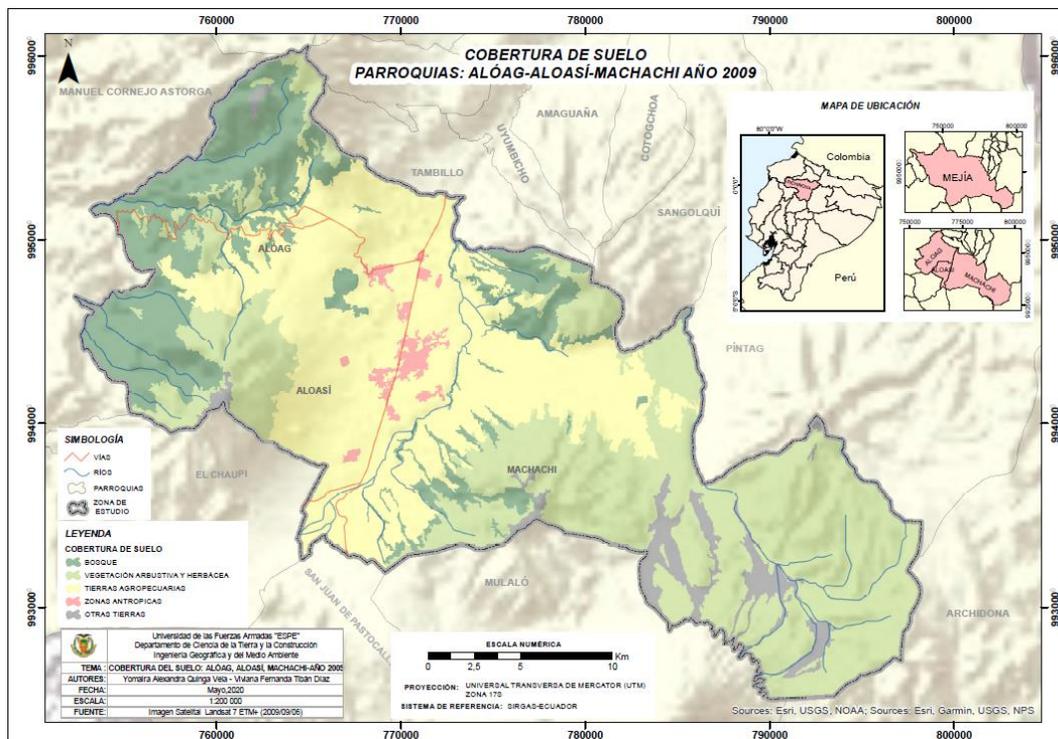


Mapa de cobertura de suelo del año 2009

En el mapa del año 2009 se determinó un 39.9% de Vegetación Arbustiva y Herbácea, 35.7% de Tierra Agropecuaria, 19% de Bosque, un 4% de Tierra Agropecuaria y 1.4% de Zona Antrópica, que en comparación del año 2007 no presenta un cambio significativo en los porcentajes. La Vegetación Arbustiva y Herbácea sigue predominando y aunque el menor porcentaje es de Zona Antrópica, se puede ver que cada año sigue incrementando su extensión.

Figura 69

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2009.

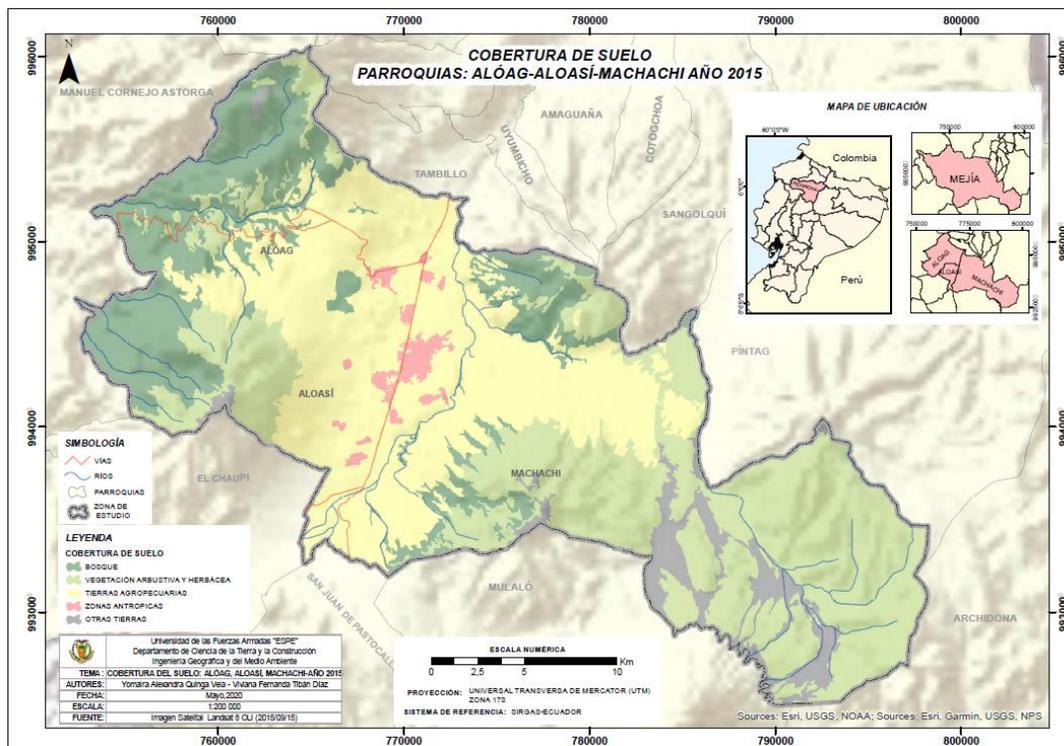


Mapa de cobertura de suelo del año 2015

En el año 2015 el área de estudio presenta una cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea del 37% muy similar a la cobertura de Tierra Agropecuaria con el 36%, la cobertura de Bosque corresponde al 20%, la cobertura de Otras Tierras aumenta a un 5%, y finalmente la zona antrópica presenta un 2% de la cobertura total, alcanzando una extensión que representa 4 veces la del año inicial del estudio (1991).

Figura 70

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2015.

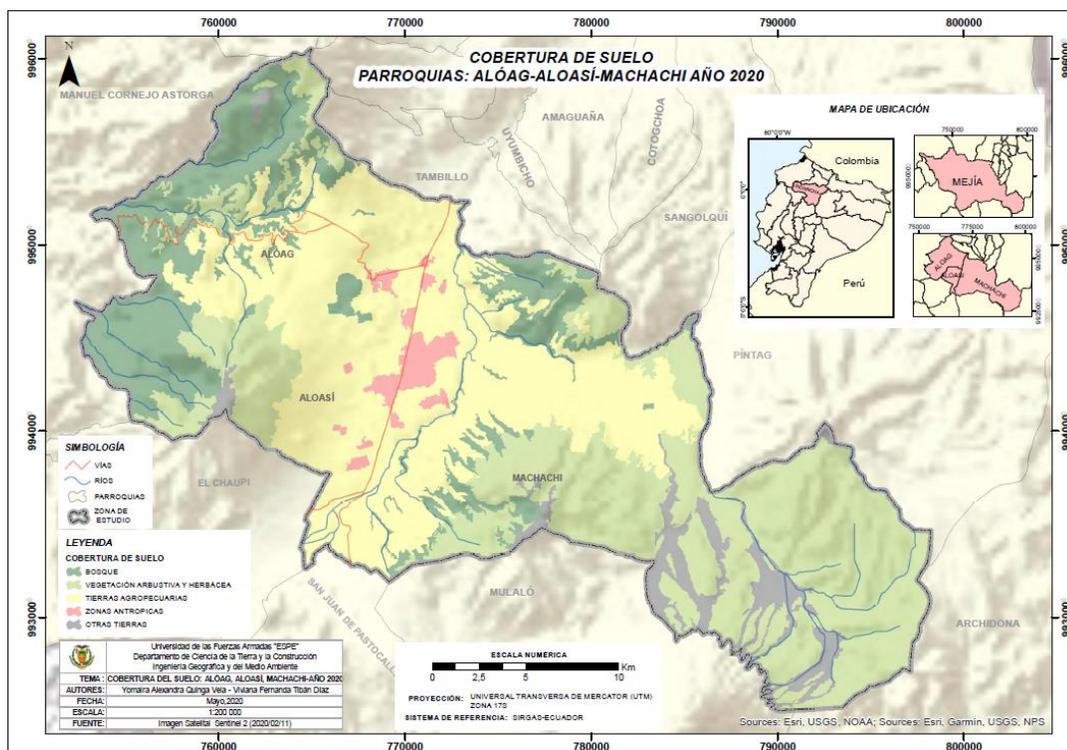


Mapa de cobertura de suelo del año 2020

Finalmente, la superficie que presentó un mayor porcentaje en el año 2020 es Tierra Agropecuaria con un 37.3% seguido de Vegetación Arbustiva y Herbácea con un 36.96%, las coberturas de Bosques, Otras Tierras y Zona Antrópica tiene un 18.5%, 5.1% y 2.1% respectivamente, evidenciando a este año, un notable crecimiento en Tierra Agropecuaria y el continuo incremento en Zona Antrópica.

Figura 71

Mapa de Cobertura del suelo para el año 2020.



Análisis de Cambios de Coberturas del Suelo

A partir de los mapas obtenidos se procedió a analizar las tasas de cambio y matrices de transición de cobertura del suelo entre los años más relevantes en un período de 10 años, de forma tal que se pueda abordar la modificación y dinámica del paisaje no solo con relación a factores físicos sino a los factores sociales e históricos que han alterado su crecimiento o por el contrario han favorecido a su reducción.

Cambios de la cobertura del suelo en el período 1991-2020

Para determinar las coberturas que se encuentra en incremento o decremento se comparó los resultados obtenidos de todos los años, siendo evidente que la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea decrece en cada año, al contrario de las Tierra Agropecuaria que incrementan su extensión año a año, llegando al punto de

intersección en el año 2020 en donde el valor de estas dos coberturas es muy similar. Del mismo modo, las Zonas Antrópicas presenta un incremento importante en el período de estudio. Las coberturas de Bosque y Otras Tierras en general no presentan variaciones significativas (Figura 72).

Figura 72

Variaciones de la cobertura de suelo en ha para los ocho períodos de análisis.

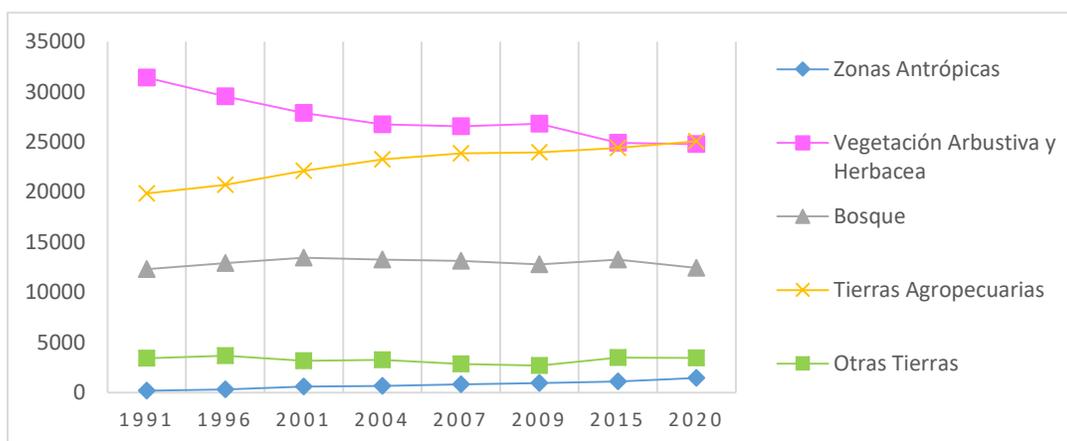


Tabla 29

Análisis de Coberturas para cada año.

Zonas Antrópicas		Vegetación arbustiva y herbácea		Bosque		Tierra Agropecuaria		Otras Tierras	
(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1991									
196.15	0.3	31418.71	46.8	12296.56	18.3	19877.22	29.6	3409.64	5.1
1996									
321.36	0.5	29556.28	44.0	12921.77	19.2	20728.33	30.8	3670.54	5.5
2001									
591.44	0.9	27881.12	41.5	13437.69	20.0	22113.00	32.9	3175.03	4.7
2004									
667.00	1.0	26755.31	39.8	13273.58	19.8	23255.02	34.6	3247.36	4.8
2007									
816.90	1.2	26552.23	39.5	13131.01	19.5	23862.64	35.5	2835.51	4.2
2009									
939.57	1.4	26806.47	39.9	12794.33	19.0	23960.20	35.7	2697.71	4.0
2015									
1116.5	1.7	24923.60	37.1	13257.30	19.7	24414.71	36.3	3486.21	5.2
2020									
1444.4	2.1	24772.16	36.9	12448.56	18.5	25086.97	37.3	3446.19	5.1

Al analizar en conjunto las coberturas para cada año (Tabla 29) de estudio se determinó que la cobertura de Zona Antrópica presenta un crecimiento positivo, sin embargo, entre los años 2009 y 2020 se incrementa entre un 0.3 % y 0.4% más que en los años anteriores que únicamente presentan una variación del 0.2% entre cada año (Tabla 29). Se observa una presión directa ejercida por el gran núcleo urbano que representa Machachi sobre la parroquia de Aloasí, a consecuencia de su cercanía y el desarrollo de actividades económicas, únicamente dividida por la vía Panamericana Sur (E35). Alóag de igual manera presenta un crecimiento de su mancha urbana influenciado principalmente por la presencia del corredor arterial Alóag-Santo Domingo (E20) que comunica con las provincias de la costa, además de ser una zona estratégica donde se realizan actividades manufactureras entre ellas combustibles, acero y bodegaje.

La cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea por el contrario entre los años 1991 y 2001 se redujo de 46.8% a 41.5% es decir una variación del 5.3% sin embargo para los años restantes la superficie no varió considerablemente del 0.2 % afectando la reducción de superficie a otras coberturas por el proceso de expansión especialmente de Tierra Agropecuaria y Zona Antrópica provocadas por el ser humano. El tipo de vegetación herbazal y arbustiva (matorral) característico de esta zona se ubica principalmente en los flancos de los macizos montañosos, alrededor de los cultivos, pastizal y mosaico agropecuario (Tabla 29).

La categoría Bosque constituida principalmente por bosque nativo húmedo y plantaciones forestales donde se conserva especies como arrayanes, pumamaqui, quishuares, cedros, podocarpus y alisos para el año 1991 presentó un área de 12296.56 hectáreas incrementándose para el año 2001 en un 1.7% sin embargo para los años restantes el área se redujo en un 19 % variando entre 0.1% a 0.7% , variación que fluctúa en esos rangos, relacionada por plantaciones forestales de bosques de pino,

eucalipto entre otros que van decreciendo a diferencia de los años 80 donde crecieron a nivel cantonal en un 60%. Además, se ubican en las zonas más elevadas de la cuenca con un mayor porcentaje en la parte occidental de las parroquias de Alóag y Aloasí (Tabla 29).

Con respecto a la cobertura de Tierras Agropecuarias, el año 1991 presentó un área de 19877.22 hectáreas abarcando haciendas completas, no obstante, para los años restantes el crecimiento varió un 2%, llegando a obtenerse para el año 2020, 25086.97 hectáreas presente en haciendas que aún se mantienen o han sido fragmentadas por el crecimiento urbano. Se desarrollan en las planicies del valle y los flancos inferiores de los conjuntos montañosos principalmente por sus condiciones naturales además de la apertura de vías, incorporación de maquinaria agrícola, desmonte y preparación de terrenos con la finalidad de generar productos en su mayoría lácteos y en una menor proporción cereales, tubérculos, hortalizas, frutas entre otras, manejando correctamente los pastizales como fuente de alimentación de ganado vacuno, lo que hace especialmente a Machachi una de las zonas ganaderas más importantes a nivel nacional, ocupando la mayor parte el valle (Tabla 29).

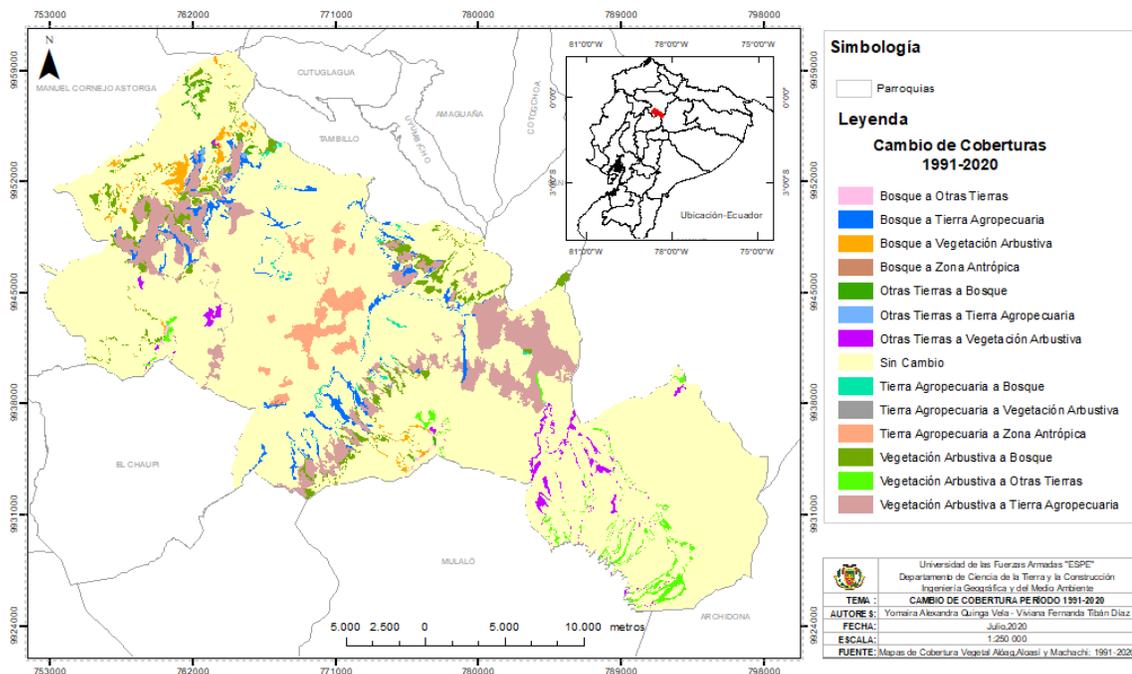
Finalmente, la cobertura de Otras Tierras presenta una variación con una reducción del 4.0% para el año 2009 con relación al primer año de análisis 1991 en el que presentaba un porcentaje de 5.1% esto principalmente por la influencia que ejercen los procesos glaciares dentro de esta cobertura, generando fluctuaciones irregulares que no presentan una tendencia esperada de crecimiento, continua o creciente. A nivel general tanto glaciario como suelos desnudos se presentan en la zona suroriental del volcán Cotopaxi (Tabla 29).

En la Figura 74 se observan los diferentes cambios de cobertura existentes en el período 1991- 2020, encontrándose así un crecimiento de las zonas antrópicas sobre

zonas agropecuarias mismas que disminuyen su extensión como lo descrito anteriormente.

Figura 73

Mapa de cambio de coberturas entre los años 1991-2020.



Cambios de la cobertura del suelo en el período 1991-2001

Durante el período 1991-2001 la cobertura del suelo que presentó un mayor desarrollo fue la zona antrópica con una tasa de cambio de 201.5% con un incremento anual del 11.67% que representan tres veces más de lo que se tenía para el año 1991, provenientes principalmente de Tierras Agropecuarias y Bosques que cedieron aproximadamente 387 ha y 8 ha respectivamente, principalmente en zonas de las parroquias Alóag y Aloasí. Para las áreas de Vegetación Arbustiva y Herbácea se identificó una pérdida de alrededor del 11% del total de su superficie con una disminución de 3537.59 ha que pasaron a convertirse en tierras agropecuarias y Bosque.

Asimismo, Bosque con 12296.56 ha para el año 1991 presentó un incremento del 0.89% para el año 2001 mientras que la pérdida más importante que tuvo fue hacia Tierra Agropecuaria con 636 ha.

En la Tabla 31 se verifica la ganancia de Tierra Agropecuaria con 2235.78 ha que han aumentado a una tasa de cambio anual del 1.07% evidenciándose una tendencia creciente de cultivos anuales, permanentes y pastizales. Adicionalmente la cobertura de Otras Tierras fue modificada por el incremento de la Vegetación Arbustiva y Herbácea, generando una tasa de pérdida anual de 0.71% que representa la disminución de 234.61 ha.

Tabla 30

Tasa de Cambio de las coberturas entre los años 1991-2001.

Cobertura	Año 1991 (ha)	Año 2001 (ha)	Superficie De Cambio (ha)	Cambio (%)	Tasa Anual	Tipo
Zona Antrópica	196.15	591.44	395.29	201.5%	11.67%	Incremento
Vegetación Arbustiva y Herbácea	31418.71	27881.12	-3537.59	-11.3%	-1.19%	Decremento
Bosque	12296.56	13437.69	1141.13	9.3%	0.89%	Incremento
Tierra Agropecuaria	19877.22	22113.00	2235.78	11.2%	1.07%	Incremento
Otras Tierras	3409.64	3175.03	-234.61	-6.9%	-0.71%	Decremento

Tabla 31

Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 1991-2001.

		Año 2001						
Año 1991	Categoría	Unidades	Bosque	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Área Total
	Bosque	[ha]	11134,94	13,61	636,69	496,16	8,17	12289,57
[%]		16,57	0,02	0,95	0,74	0,01	18,29	
Otras Tierras	[ha]	138,54	2674,36	1,59	590,47	0,00	3404,96	
	[%]	0,21	3,98	0,00	0,88	0,00	5,07	
Tierra Agropecuaria	[ha]	348,28	0,00	18784,93	374,34	387,71	19895,26	
	[%]	0,52	0,00	27,95	0,56	0,58	29,61	

Categoría	Unidades	Bosque	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Área Total
Vegetación Arbustiva y Herbácea	[ha]	1809,53	481,16	2709,80	26411,53	0,00	31412,03
	[%]	2,69	0,72	4,03	39,30	0,00	46,75
Zona Antrópica	[ha]	0,00	0,00	0,00	0,00	196,46	196,46
	[%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29
Área Total		13431,29	3169,13	22133,01	27872,5	592,34	67198.3

Pese a que en los inicios del siglo XX la producción agrícola se hizo en pequeñas Unidades de Producción Agrícola (UPAs) con áreas menores a 1 ha y las leyes de reforma agraria de los años 1964, 1973 y 1979 no lograran resolver la racional redistribución de la tierra, no fue hasta la promulgación de La Ley de Desarrollo Agrario en 1994 que el territorio fue visto dentro de un proceso mercantilista que buscaba una mejora en la matriz agroexportadora, promoviendo el libre mercado y arrendamiento de tierras bajo ningún control, imposibilitando consolidar un modelo de agricultura familiar campesina basada en la soberanía alimentaria (Escobar, 2018; S. Salazar, 1941).

Provocando que, en cinco años de funcionamiento, tanto banqueros como terratenientes realizaran especulaciones financieras usando la tierra, lo que resultó en los sobrevalorados “créditos vinculados” además de beneficiar a las haciendas modernas de las partes bajas y planas del valle, con mejores condiciones agroproductivas, cediendo las partes menos productivas para parcelas en sectores como páramos o tierras altas con pendientes fuertes. Siempre enfocándose en ser el centro de servicios de la producción agropecuaria e industrial generando alimentos y materia prima mediante la homogeneización de las áreas agrícolas y ganaderas (Escobar, 2018).

Para principios del año 2000 ya se había iniciado un cierto giro del cultivo es decir los modelos hacendatarios aún presentaban un marcado contraste entre latifundios y minifundios donde grandes extensiones de terreno agrícola se orientaron a

la producción de cultivos no tradicionales de exportación como son el brócoli y flores, dándose un crecimiento de alrededor de 11 empresas de la industria florícola; además del desarrollo de pastizales cultivados para el aprovechamiento de la producción ganadera generado por la expansión de su industria .

Durante este período, pese a la aún notoria presencia de propiedades extensas de haciendas ganaderas, el 60 % de las propiedades y parcelas se desarrollaron a menos de 1 km de las arterias viales como la vía Panamericana que atraviesa las parroquias de Machachi y Aloasí junto con la carretera Alóag-Santo Domingo creada en 1963 que favoreció al crecimiento poblacional de Alóag. Es así que para el año 2001 se incrementa en un 28.56% y en un 24.50% tanto la población rural como urbana respectivamente con relación al año 1990, presentando de igual manera un predominio de la población rural, con 37.308 habitantes sobre 9.379 de la población urbana, producto de la transición que sufrieron los métodos productivos tradicionales por nuevas propuestas empresariales prevaleciendo los intereses sobre la propiedad, motivando el avance del área urbana sobre la frontera agrícola; además de la expansión de las tierras agropecuarias sobre las área de páramo en conjunto con la quema indiscriminada (INEC, 1990, 2001).

Figura 74

Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 1991-2001.

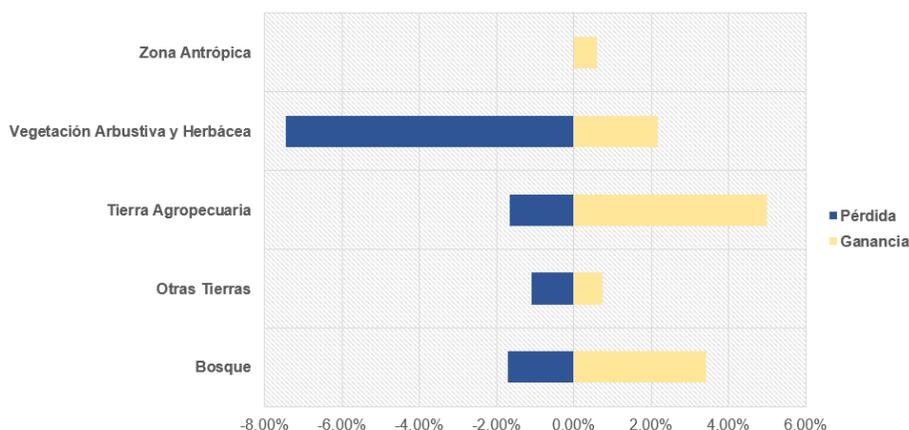
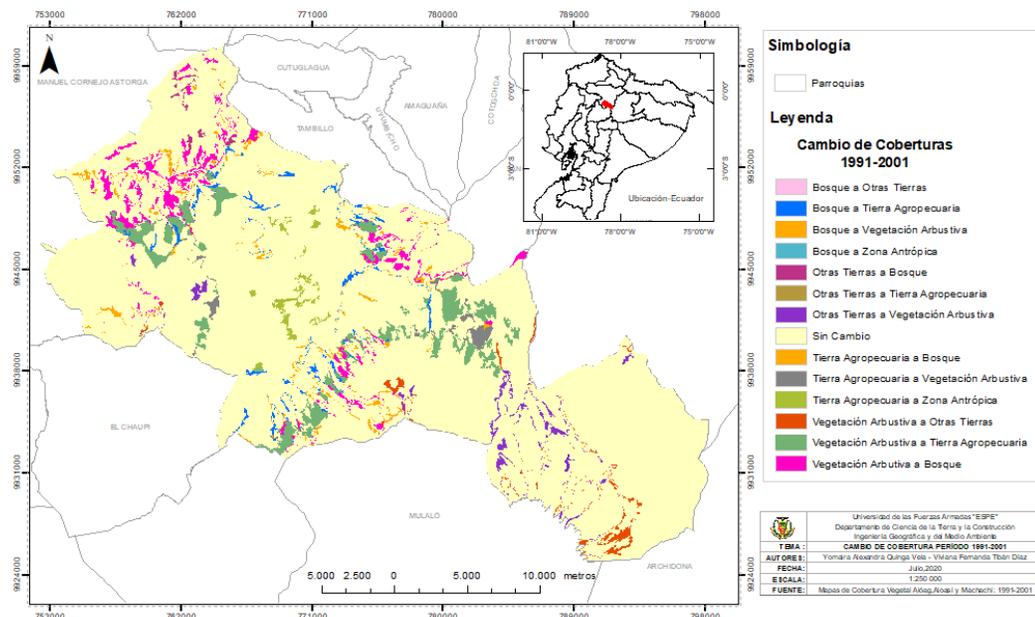


Figura 75

Mapa de cambio de coberturas entre los años 1991-2001.



Cambios de la cobertura del suelo en el período 2001-2009

Para el período de análisis del año 2001-2009, las parroquias Altag, Aloasí y Machachi, presentaron una disminución de 1 074 ha en la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea que representa un 3.9%; la cobertura de Bosque disminuyó en un 4.8% equivalente a 643 ha, con una tasa anual de crecimiento de 0.5%, la cobertura de Otras Tierras disminuyó en un 15% con relación al año 2001, el decremento del 1.6% anual se reflejó en las 477 ha pérdidas (Tabla 33).

Mientras que el incremento se evidenció en las coberturas de Zona Antrópica y Tierra Agropecuaria, con una tasa anual de 6% y 0.8%, el mayor incremento se atribuye a Tierra Agropecuaria con un aumento de 22 113 ha a 23 960 ha, teniendo una superficie de cambio de 1 847 ha con el 0.8% de tasa de cambio anual. La cobertura de Zona Antrópica presentó un incremento de 348 ha entre los 8 años con un porcentaje de cambio del 58.9% (Tabla 33)

Tabla 32

Tasa de Cambio de las coberturas entre los años 2001-2009.

Cobertura	Año 2001 (ha)	Año 2009 (ha)	Superficie De Cambio (ha)	Cambio (%)	Tasa Anual	Tipo
Zona Antrópica	591.44	939.57	348.13	58.9%	6.0%	Incremento
Vegetación Arbustiva y Herbácea	27881.12	26806.47	-1074.65	-3.9%	-0.4%	Decremento
Bosque	13437.69	12794.33	-643.36	-4.8%	-0.5%	Decremento
Tierra Agropecuaria	22113.00	23960.20	1847.20	8.4%	0.8%	Incremento
Otras Tierras	3175.03	2697.71	-477.32	-15.0%	-1.6%	Decremento

Dentro del período 2001-2009, alrededor de 772 ha de la cobertura Bosque se convirtieron en Tierra Agropecuaria, 482 ha de la misma cobertura pasaron a formar parte de la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea mientras que 12159.57 ha de Bosque se conservaron, representando el 17 % de la superficie total de la zona de estudio, de manera que se consideró que la cobertura Bosques presentó una pérdida de su superficie del 1.9% como se describe en la Tabla 34.

La cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea se vio afectada en su mayoría por Tierra Agropecuaria con una pérdida de 1 788.57 ha, frente a una ganancia de apenas 173.2 ha, representando el 3.5% de pérdida, además de ceder 117.21 ha a Otras Tierras y 419.27 ha que pasaron a la cobertura de Bosque. Tierra Agropecuaria es la cobertura que obtuvo mayor ganancia en este período con un 3.8% frente a una pérdida del 1.1%, está última correspondiente a 348,21 ha cedidas a la cobertura de Zona Antrópica y 198.22 ha que pasaron a formar parte de Bosque (Tabla 34).

Tabla 33*Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 2001-2009*

		Año 2009						
Año 2001	Categoría	Unidades	Bosque	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Área Total
	Año 2001	Bosque	[ha]	12159,57	20,41	771,99	482,40	0,00
[%]			18,10	0,03	1,15	0,72	0,00	20
Año 2001	Otras Tierras	[ha]	11,44	2555,30	1,18	591,06	0,00	3158,99
		[%]	0,02	3,80	0,00	0,88	0,00	5
Año 2001	Tierra Agropecuaria	[ha]	198,22	0,00	21416,26	173,20	348,21	22135,91
		[%]	0,29	0,00	31,87	0,26	0,52	33
Año 2001	Vegetación Arbustiva y Herbácea	[ha]	419,27	117,21	1788,57	25551,36	0,00	27876,41
		[%]	0,62	0,17	2,66	38,02	0,00	41
Año 2001	Zona Antrópica	[ha]	0,00	0,00	0,00	0,00	592,61	592,61
		[%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	1
Área Total			12788,5	2692,92	23978	26798,02	940,82	67198,3

El cambio de la cobertura del suelo en el período 2001-2009, se debe a varios factores tanto naturales como antrópicos. Los cambios más significativos de la cobertura de Tierras Agropecuarias se dieron en la ganancia de hectáreas provenientes de la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea, extendiendo aún más el límite agropecuario el cual representa al sector primario que según el Censo 2010 abarca al 24.25% de la Población Ocupada por Rama de Actividad (PORA) del sector rural y el 12.17% del urbano; sin embargo, el crecimiento de la Zona Antrópica significa la pérdida de Tierras Agropecuarias, ya que, debido a la expansión urbana las Tierras Agropecuarias que se encuentran en los límites de la Zona Antrópica van cambiando.

Alóag disminuyó 6 veces su crecimiento en el período 2001-2010 al igual que Machachi que no experimentó mayor diferencia en sus tasas de crecimiento poblacional. Siendo los proyectos de construcción la principal rama de actividad que se desarrolló en el año 2001 con el incremento de 648 empleos en un 46% además de las

industrias manufactureras con 654 empleos que representa un 49% y agricultura, ganadería, caza y silvicultura con 1335 empleos generados.

Otro de los factores es el crecimiento demográfico. De acuerdo con los datos del censo del 2001 la población urbana era de 12 469 habitantes y la población rural fue de 50 419 habitantes, frente a una población para el 2010 de 8 423 habitantes en zonas urbanas y 64 820 habitantes en zona rural, esto representa una variación de 14 401 habitantes en las zonas rurales y 4 046 habitantes en zonas urbanas.

Figura 76

Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 2001-2009.

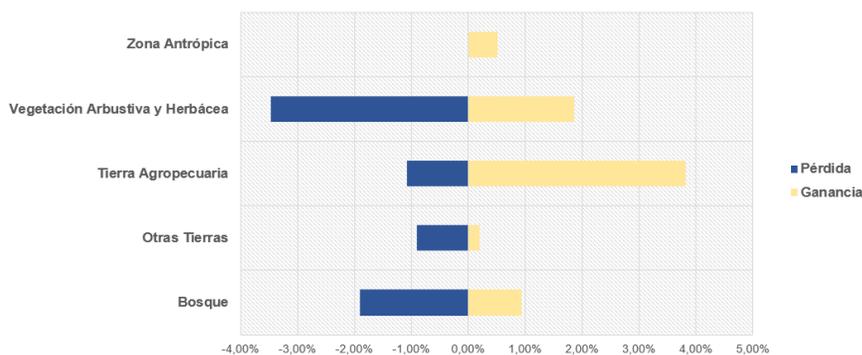
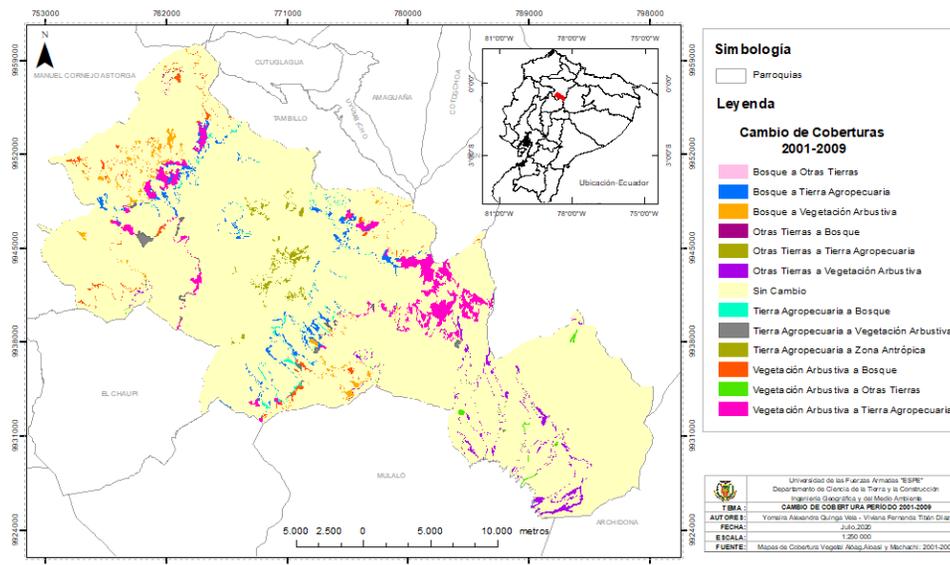


Figura 77

Mapa de cambios de coberturas para el período 2001-2009.



Este crecimiento es importante en la dinámica del área de estudio, la misma que responde a la necesidad de mano de obra que requiere las diferentes fábricas ubicadas en el cantón y la actividad ganadera en las partes rurales (IEE (2013) citado en GAD Municipal del Cantón Mejía (2014)). La concentración poblacional se debe a varios componentes; el principal se relaciona a la presencia de servicios básicos, infraestructura de educación, salud y vial sobre todo la vía Panamericana Sur (E35), que influyen en la migración interna, debido a las ventajas comparativas sociales y económicas entra la zona rural y urbana.

Cambios de la cobertura del suelo en el período 2009-2020

En los años transcurridos entre 2009 y 2020 se evidenció, al igual que en los períodos anteriores, una disminución de la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea en un 7.6 % pasando de 26 806.47 ha a 24 772.16 ha, es decir, en este período se evidenció una pérdida de 2 034.31 ha con un decrecimiento anual del 0.7%. De forma similar, la cobertura de Bosque sufrió una pérdida de 345.77 ha, que representa el 0.6% de cambio en su cobertura con una tasa anual del 0.2% decremento; su extensión paso de 12 794.33 ha a 12 448.56 ha.

En cambio, la cobertura de Tierra Agropecuaria presentó un incremento anual de 0.4% con el que se logró un incremento de 1 126.77 que representa un 4.7% de cambio, de igual manera, Zona Antrópica tuvo un crecimiento de 939.57 ha a 1 444.39 ha con un crecimiento anual del 4.9% siendo el mayor en este período y consiguiendo un 0.8% de cambio a su favor. La cobertura de Otras Tierras presentó un incremento del 27.7%, ganando 748.48 ha, alcanzando a un área de 3 446.19 ha para el presente año como se describe en la Tabla 35.

Tabla 34

Tasa de Cambio de la cobertura vegetal entre los años 2009-2020.

Cobertura	Año 2009 (ha)	Año 2020 (ha)	Superficie De Cambio (ha)	Cambio (%)	Tasa Anual	Tipo
Zona Antrópica	939.57	1444.39	504.82	53.7%	4.9%	Incremento
Vegetación Arbustiva y Herbácea	26806.47	24772.16	-2034.31	-7.6%	-0.7%	Decremento
Bosque	12794.33	12448.56	-345.77	-2.7%	-0.2%	Decremento
Tierra Agropecuaria	23960.20	25086.97	1126.77	4.7%	0.4%	Incremento
Otras Tierras	2697.71	3446.19	748.48	27.7%	2.5%	Incremento

Las pérdidas de la cobertura de Bosque se vieron reflejadas en Otras Tierras, Tierra Agropecuaria y Vegetación Arbustiva y Herbácea en 30.56 ha, 780.03 ha y 567.2 ha respectivamente; sin embargo, las ganancias en su extensión se atribuyeron a Vegetación Arbustiva y Herbácea con 613.44 ha y 392.64 ha de Tierra Agropecuaria. Respecto a las demás pérdidas de la cobertura Vegetación Arbustiva y Herbácea se evidencia que 1 406.8 ha pasaron a ser Tierra Agropecuaria, a pesar de que 392.69 ha de Tierra Agropecuaria cambiaron a esta cobertura, no minimiza el impacto en la pérdida de su cobertura. La cobertura de Otras Tierras ganó 835.13 ha de extensión provenientes de la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea. Por otro lado, Zona Antrópica incluyó 505.99 ha de Tierra Agropecuaria y no tuvo ningún decremento de su extensión (Tabla 36).

Tabla 35

Matriz de Tabulación Cruzada entre los años 2009-2020.

		Año 2020						
Año 2009	Categorías	Unidades	Bosque	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Área Total
	Bosque		[ha]	11414,57	30,56	780,03	567,02	0,00
		[%]	16,99	0,05	1,16	0,84	0,00	19,04

Categoría	Unidades	Bosque	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Zona Antrópica	Área Total
Otras Tierras	[ha]	26,01	2576,98	0,00	93,23	0,00	2696,22
	[%]	0,04	3,83	0,00	0,14	0,00	4,01
Tierra Agropecuaria	[ha]	392,69	0,22	22905,77	170,44	505,99	23975,12
	[%]	0,58	0,00	34,09	0,25	0,75	35,68
Vegetación Arbustiva y Herbácea	[ha]	613,44	835,13	1406,80	23938,99	0,00	26794,36
	[%]	0,91	1,24	2,09	35,62	0,00	39,87
Zona Antrópica	[ha]	0,00	0,00	0,00	0,00	940,39	940,39
	[%]	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40
Área Total		12446,71	3442,89	25092,6	24769,68	1446,38	67198,3

A nivel cantonal el territorio se caracteriza por la fertilidad de sus suelos, ubicación geográfica y climática que favorece el crecimiento del mosaico agropecuario. Es así que en el período 2009-2020 se destacó el desarrollo de plantaciones forestales con fines productivos dando apertura a espacios con sembríos forestales de pino, eucalipto entre otros, a causa de la poca accesibilidad, poco trabajables y mecanizables que fueron las zonas boscosas en las partes altas de las montañas.

Por otra parte, en el año 2010 la actividad agrícola presentó un avance importante, al haberse incorporado la actividad florícola para exportación especialmente en las parroquias de Aloasí, que permitió un crecimiento poblacional del 1.28% con relación al período 1990-2001 y de Machachi con un crecimiento de 2.28%, favoreciendo su crecimiento demográfico, la demanda del suelo urbano y la instalación de complejos industriales y de servicios varios (INEC, 2010).

A diferencia de los períodos anteriores para el año 2010 se presentó una disminución de 3 veces más que en el período anterior, en las actividades agropecuarias al igual que la explotación de minas que tuvo una pérdida del 19.7%; por otro lado, se dio una tendencia de crecimiento de las actividades manufactureras (INEC, 2010).

Figura 78

Ganancias y Pérdidas para cada cobertura en el período 2009-2020.

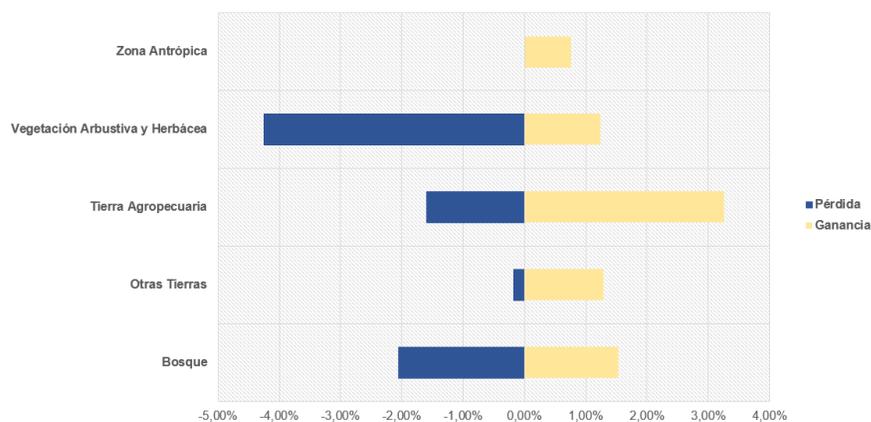
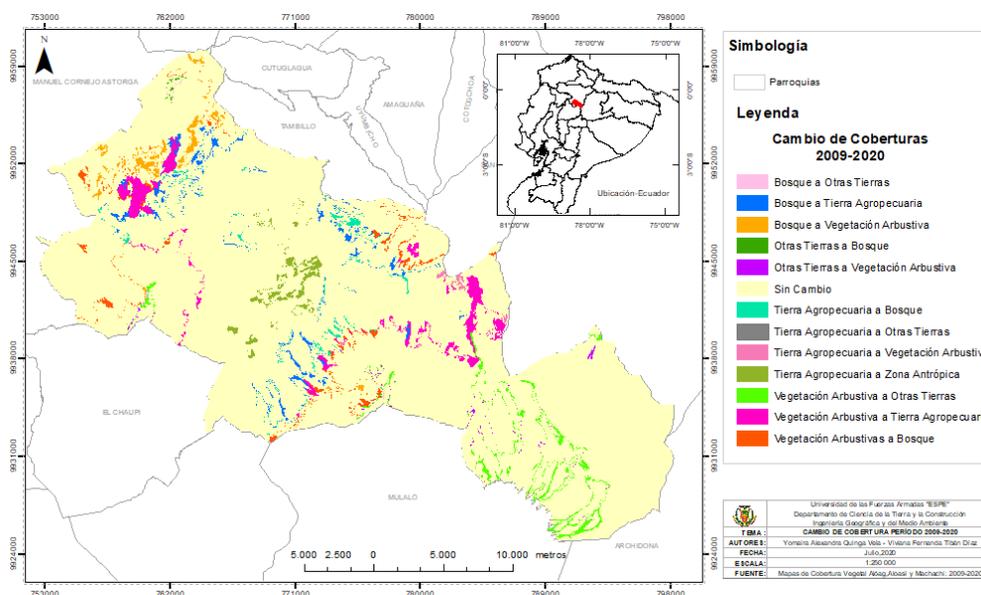


Figura 79

Mapa de cambios de coberturas para el período 2009-2020.



Crecimientos de las Zonas Antrópicas en el período 1991-2020

Los valores de las áreas de *Zonas No Antrópicas* conformado por Vegetación Arbustiva y Herbácea, Tierra Agropecuaria, Bosques y Otras Tierras, que se detallan en la Tabla 37, disminuyen año tras año. Para el año 1991 se tiene un 99.7% del total del área de estudio que representa 67198.3 ha; no obstante, este porcentaje reduce hasta llegar al año 2020 en el que alcanza una extensión de 65 753.88 ha que representan el

97.9%. Por el contrario, las Zonas Antrópicas incrementan de tal forma que para el año 1991 apenas ocupa el 0.3% del área total y para el año 2020 ya alcanza el 2.1% de cobertura.

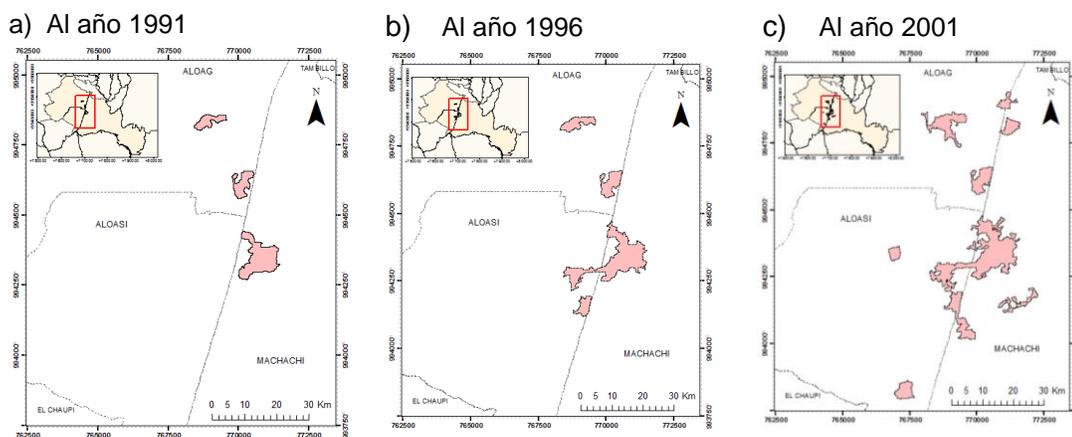
Tabla 36

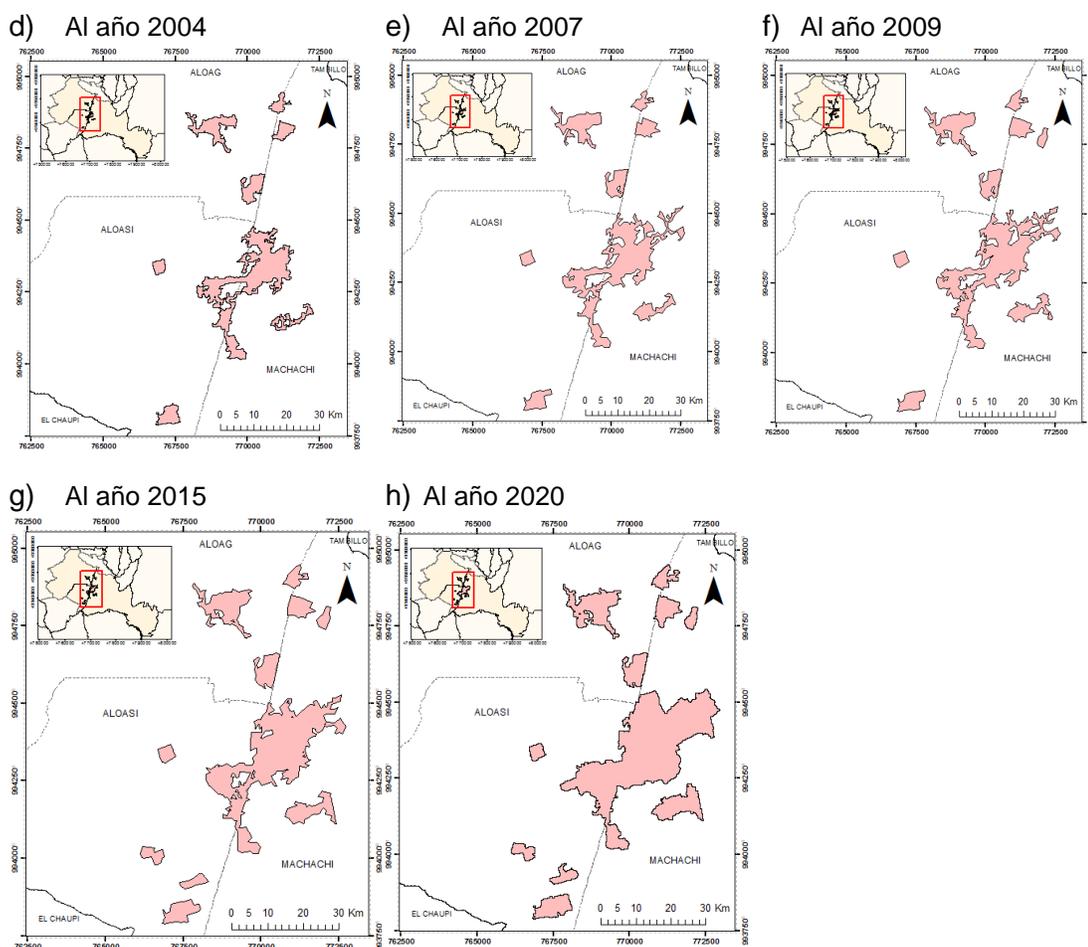
Porcentaje de las Zonas Antrópicas para cada año de análisis.

AÑO	Zonas Antrópicas		Zonas No Antrópicas	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1991	196.15	0.3%	67002.13	99.7%
1996	321.36	0.5%	66876.91	99.5%
2001	591.44	0.9%	66606.84	99.1%
2004	667.00	1.0%	66531.27	99.0%
2007	816.90	1.2%	66381.38	98.8%
2009	939.57	1.4%	66258.71	98.6%
2015	1116.45	1.7%	66081.83	98.3%
2020	1444.39	2.1%	65753.88	97.9%

Figura 80

Crecimiento de las Zonas Antrópicas en cada año de análisis.





Nota. Gráficas que indican las Zonas Antrópicas incluyendo área poblada e infraestructura.

Autómatas Celulares

Matriz de transición

Se obtuvieron las matrices de cambio para cada uno de los siete períodos descritos en la Tabla 20. Para cada uno de ellos se obtuvo como resultado las tasas de transición de cada período de tiempo (por ejemplo 16 años para el período I y así para cada uno de los años descritos) y las matrices de cambio múltiples, que dieron como resultado las tasas anuales de cambio.

El valor más alto de transición simple lo obtuvo el período 1991-2007, con el 0.9%, debido a que la diferencia de años es de 16, seguido del período II comprendido

entre los años 1996-2007 con 0.7%, sin embargo, al analizar los valores de las transiciones múltiples el valor más alto lo presenta el período VII con un 0.099% seguido del período IV con 0.082%.

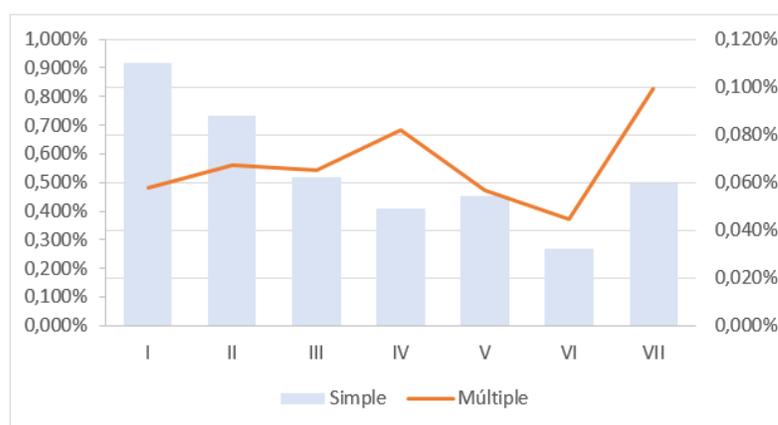
Tabla 37

Valores de la matriz de transición de las diferentes épocas.

ÉPOCA		TRANSICIÓN (2 a 1)	
Inicial	Final	Simple	Múltiple
1991	2007	0.00919471	0.00057716
1996	2007	0.00734181	0.00066967
2001	2009	0.00518575	0.00064969
2004	2009	0.00409743	0.00082083
2007	2015	0.00451329	0.00056527
2009	2015	0.00267225	0.00044587
2015	2020	0.00494492	0.00099094

Figura 81

Análisis de la transición simple y múltiple.



En la Figura 82 se describe las tasas de transición y las tasas anuales de cambio, donde se observa sus respectivas variaciones en función del rango de años considerado. Así, al analizar los períodos IV y VII que tienen una diferencia de 5 años, presentan valores altos en sus tasas de cambios anuales; sin embargo, sus tasas de transición alcanzan un 0.4 %, lo que indica que los cambios en la Zona Antrópica (zonas pobladas) son menores con relación a los demás períodos, que consideran mayores años de diferencia, como es el caso del período I y II donde se observa una mayor dinámica de crecimiento de Zona Antrópica.

Rango y Coeficientes de pesos de evidencia

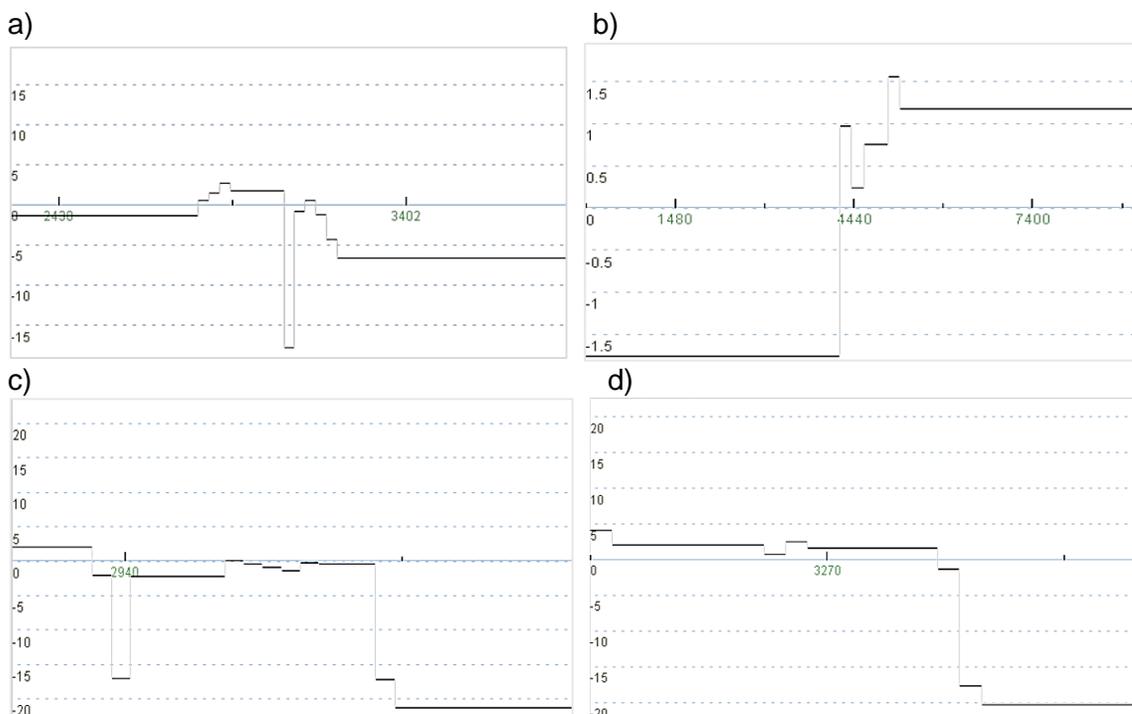
Como resultado se obtuvo los rangos correspondientes a las variables continuas y coeficientes de pesos de evidencia para cada variable explicativa. Se obtuvieron gráficos de líneas de tendencia generados por el software Dinámica EGO. Dentro de cada gráfica el eje (x) está definido por la distancia en metros a cada variable y en el eje (y) los pesos de evidencia para cada rango ya sean positivos o negativos que favorecen o impiden el cambio.

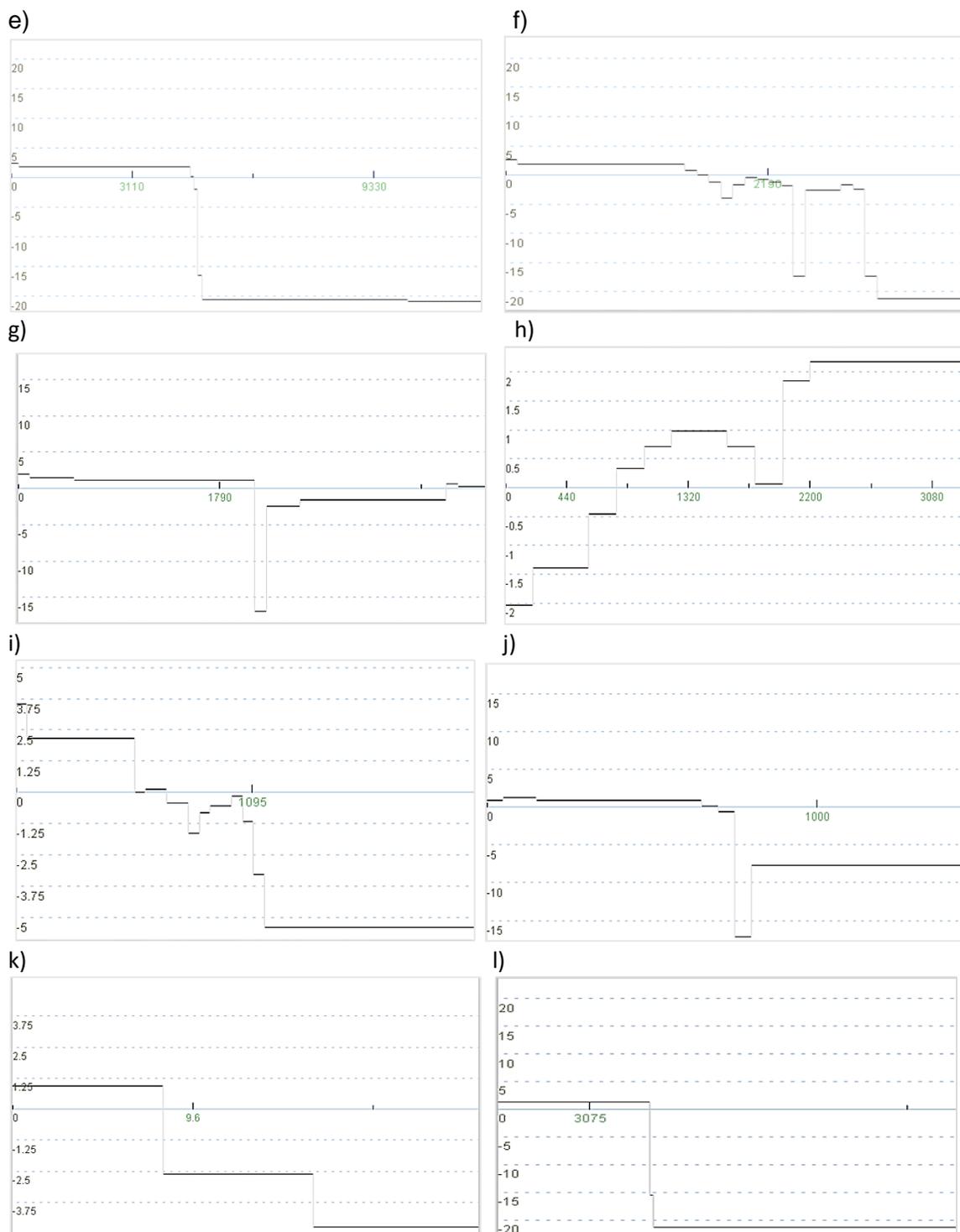
Análisis de variables continuas

En la Figura 83 se describe las gráficas para las variables continuas que fueron transformadas a categóricas sin perder su estructura de datos, en el análisis de sus pesos de evidencia calculados.

Figura 82

Rangos y pesos de evidencia obtenidos para cada variable continua.





Nota. Gráficas que corresponden a los pesos de evidencia: a) variable altitud, b) distancia a áreas naturales, c) distancia a áreas recreativas, d) distancia a cementerios, e) distancia a centros de salud, f) distancia a establecimientos educativos, g) distancia a

poblados, h) distancia a ríos, i) distancia a servicios básicos, j) distancia a vías, k) pendiente, l) distancia a inundaciones.

Para la variable de *altitud* se determinó que un rango entre 2820 a 3060 m favorece al crecimiento urbano, siendo entre 2880-2910 m con un peso de 2.72 que lo convierte en el óptimo (Figura 83,a).

Las distancias a *áreas naturales* presentaron pesos negativos en distancias menores a 4200 m lo que indica la poca accesibilidad en zonas cercanas a áreas protegidas con la finalidad de su preservación; a partir de una distancia entre el rango de 4890-5730 m con un peso de 1.64 indica la posibilidad que tiene la población para nuevos asentamientos (Figura 83,b).

La variable distancia a *áreas recreativas* aportan al crecimiento urbano a distancias menores de 2600 m presentando un peso máximo positivo de 2.07, lo que indica la influencia directa que ejerce la presencia de parques u otros tipos de recreación sobre la población (Figura 83,c).

La distancia a *cementerios* con valores hasta 4800 m presentaron pesos positivos, sin embargo distancias hasta los 300 m presentan un umbral máximo de 4.05 lo que indica una fuerte influencia en la creación de nuevas urbanizaciones (Figura 83,d).

Para la variable distancias a *centros de salud* en distancias menores a 3810 m se determinó como aporta de manera positiva al crecimiento urbano siendo en distancias a 210 m donde presenta un peso máximo de 2.47 (Figura 83,e), además de la variable de *establecimientos educativos* que en distancias menores a 1700 m favorecen a la población para su asentamiento siendo la distancia hasta 30 m con un peso de 2.74 (Figura 83,f) donde se da mayor influencia, esto se justifica con la centralidad de los establecimientos principalmente en la cabecera cantonal Machachi.

La variable de *poblados* presenta pesos positivos que favorecen al crecimiento urbano a distancias menores de 2010 m siendo el peso máximo de 2.09 a una distancia de 30 m lo que indica una mayor concentración de asentamientos en las centralidades de las parroquias localizadas a menor distancia (Figura 83,g).

La variable de *servicios básicos* presentó que a distancias menores de 700 m favorecen al proceso de urbanización, siendo la distancia a 50 m con un peso positivo de 3.54, la más idónea (Figura 83,h).

Para la variable distancias a *ríos* indica una distancia óptima a partir de los 800 m, es decir, a distancias menores se inhibe a la población para asentarse en zonas que representan una amenaza de desbordamiento o inundación, específicamente a una distancia de 200 m presenta el mayor peso negativo que desfavorece al crecimiento urbano. Sin embargo con un peso de evidencia positivo de 2.18 en distancias entre 2200-4400 m indican que los asentamientos humanos podrían tener una mejor posibilidad (Figura 83,i).

La variable distancia a *vías* con distancias menores a 700 m presentaron valores positivos de sus pesos lo que representa la influencia que ejerce las vías de comunicaciones sobre el crecimiento urbano es decir que mientras más cerca se encuentren de alguna red vial las poblaciones se concentran aún más, siendo el peso más óptimo el de 1.19 a una distancia de 5 -150 m (Figura 83,j).

Con relación a la variable de *pendiente* se indica en la categoría suave a moderada con un valor positivo de 0.93 que beneficia en el cambio de uso no urbano a urbano, decreciendo la aptitud a medida que aumenta la pendiente (Figura 83,k).

En la variable distancias a *inundaciones* se presenta valores positivos a distancias menores de 3660 m mientras que a mayores distancias presenta pesos negativos que no favorece a la modificación del suelo no urbano en urbano, esto indica que no necesariamente existe una relación entre las mismas, viéndose afectado

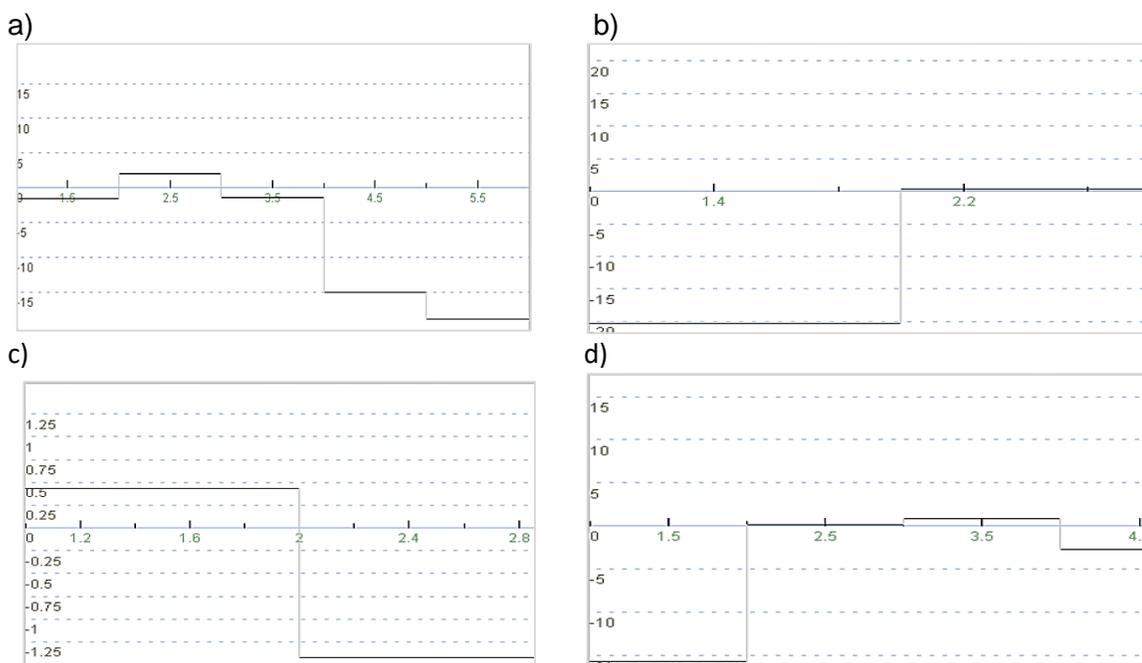
principalmente por la presencia de mayores zonas propensas a inundaciones en zonas no urbanizadas (Figura 83,l).

Análisis de variables categóricas

A continuación, se describe en la Figura 84, las variables categóricas que no han sido transformadas y mantuvieron sus rangos ya definidos al momento de ingresar al cubo ráster.

Figura 83

Rangos y pesos de evidencia obtenidos para cada variable categórica.



Nota. Gráficas que corresponden a los pesos de evidencia: a) variable capacidad de uso, b) movimientos de masa, c) peligro volcánico, d) susceptibilidad de erosión.

La variable *capacidad de uso* presenta un valor positivo máximo de 1.92 en la clase II que representa suelos con limitaciones severas aportando al crecimiento urbano mientras que las clases restantes inhiben su desarrollo por ser posibles suelos que pueden ser aprovechados para otros fines agropecuarios (Figura 84,a).

Para la variable *movimientos en masa* se presentó valores negativos en sus pesos en la categoría Alta con un peso de - 20.31, mientras que presenta un peso positivo máximo de 0.36 en la categoría Baja que indica la tendencia del crecimiento urbano sobre zonas que no se encuentren susceptibles a movimientos de masa que afecten tanto a la población como a la infraestructura (Figura 84,b).

La variable de *peligro volcánico* presenta un peso de evidencia positivo en la categoría a Alta probabilidad (Figura 84,c). Sin embargo nuevamente se observa que no existe una relación con el crecimiento urbano, viéndose afectado en los pesos de evidencia por las zonas no urbanizadas que se encontraban en su mayor parte en la categoría alta .

Finalmente con respecto a la variable *susceptibilidad a erosión* se presenta en la categoría Alta un peso positivo que favorece al proceso de urbanización mientras que zonas erosionadas bajas presentan mayor vegetación y se busca evitar la pérdida de la productividad del suelo (Figura 84,d).

Correlación de pesos de evidencia

Como resultado se obtiene el test estadístico de correlación *Cramer* donde se indica la fuerza explicativa potencial para el crecimiento urbano entre dos variables en función de sus valores cuantitativos, obteniéndose 120 combinaciones con 16 variables explicativas.

Tabla 38

Correlación de Pesos de evidencia

Primera Variable	Segunda Variable	Cramer
Distancia a poblados	Peligro volcánico	0.560
Distancia a cementerios	Distancia a centros de salud	0.511
Capacidad de uso	Distancia a áreas recreativas	0.448
Distancias a áreas recreativas	Distancia a inundaciones	0.432
Distancia a inundaciones	Distancia a servicios básicos	0.431

En la Tabla 39 se describe las combinaciones de variables tanto categóricas como continuas que en función del estadístico Cramer. Presentaron valores por encima del límite de tolerancia 0.5 y por tal razón fueron descartados por su elevado grado de correlación entre cada par de variables.

Las combinaciones tales como distancia a poblados con peligro volcánico, distancia a cementerios con distancia a centros de salud y capacidad de uso con distancia a áreas recreativas presentaron valores con una correlación espacial alta, con valores de 0.56, 0.511 y 0.448 respectivamente, por lo tanto, se determinó que las variables peligro volcánico, cementerios y capacidad de uso no influyeron de forma significativa en la transición de la Zona Antrópica en el período de estudio. Para las variables restantes se determinó que no tienen correlación con valores menores a 0.432 y no dependen espacialmente de sus valores entre sí, conservándolas para el proceso de simulación.

Validación de modelos y comparación del crecimiento urbano

Los mapas simulados obtenidos de los diferentes períodos se compararon con los mapas reales observados (Figura 85). Para su validación Piontekowski et al.(2012) sugieren que obtener un valor de similitud superior al 50% entre los mapas comparados es satisfactorio para la verificación del modelo.

Tabla 39

Valores obtenidos en la validación de ventanas múltiples para los 7 períodos.

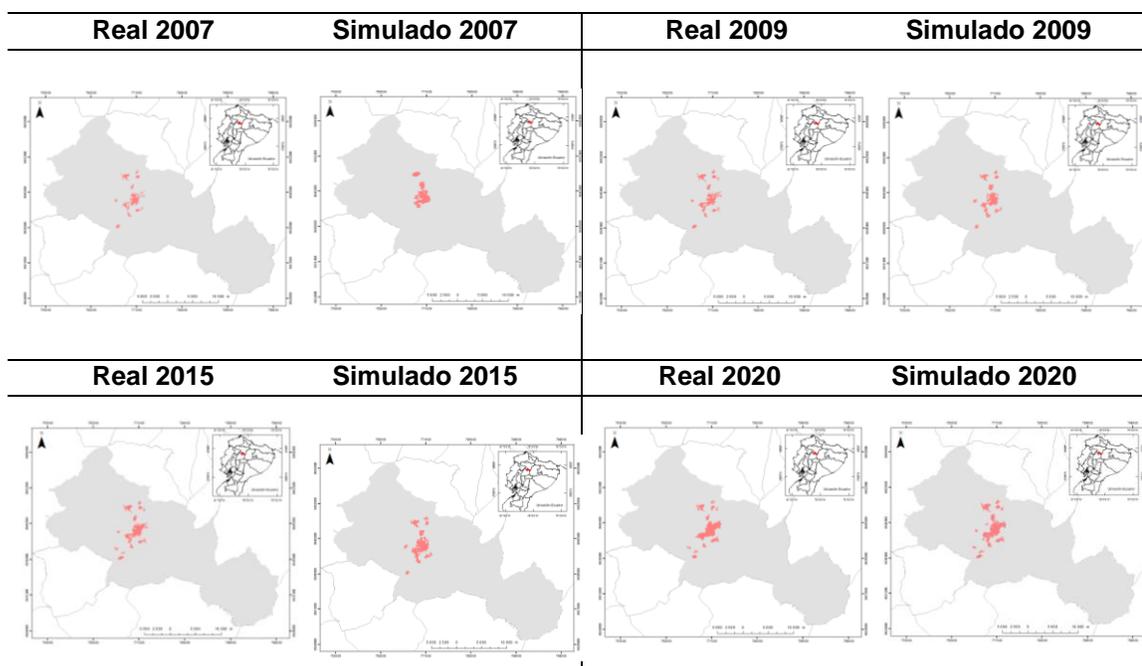
Período	Tamaño de ventana	Mín. Similitud (1 vs 2)	Máx. Similitud (2 vs 1)	Período	Tamaño de ventana	Mín. Similitud (1 vs 2)	Máx. Similitud (2 vs 1)
I	1	0.3730	0.3954	II	1	0.3601	0.3615
	3	0.4639	0.5148		3	0.4626	0.5994
	5	0.4980	0.6138		5	0.5591	0.7423
	7	0.5199	0.6875		7	0.6501	0.8354
	9	0.5359	0.7375		9	0.7196	0.8968
	11	0.5503	0.7776		11	0.7734	0.9334
III	1	0.3644	0.4090	IV	1	0.3494	0.4185
	3	0.5764	0.5983		3	0.5464	0.6033
	5	0.6929	0.7203		5	0.6809	0.6972

	7	0.7494	0.8036		7	0.7248	0.7914
	9	0.7796	0.8533		9	0.7568	0.8520
	11	0.8005	0.8904		11	0.7818	0.8936
V	1	0.35646	0.35731	VI	1	0.2637	0.2645
	3	0.52468	0.55135		3	0.3767	0.4624
	5	0.63574	0.65473		5	0.4669	0.5793
	7	0.68589	0.74262		7	0.5372	0.6596
	9	0.7375	0.7796		9	0.5973	0.6936
	11	0.7776	0.8533		11	0.6463	0.7114
VII	1	0.4358	0.4364				
	3	0.5338	0.6853				
	5	0.6269	0.8037				
	7	0.7031	0.8756				
	9	0.7634	0.9198				
	11	0.8051	0.9441				

Una vez analizados los valores obtenidos, se seleccionó el período VII, que corresponde entre los años 2015-2020, ya que presentó los valores más aceptables, en donde, en una ventana de 1x1 (0.09 ha) la similitud fue del 44% aproximadamente y superando el 80% en una ventana de 11x11 (10.89 ha), al contrario de los demás períodos que presentan el porcentaje de similitud mínimo menor al especificado en el período VII como se observa en la Tabla 40.

Figura 84

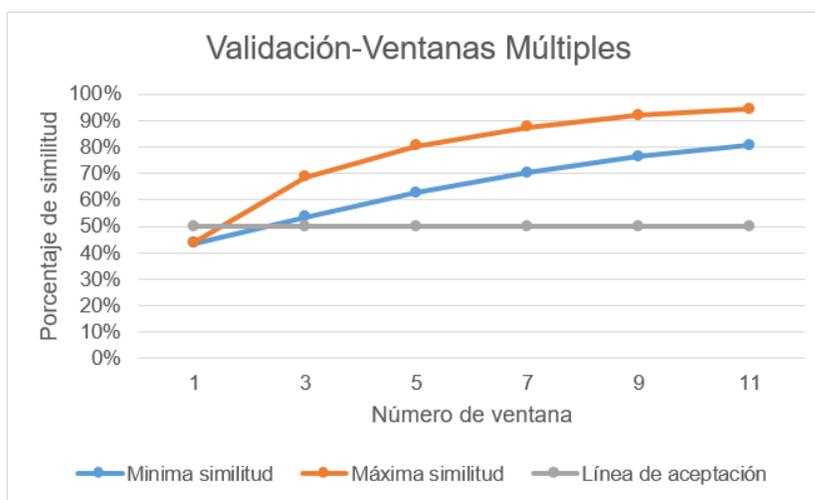
Mapas reales vs simulados, de los diferentes períodos de estudio.



El período VII (2015-2020) obtuvo valores aceptables desde la tercera ventana (90m x 90m) en la que sobrepasa el valor mínimo de aceptación tanto en mínima similitud como en máxima similitud, esto representa que para un área de 0.8 ha el modelo de simulación es aceptable, no obstante, el modelo logra un valor del 94% en la ventana de 11 celdas que representa manzana urbana aproximadamente (Figura 86).

Figura 85

Porcentaje de similitud en función de la distancia.



Simulación del crecimiento urbano al año 2030

En la Figura 87 y Figura 88 se observa la simulación del crecimiento urbano para el año 2030, mediante el empleo de autómatas celulares del software Dinámica EGO. De esta manera se pudo determinar que la mancha urbana de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi se incorpora al progresivo crecimiento de periferias rurales a zonas urbanas. Obteniéndose para el año 2030 una extensión proyectada de 2150.52 ha que representan el 3.20% de la superficie total del área de estudio con una tasa anual de crecimiento de 9.78% a partir del año 2020 lo que significa que crecerá a una razón de 69 ha/ año.

Figura 86

Mapa simulado 2030 obtenido del período 2015-2020.

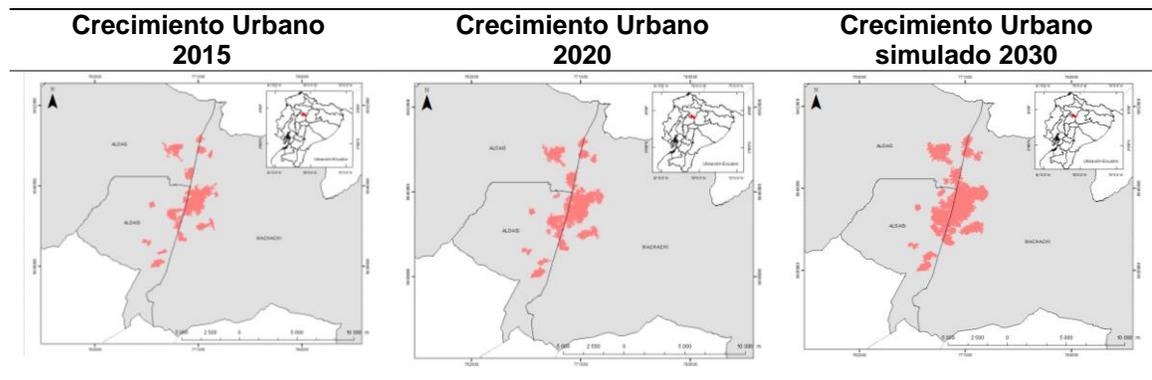
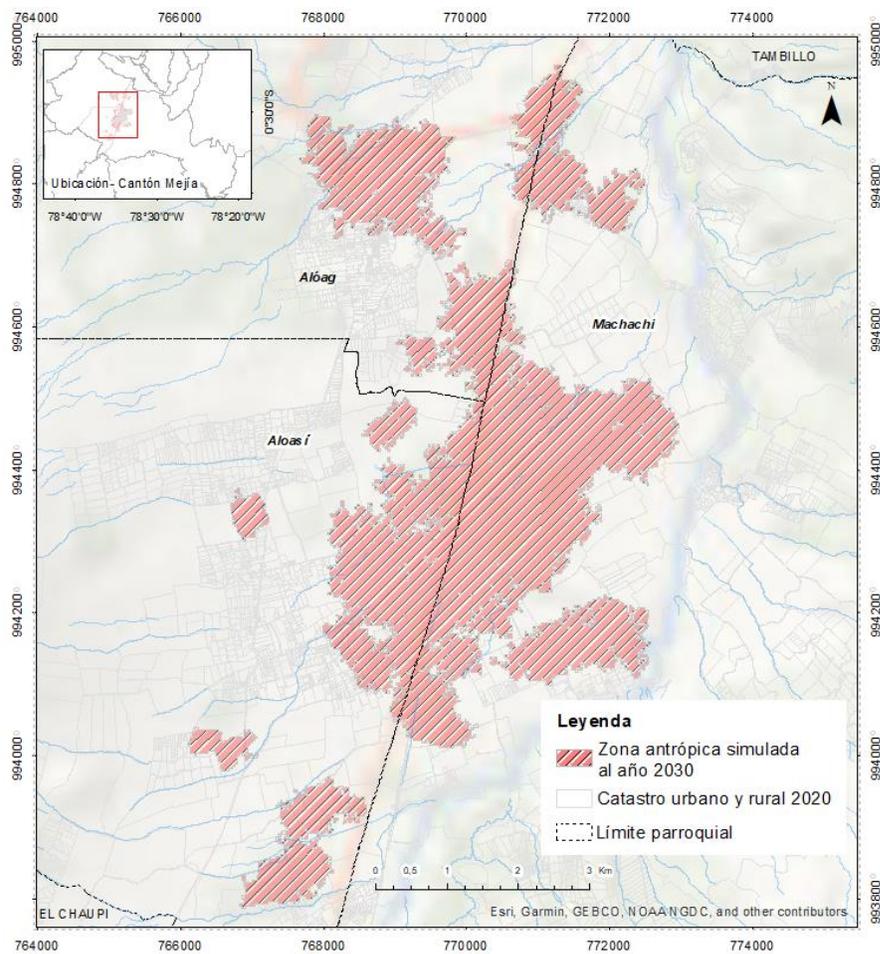


Figura 87

Crecimiento urbano de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi en el año 2030.

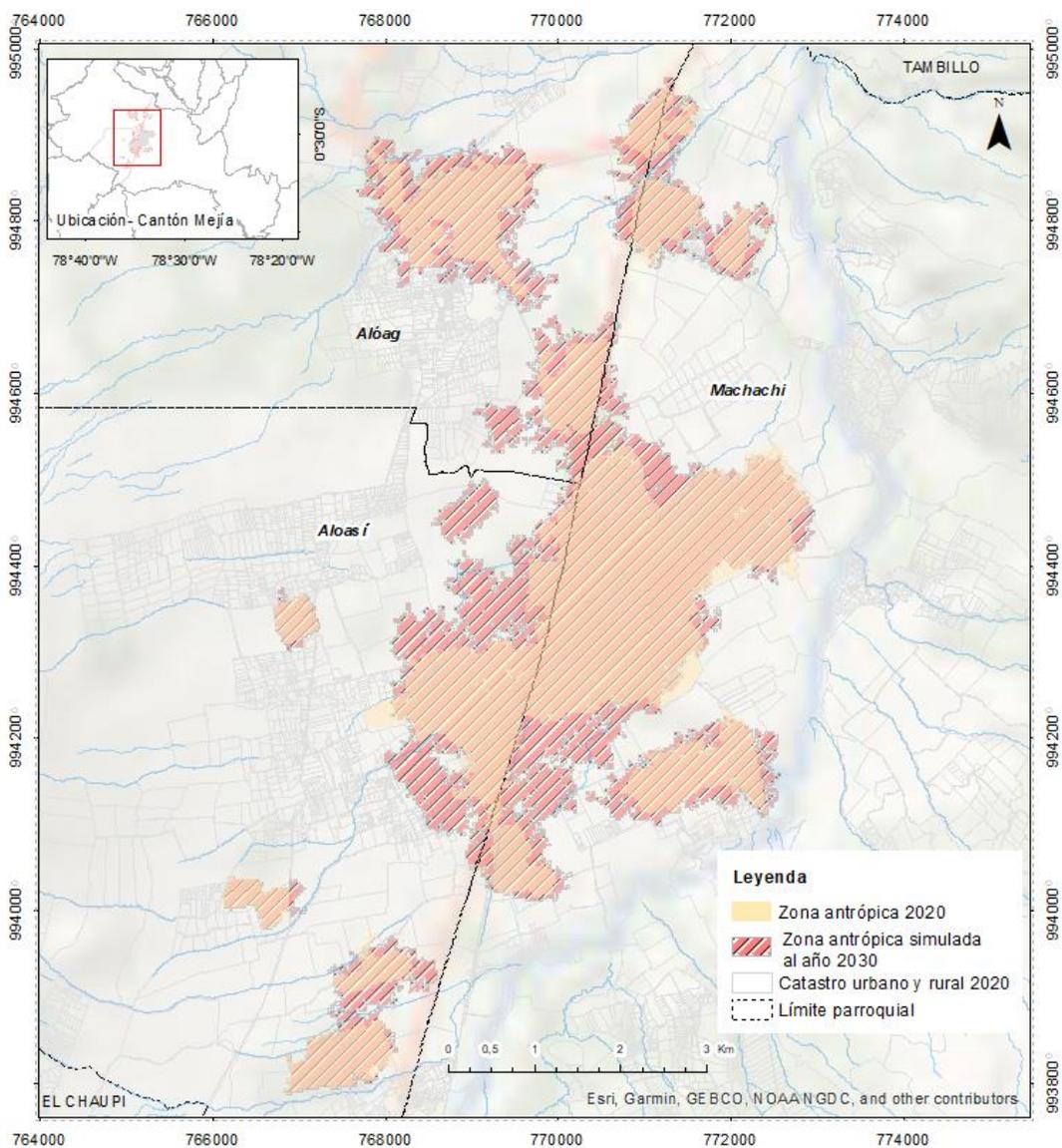


Expansión Urbana en las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi

Dentro del área de estudio se determinó una expansión horizontal de la mancha urbana generando modificaciones de la cobertura natural, para ello se contrastó el uso urbano vigente 2020 y los resultados que se obtuvieron para la simulación del crecimiento urbano proyectado al año 2030 (Figura 89) bajo los criterios biofísicos, socioculturales, movilidad, asentamientos humanos y ambientales.

Figura 88

Expansión Urbana de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.



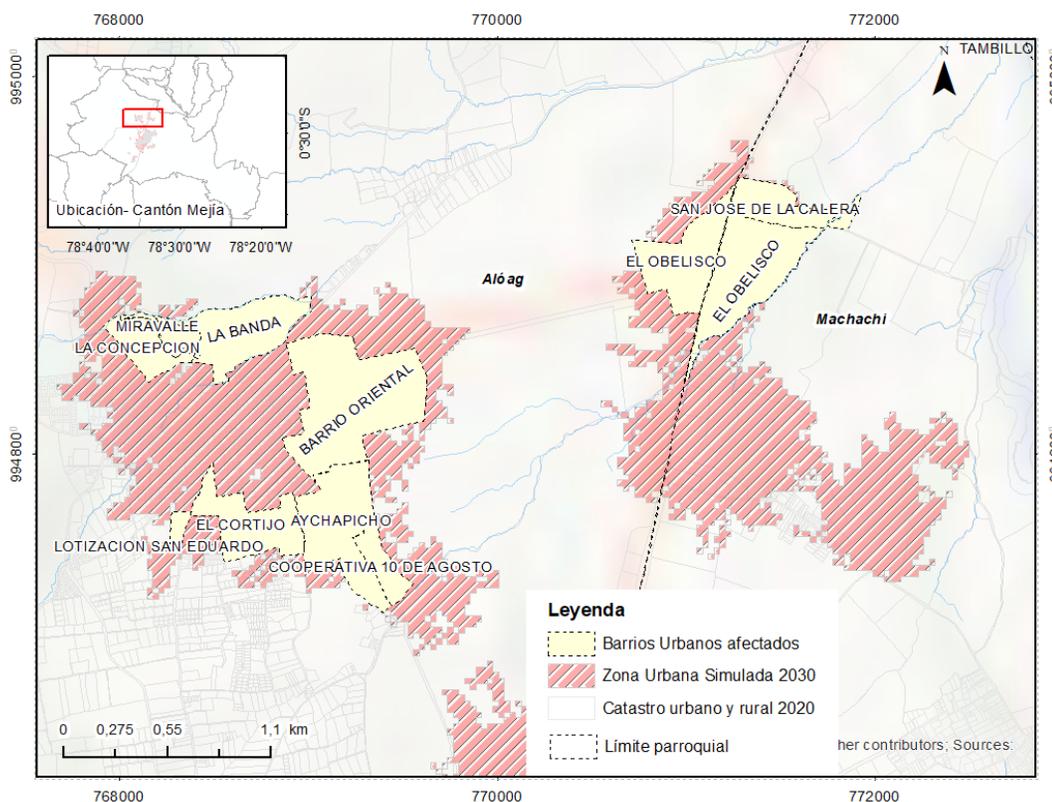
En el año 1991 las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi ocupaban una extensión de 196.15 ha en las áreas pobladas y de infraestructura, mientras que para el año 2030 se prevé se haya incrementado 10 veces más su extensión, es decir un crecimiento del 48.9% a partir del año 2020 con un incremento de 706.13 ha. Obteniéndose para el año 2030 un área de 422.42 ha para la parroquia Alóag, 645.62 ha en la parroquia Aloasí y 1082.49 ha en la parroquia Machachi.

Barrios urbanos y sectores rurales afectados por la expansión urbana al año 2030

Tomando en cuenta el mapa simulado para el año 2030 se obtienen los barrios en cada una de las parroquias de estudio, que presentarán una posible tendencia de expansión urbana sobre suelo rural (Figura 90), de manera que en Alóag el crecimiento afecta a nueve barrios de 31 barrios en total: La Banda, La Concepción, Miravalle, Barrio Oriental, Aychapicho, Cooperativa 10 de Agosto, El Cortijo, Lotización San Eduardo y El Obelisco. En la parroquia de Aloasí la expansión involucra a 14 barrios de un total de 29: Praderas de Machachi, El Tambo Segunda Etapa, El Tajo, La Estación, Centro, Miraflores Bajo, La Avanzada, La Cruz, Urbanización El Tambo I, El Timbo, Potreros Altos-Las Lomas, Simón Bolívar, Culala, El Recreo y Nuestra Señora Del Cisne y en la parroquia de Machachi alrededor de 18 barrios de un total de 43: El Obelisco, Chanizas, San Agustín de Valencia, Tucuso, Condabulo, San Vicente, El Porvenir, Santa Rosa De Tahuachi, Pinllocruz, San Isidro, Urbanización Los Eucaliptos, La María, La Cosmorama, San Francisco de Tahuachi, Urbanización Santa Inés, San José De La Calera, Camino Viejo y Portal De Machachi.

Figura 89

Vista parcial de barrios urbanos afectados por el crecimiento urbano 2030.

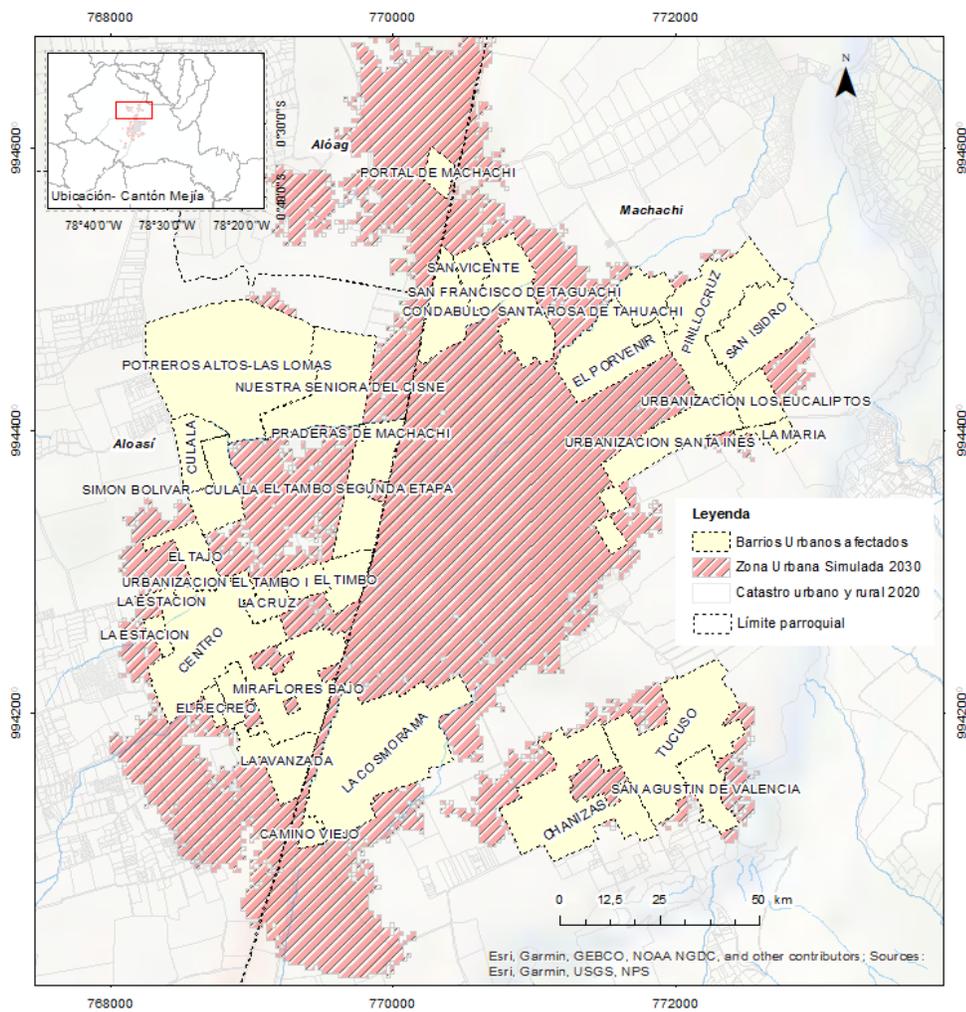


Nota. Barrios que forman parte de las parroquias Alóag y Machachi.

En total 41 barrios de 103 que conforman estas parroquias se verán afectados por la expansión urbana en un futuro debido a que se encuentran en los límites urbanos y por lo tanto su tendencia de crecimiento afectará a los predios rurales. Es importante tener en cuenta esta información al momento de realizar la administración local; y es importante establecer alianzas entre los barrios a fin de incorporar nuevas estrategias socio-económicas, de tal manera que permitan un desarrollo sustentable y sostenible de estos sectores, sin afectar la parte agrícola del cantón.

Figura 90

Vista parcial de barrios urbanos afectados por el crecimiento urbano 2030.

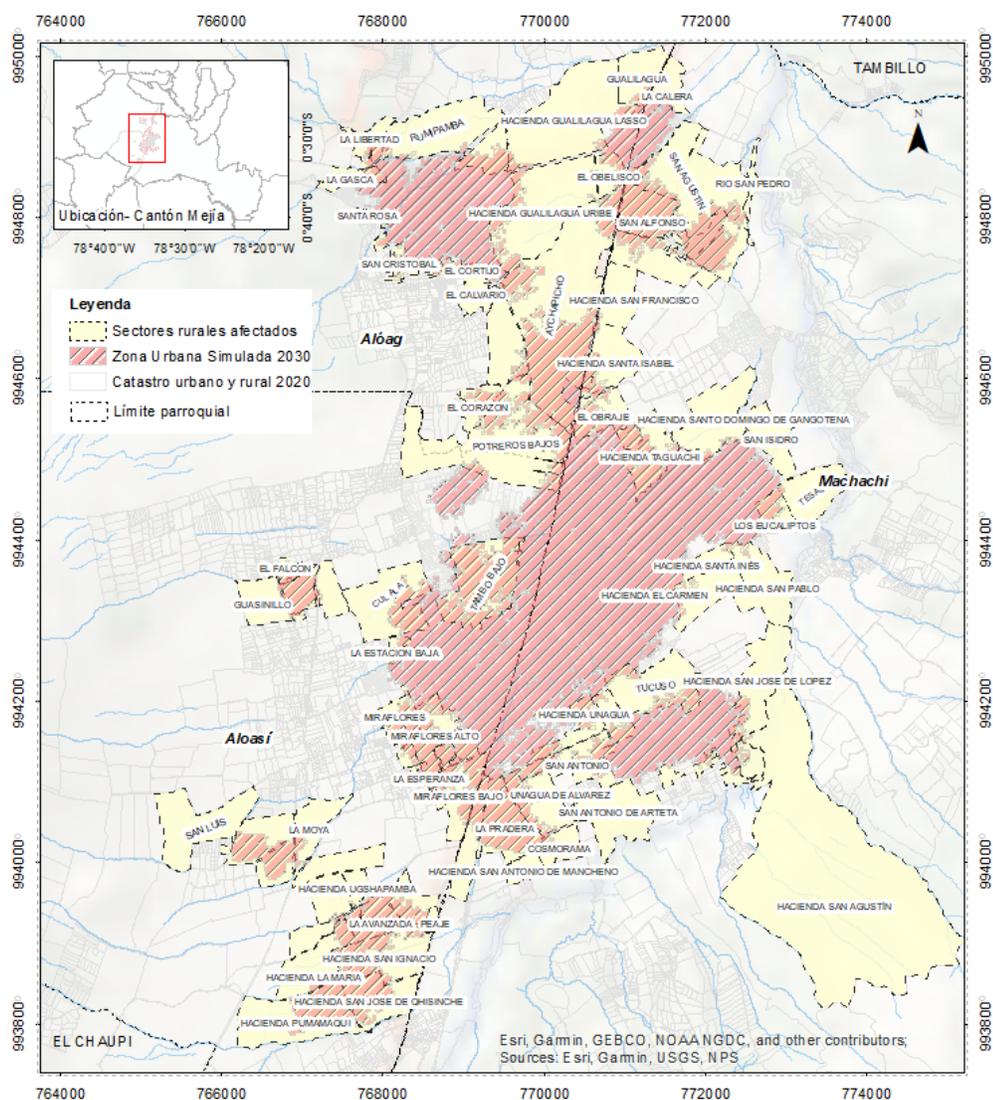


Nota. Barrios que forman parte de las parroquias Aloasí y Machachi.

Respecto a la zona rural, cuyo análisis es de vital importancia, se obtuvo los sectores considerados como zonas de posible expansión urbana para cada una de las parroquias de estudio, encontrándose alrededor de 57 sectores que pudieran verse afectados por la expansión urbana para el año 2030, a partir de los cuales 97 predios corresponden a la parroquia de Alóag, 323 predios a la parroquia de Aloasí y finalmente 171 predios a la parroquia de Machachi, como se observa en la Figura 92.

Figura 91

Vista parcial de Sectores rurales afectados por la expansión urbana.

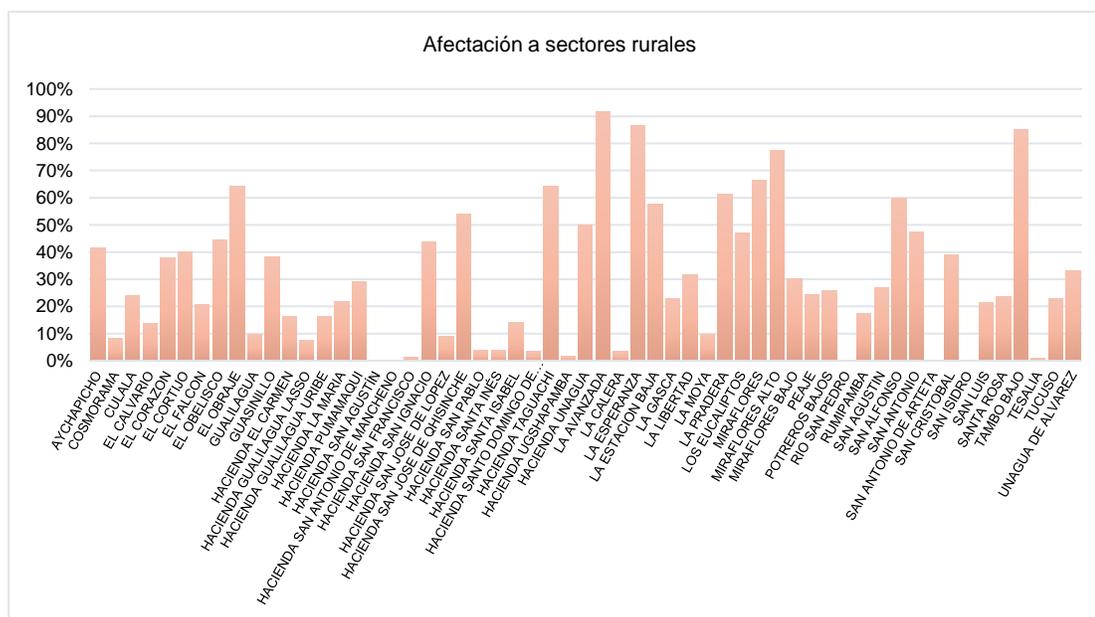


Nota. Sectores rurales que forman parte de las parroquias Alóag, Aloasí y Machachi.

Entre los sectores más afectados se encuentran: La Avanzada, La Esperanza, Tambo Bajo, Miraflores Alto, Miraflores, El Obraje, Hacienda Taguachi, La Pradera, San Alfonso, La Estación Baja, Hacienda San José de Quisinche y Hacienda Unagua que tienen más de un 50% de área de zonas posibles de expansión urbana sobre la zona no antrópica para el año 2030. Por el contrario, hay 17 sectores que tiene una afectación menos al 10% (Figura 93).

Figura 92

Porcentaje de afectación a sectores rurales.



Land Administration Domain Model (LADM)

Para la implementación del sistema de administración de tierras se trabajó en función de dos escalas 1:1000 en zonas urbanas y 1:5000 en zonas rurales, por otro lado, de los atributos existentes en el catastro urbano únicamente el 75 % y un 85 % para el catastro rural se adaptaron correctamente a cada uno de los paquetes básicos del modelo LADM.

Restricción de Vías

Se identificó los predios que presentaron restricciones viales, haciendo referencia a la obligación de no construir edificaciones a determinada distancia, en función de las ordenanzas emitidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Mejía. En el caso de predios rurales se presenta la restricción como información para el propietario en caso de existir un fraccionamiento del predio por la construcción de infraestructuras o edificaciones aledañas a las vías. En la Tabla 41 se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 40

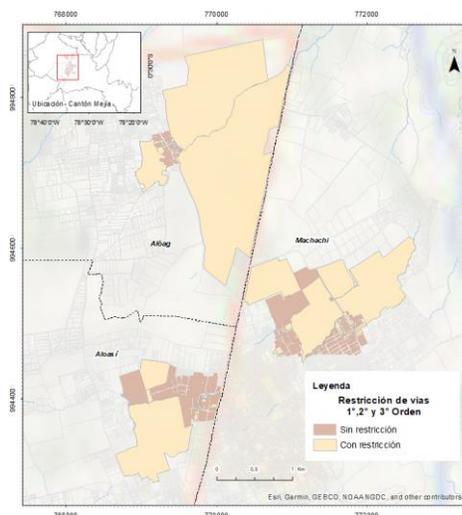
Restricción Vial en los predios de expansión urbana.

Parroquia	Con Restricción		Sin Restricción	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Alóag	40	3	121	7
Aloasí	34	1	300	11
Machachi	60	4	560	9

En la Figura 94 se observa en tono marrón claro los predios que, en caso de presentar construcciones, no cumplen con la distancia específica con relación a los ejes viales de acuerdo con la Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza de Urbanizaciones y Fraccionamientos en el cantón Mejía del año 2016; y en caso de tener futuros proyectos de construcción, el predio tiene restricción de vía que se debe considerar al momento de emitir permisos. Por el contrario, los predios en tono marrón son los que cumplen con las disposiciones y se consideran aptos para construir.

Figura 93

Predios con relación a las restricciones viales.



Nota. En la gráfica se describe los predios que cumplen o no con la restricción vial, sin embargo, los predios rurales al estar en una escala de 1:5000 presentan un detalle más generalizado, a diferencia de los predios urbanos a escala 1:1000.

Restricción por afectación de ríos o quebradas.

Las parroquias Aloásí, Alóag y Machachi presentaron restricciones por afectación de ríos o quebradas en función de las franjas de protección y afectaciones definidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Mejía, específicamente por la Quebrada Soltero para la parroquia de Aloásí, Quebrada El Timbo en la parroquia Machachi y la Quebrada Guacayacu para la parroquia Alóag. Se detalla en la Tabla 42 los resultados obtenidos.

Tabla 41

Restricción por afectación de ríos o quebradas en los predios de expansión urbana.

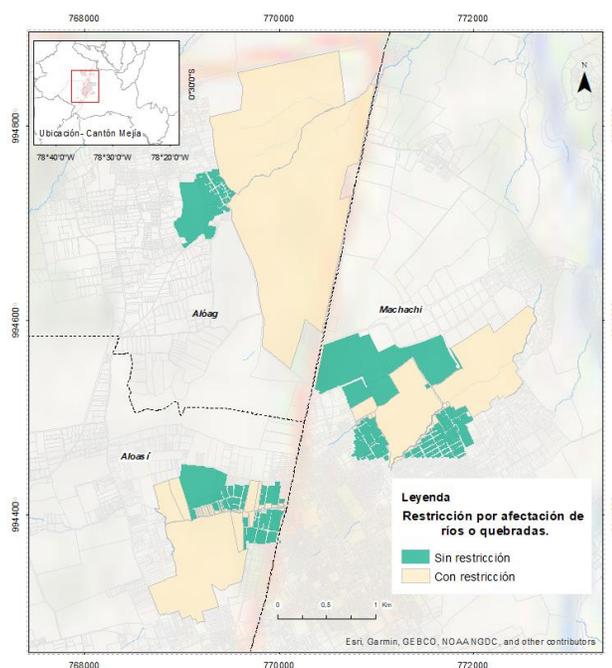
Parroquia	Con Restricción		Sin Restricción	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Alóag	-	2	161	8
Aloásí	32	3	302	9
Machachi	17	2	603	11

En la Figura 95 en tono marrón claro se encuentran los predios que tienen una restricción para realizar edificaciones, por no cumplir con la distancia mínima hacia ríos,

quebradas entre otros, o en caso de presentar construcciones no cumplen con la restricción establecida en la Ordenanza Sustitutiva a la ordenanza de construcciones del cantón Mejía del año 2017. Por el contrario, en tono verde se describe los predios que son aptos o cumplen las disposiciones con relación a la presencia de construcciones cercanas a ríos o quebradas.

Figura 94

Predios con relación a las restricciones por afectación de ríos o quebradas.



Nota. En la gráfica se describe los predios que cumplen o no con la restricción por afectación de ríos o quebradas, sin embargo, los predios rurales al estar en una escala de 1:5000 estos presentan un detalle más generalizado, a diferencia de los predios urbanos a escala 1:1000

Riesgos Naturales relacionados con los predios.

En la parroquia Alóag se presentó en mayor extensión de una moderada susceptibilidad tanto a erosión como movimientos en masa con 142 y 156 predios

respectivamente de un total de 171 predios, relacionado a espacios de mayor pendiente. Con relación a inundaciones los predios seleccionados de la parroquia no son propensos a ser afectados por el desbordamiento de ríos o producto de las fuertes precipitaciones. Sin embargo, la vulnerabilidad que presenta el sector por el peligro volcánico es alta para todos los predios, considerando la afectación por el Complejo Volcánico Atacazo-Ninahuilca.

En la parroquia Aloasí, por el contrario, se presenta una baja a nula susceptibilidad en movimientos en masa y erosión en el total de sus predios, al igual que inundación y peligro volcánico. Este hecho indica una zona idónea para el desarrollo urbano y otras actividades propias de la parroquia, sin embargo, estas condiciones no garantizan que el 100% de las urbanizaciones se encuentren sin conflicto.

La parroquia Machachi de un total de 633 predios, únicamente 64 presentan Media susceptibilidad a movimientos en masa, mientras que el 100 % de los predios presentan de Baja a Nula susceptibilidad con relación a susceptibilidad de erosión, inundación y peligro volcánico, convirtiéndole en una zona que favorece al desarrollo de urbanizaciones, agricultura y ganadería.

Capacidad de Uso Agrícola y Forestal

Se determinó que, de los 171 predios analizados para la Parroquia Alóag, en un 92%, representado por 158 predios presentan ligeras limitaciones de uso lo que reduce la selección de determinados cultivos, pese a encontrarse en pendientes suaves que varían de 0 a 4% y requerirán moderadas prácticas de conservación. Por el contrario, para los 13 predios restantes se obtuvo que presentan limitaciones muy fuertes, lo que indica que los hacen inadecuados para los cultivos ya sea por pendientes muy pronunciadas, poca capacidad de retención de humedad entre otros, pero puede ser de uso forestal.

En las parroquias Aloasí de los 346 predios y en Machachi de los 633 predios analizados, el 100 % presentan ligeras limitaciones para cultivos y otros, es decir, los suelos de estos predios se ubican en pendientes menores a 5°, donde no existe evidencia de erosión lo que la convierte en suelo altamente fértil. Dentro de la misma es posible el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales dependiendo de la zona.

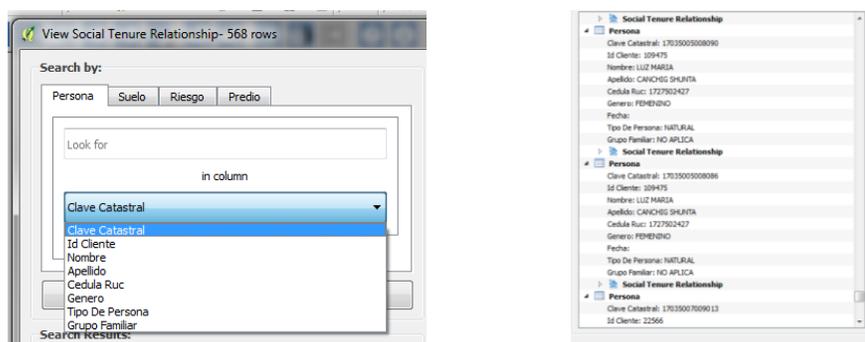
Visualización del STDM

Búsqueda de información en el sistema

El sistema muestra las 4 entidades, en cada una, existen las columnas creadas con su respectiva información (Figura 96, 97, 98 y 99). De esta manera para la entidad Persona, se puede realizar la búsqueda por: clave catastral, id cliente, nombre, apellido, cédula o RUC, género, tipo de persona y grupo familiar, obteniendo todos los predios que tengan la característica elegida.

Figura 95

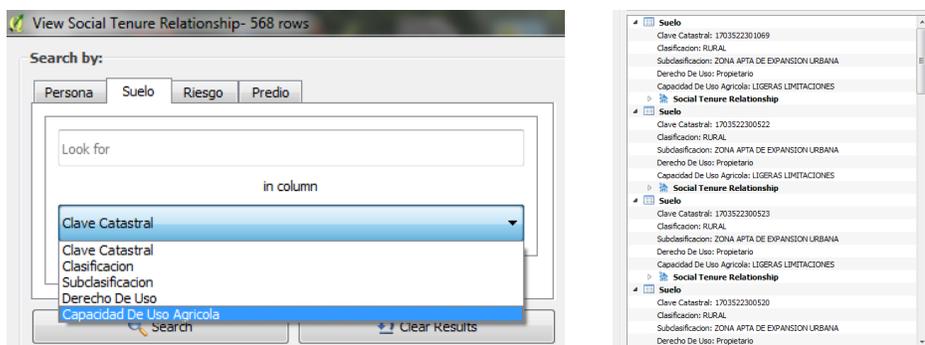
Búsqueda de información por Persona.



Para la entidad Suelo la información se puede filtrar por: clave catastral, clasificación del suelo, subclasificación de suelo, derecho de uso y capacidad de uso agrícola y forestal.

Figura 96

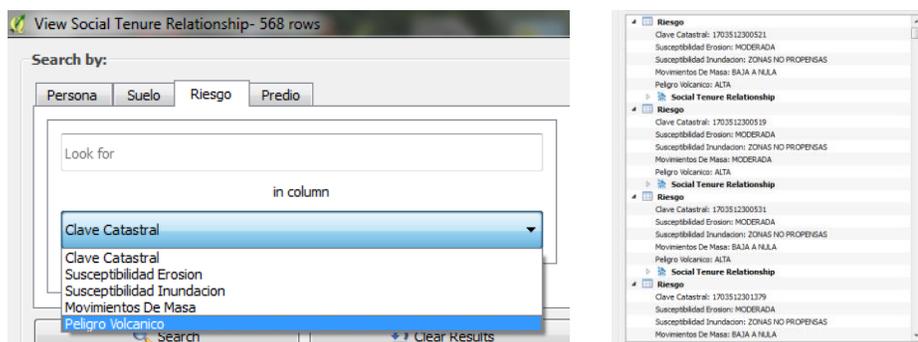
Búsqueda de información por Suelo.



En la entidad Riesgo existen las columnas de: clave catastra, susceptibilidad a la erosión, susceptibilidad a inundación, movimientos de masa y peligro volcánico.

Figura 97

Búsqueda de información por Riesgo.

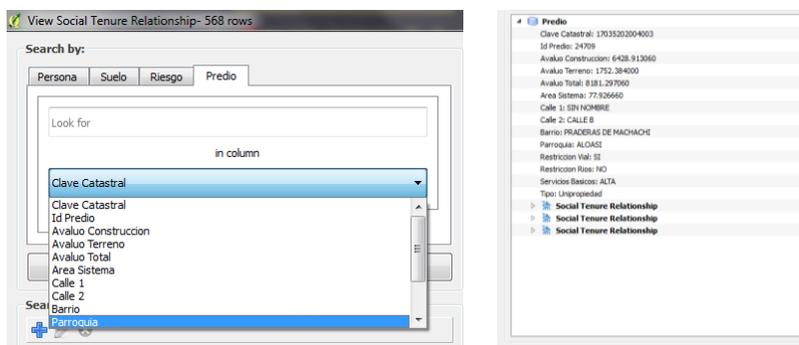


Finalmente, para la entidad predio se puede realizar la búsqueda en función de: clave catastral, id predio, avalúo de la construcción, avalúo del terreno, avalúo total, área de sistema, calle 1, calle 2, barrio y parroquia.

Sin embargo, cuando se realiza la búsqueda por entidad predio, la información aparece completa, es decir, al elegir un predio de interés, se mostrará la información de las demás entidades relacionadas a ese predio (persona, suelo y riesgo).

Figura 98

Búsqueda de información por Predio.



Capítulo V

Conclusiones Y Recomendaciones

Conclusiones

Toda la información fue analizada y estandarizada para trabajar en un mismo sistema de referencia SIRGAS Ecuador. Inicialmente se realizó la recolección de diferentes imágenes satelitales a través de la plataforma USGS, información que sirvió de base para establecer la escala de trabajo 1: 100 000 de los mapas de cobertura obtenidos. A través de las fuentes de información nacional: Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), Instituto Geográfico Militar (IGM), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y GAD Municipal de Mejía, se recolectó las diferentes capas vectoriales y ráster necesarias para el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

Se obtuvo coberturas a escala 1:100 000 para los años 1991,1996, 2001,2004,2007, 2009, 2015 y 2020 en la zona de estudio. De aquí se determinó que las dinámicas de cambio por cobertura dependieron significativamente de la superficie ocupada por cada una de ellas, resaltándose la mayor intensidad de transición en las coberturas Zona Antrópica y Tierras Agropecuarias con tasas anuales de incremento en

el período 1991-2020 del 21.94% y 0.90% respectivamente. Estos comportamientos, atribuidos al crecimiento de las zonas pobladas sobre espacios con vocación agropecuaria, que, pese al avance de las zonas urbanas, se incrementan en extensión año tras año en menor intensidad llegando a ocupar el 37.3 % del total de la superficie que equivale a 67198.3 ha del área de estudio para el año 2020; mientras que la cobertura que cedió mayor superficie con un total de 24772.16 ha fue la cobertura de Vegetación Arbustiva y Herbácea.

Se determinó que el software Dinámica EGO como modelo de simulación con enfoque tendencial fue útil para obtener una aproximación al posible límite urbano teórico y a su vez al proceso de expansión urbana, salvo el caso de que exista cambios drásticos en las variables analizadas; se obtuvo un nivel alto de confiabilidad en función de las ventanas múltiples consideradas, alcanzando una similitud del 53 % a partir de una ventana de 3 celdas para el período comprendido entre 2015 y 2020. Además, como resultado del análisis de correlación espacial entre las 16 variables explicativas para la delimitación de zonas de expansión urbana, se determinó que la relación estadística más significativa fue la distancia a servicios básicos, mientras que la variable cementerios y peligro volcánico no provocaron cambios sustanciales en los resultados.

El crecimiento tendencial de la mancha urbana en la zona de estudio para el año 2030 con relación al año 2020, presentó una extensión total de 2150.52 ha a una razón de crecimiento de 68 ha/año, siendo la parroquia Aloasí la que presente mayor crecimiento de las zonas urbanas, llegándose a multiplicar dos veces su área con una tasa de crecimiento del 114%.

El modelo LADM como un estándar de semántica para el intercambio de datos entre diferentes entidades locales, regionales y nacionales, permitió a través de la norma ISO 19152 establecer un sistema de administración territorial bajo los criterios biofísicos y socioambientales a nivel predial en las parroquias de Machachi, Alóag y

Aloasí. En donde, la integración de los datos al sistema de administración territorial constituyó un verdadero reto para la estandarización de los parámetros a considerar dentro del modelo, por lo tanto, se realizó una comparación de términos y definiciones expresados en la norma ISO 19152 y el Acuerdo Ministerial 029-16, encontrándose un 85% de similitud en el catastro rural y un 75% con el catastro urbano.

Social Tenure Domain Model (STDM) fue una herramienta de gran importancia en la adaptación de la norma ISO 19152 para las parroquias: Alóag, Aloasí y Machachi, permitiendo la incorporación de cuatro entidades: predio, persona, riesgo y suelo, que engloban las variables socioambientales y biofísicas. En efecto, para la entidad riesgo se estableció que la parroquia de Aloasí es la que presenta una menor susceptibilidad a riesgos naturales en relación a las demás parroquias. Respecto de la entidad predio se encontró que para las parroquias de Alóag, Aloasí y Machachi la restricción por ríos y quebradas afectó en un 1.17%, 10% y 2.8% respectivamente a nivel predial; de igual manera la restricción vial afectó al 25% de los predios de la parroquia Alóag y en un 10% de predios a las parroquias de Aloasí y Machachi. Finalmente, en la entidad suelo se determinó un total de 57 sectores sujetos a expansión urbana que abarcan un total de 591 predios rurales.

Recomendaciones

Es importante la difusión de la información espacial lograda en cada proyecto de investigación, por lo tanto, es necesario la incorporación de un geonodo que permita compartir los resultados obtenidos, impulsando a la investigación continua de los diferentes temas.

Se sugiere el empleo de imágenes de alta resolución que en consecuencia mejoren la escala de trabajo, y con ello evitar que se tome como limitantes la determinación de categorías de la leyenda temática en mayor detalle. Además de

emplear método de clasificación por objetos que no solo permita analizar a nivel espectral sino con relación al tamaño, textura y forma.

La información que se maneja entre las instituciones públicas con los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) debe ser más estructurada y actualizada de manera que los datos que se manejen no varíen de una institución a otro, evitando tener con ello contradicciones que afecten a futuros estudios. Además de lograr una estandarización de bases de datos que sean de libre acceso mediante el empleo de geoportales.

En la simulación del crecimiento urbano con respecto al periodo de tiempo considerado entre el mapa de cobertura inicial, mapa de cobertura observado o real y el mapa de cobertura simulado, no debe ser muy dilatado, ya que en base al presente estudio se determinó una tendencia de crecimiento urbano en períodos relativamente cortos en relación a los 19 años analizados. Por otro lado, en futuros estudios de simulación se recomienda emplear variables que involucren la evaluación de predios rurales con vocación agropecuaria o forestal, que se ubican en zonas de patrimonio cultural, arqueológico, además de considerar variables socioeconómicas tales como crecimiento poblacional, marginación, migración, densidad de ocupación y otros factores limitantes que influyan positiva o negativamente sobre el cambio de uso de suelo.

Los Gobierno Autónomos descentralizados deben tener en cuenta que la administración de su territorio es un tema de interés global y gracias al desarrollo tecnológico existe un avance en el manejo de datos espaciales permitiendo el uso de software libre, datos abiertos a través de plataformas electrónicas, trámites electrónicos, actualización de datos, integración de datos locales, nacionales y regionales, entre otros. Acciones que son importantes al momento de evolucionar el catastro tradicional y

tener un enfoque sostenible del crecimiento urbano fortaleciendo el sistema propuesto en este trabajo de investigación.

Para un eficaz sistema de administración territorial, la adaptación de normas internacionales en los catastros municipales debe ir más allá de la estandarización de términos implementados en el Acuerdo Ministerial 017-20; se requiere una visión completa del territorio que permita tener directrices para generar un sistema integral entre las diferentes instituciones de los municipios.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). Metodología Para La Corrección Atmosférica De Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 Y Landsat 8 Con El Módulo Flaash Del Software Envi. Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39–59.
<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alzate Giraldo, G. A., & Sánchez Gómez, D. P. (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* (Issue 1). Universidad Católica de Manizales.
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. In *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección* (p. 10). <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>
- Arellano, K., & Castro, S. (2019). *MODELAMIENTO DEL CRECIMIENTO URBANO EN*

EL CANTÓN IBARRA AL AÑO 2025 PARA LA PLANIFICACIÓN DEL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM/Landsat Data Continuity Mission (LDCM). In Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas (Ed.), *System* (p. 47).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21308.44167>

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo., LOOTUGS

Suplemento del Registro Oficial 790, 5-VII-2016 31 (2016).

<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-Territorial-Us-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>

<http://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-Territorial-Us-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>

Ley Orgánica de Tierras y Territorios Ancestrales, Registro Oficial Suplemento 711 de 14-mar.-2016. Última modificación: 21-ago.-2018 1 (2018). www.lexis.com.ec

Assaye, R., Suryabhadgavan, K. V, Balakrishnan, M., & Hameed, S. (1986, April 30).

Geo-Spatial Approach for Urban Green Space and Environmental Quality

Assessment: A Case Study in Addis Ababa City. *Journal of Geographic Information*

System, 9, 191–206. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.92012>

Bedón, F., & Pinto, S. (2012). “ *Evaluación De Técnicas De Detección De Análisis*

Multitemporal De Imágenes Satelitales en el cantón Daule”. Universidad de las

Fuerzas Armadas.

Benayas, R. (2016). *Distancia euclidiana y reclasificación raster con ArcGIS | GEASIG.*

<https://www.geasig.com/distancia-euclidiana-reclasificacion-raster-arcgis/>

Benediktsson, J., Swain, P., & Ersoy, O. (1990, July). “Neural network approaches

versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data.”

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28(4), 13.

- Boca, T., & Rodríguez, G. (2005). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos* [Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar]. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_mtodos_est__sensores.pdf
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2. In *Revista de Teledeteccion* (Vol. 48). <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Cabrera, E., Vargas, D. M., Galindo, G., García, M. C., & Ordoñez, M. F. (2011). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, Nivel Subnacional Escala gruesa y fina*. http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo_para_la_cuantificaci%C3%B3n_Deforestaci%C3%B3n_Nivel_Nacional.pdf
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan-Pérez, J. I., & Pineda-Jaimes, N. B. (2015). Modelado de cambios de cobertura y uso del suelo: Escenarios prospectivos en el Estado de México. Estudio de caso Amanalco de Becerra. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(2), 203–220. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.049>
- Campos, R., Almeida, C., Dos Santos, J., & Theodor, B. (2013). MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS ALTERAÇÕES DE COBERTURA E USO DA TERRA RELACIONADAS À EXPANSÃO CANAVIEIRA. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(2), 313–337.
- Cerda, J. L., & Villarroel, L. P. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54–58. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v79n1/art08.pdf>
- Cerda Troncoso, J. (2007). *La expansión urbana discontinua analizada desde el enfoque de accesibilidad territorial aplicación a santiago de chile*. 105.

- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (Rialp (ed.); Segunda).
- Congalton, R. G. (1988). A Comparison of Sampling Schemes Used in Generating Error Matrices for Assessing the Accuracy of Maps Generated from Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(5), 593–600.
[https://doi.org/0099-1112/88/5405-593\\$02.25/0](https://doi.org/0099-1112/88/5405-593$02.25/0)
- Congalton, R. G. (2001). Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 321–328.
<https://doi.org/10.1071/wf01031>
- Constitucion De La Republica Del Ecuador, Registro oficial 449 de 20 Oct. 2008 1 (2008). <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>
- Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización COOTAD, 2 Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct-2010 174 (2010).
http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf
- Corbelle, E., & Tubío, J. (2018). Productivismo y abandono: dos caras de la transición forestal en Galicia (España), 1966-2009. *Revista Bosque*, 39(3), 457–467.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000300457>
- Cruz, M. F. (2008). *Caracterización de puntos de control en teledetección: Aplicación a la corrección geométrica automática de imágenes NOAA-AVHRR GAC-5km* [Universidad de Almería].
<https://books.google.com.ec/books?id=0aVMAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. M. (1998). Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 92. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Diaz Urrutia, W., & Domínguez Ramírez, C. (2014). Guía Metodológica Para La

- Localización De Suelos De Expansión Urbana Con Énfasis Ambiental: Estudio De Caso Sylvania Cundinamarca. *Boletín Semillas Ambientales*, 7(2).
- El Telégrafo. (2013, October 14). *¿En qué consiste la Estrategia Territorial Nacional?*
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/masqmenos/1/en-que-consiste-la-estrategia-territorial-nacional>
- Enemark, S., McLaren, R., Lemmen, C., Antonio, D., Gitau, J., De Zeeuw, K., Dijkstra, P., Quinlan, V., & Freccia, S. (2016). *FIT-FOR-PURPOSE LAND ADMINISTRATION* (V. Quinlan & S. Freccia (eds.)). www.unhabitat.org
- Erba, D. (2007). *Catastro multifinalitario: aplicado a la definición de políticas de suelo urbano* (Lincoln Institute of Land Policy (ed.)).
- Erba, D. (2015, November 3). Gestión de la información territorial municipal a través del catastro multifinalitario. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 1(1), 29–51. <https://doi.org/2550-6641>
- Escobar, S. (2018). *Caracterización del paisaje del Valle de Machachi (Ecuador), y análisis de su evolución reciente (1940-2015)*. Universidad de Barcelona.
- Espinoza, V. (2017). Dinamica Ego : Una Herramienta Gratuita Para Modelar Y Brindar. *Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais*, 1–20.
- Fernández, M. B. (2019, December 19). La clasificación urbanística del espacio de transición urbano / rural en la legislación del suelo del Ecuador. *Revista Eídos*, 3–19. <https://doi.org/1390-5007>
- Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(5), 627–633. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.5.627>
- Galindo, G., Espejo, O., Rubiano, J., Vergara, L., & Cabrera, E. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0* (N. Córdoba & L. Carreño (eds.)). https://doi.org/978_958_8067_63

6

- García, A., Santé, I., Crecente, R., & López, F. (2008). Análisis de los factores que condicionan la expansión de un núcleo urbano costero mediante simulación con autómatas celulares. In *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*.
- Gascon, F., Bouzinac, C., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lonjou, V., Lafrance, B., Massera, S., Gaudel-Vacaresse, A., Languille, F., Alhammoud, B., Viallefont, F., Pflug, B., Bieniarz, J., Clerc, S., Pessiot, L., Trémas, T., Cadau, E., ... Fernandez, V. (2017). Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. *Remote Sensing*, 9(6), 81. <https://doi.org/10.3390/rs9060584>
- Geospace. (2019). *Introducción a ENVI* (pp. 1–30).
- GLTN. (2018). *STDM 1 . 7 User Manual Revision*.
https://www.stdm.gltn.net/docs/1_7/STDM_1_7_User_Manual_Final.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía. (2014). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía 2015-2025* (p. 510).
<http://www.municipiodemejia.gob.ec/documents/ordenanzas/act-pdot-2015.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía. (2016). *Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza de Urbanizaciones y Fraccionamientos en el cantón Mejía* (pp. 1–33).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía. (2017). *Ordenanza Sustitutiva a la ordenanza de construcciones del cantón Mejía* (p. 30).
- Gómez, D. (2011). *Descripción y Aplicaciones de los Autómatas Celulares*. Universidad Autónoma de Puebla email:
- Gonzalez, E. (2019). *HUMEDALES DE LA LLANURA COSTERA DE AJÓ-SAMBOROMBÓN: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN* [Universidad Nacional de San Martín].
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/82786/CONICET_Digital_Nro.3a94

85b2-5771-4479-8426-29eb5dc475dd_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

INEC. (1990). *Censo de Población y Vivienda 1990*.

<http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

INEC. (2001). *Censo de Población y Vivienda 2001*.

<http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. REDATAM.

<http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

Jami, L. (2019). *Diseño de una metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad, caso aplicado a la parroquia la Victoria del cantón Pujilí*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Javier, L., & Alcántara, F. (2019, November). Modelo cartográfico para determinar áreas óptimas para la expansión urbana del distrito de Huánuco como aporte para la planificación. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 21(42), 3–12.

Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). Catastro 2014: Una vision para un sistema catastral futuro. In *Fédération Internationale des Géomètres*.

Kirby, E. (2012). *Cálculo del número de puntos GPS para la corrección geométrica y generación de una ortoimagen de alta resolución en áreas de baja y mediana pendiente*. Universidad San Francisco De Quito.

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

Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D., Li, B. L. T., & Vogel, C. (1999). *Land-Use*

and Land-Cover Change (LUCC) Implementation Strategy.

http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006377/1376383119247/report_48-LUCC.pdf

Lemmen, C. (2012). *A Domain Model for Land Administration* (E. Fendel (ed.)). Sieca Repro BV.

Lencinas, J. D., & Siebert, A. (2009, November). Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala Forest survey based on satellite imagery: spatial resolution and scale. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho*, 17(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.

Lin, A. Z. (2013). Variable Reduction in SAS by Using Weight of Evidence and Information Value. *SAS Global Forum*, 095–213.

Lin, A. Z., & Hsieh, T.-Y. (2014). Expanding the Use of Weight of Evidence and Information Value to Continuous Dependent Variables for Variable Reduction and Scorecard Development. In *SESUG*. University of Maryland,Baltimore.

Linares, S., del Fresno, M., & Meliendrez, M. (2014). *Expansión urbana mediante Tecnologías de la Información Geográfica y Modelos Emergentes: Aplicación a la ciudad Tandil (Buenos Aires, Argentina).* December, 1–31.

<https://www.graficasumma.com.ar/sc/descargas/n191.pdf>

López, M. A. (2012). *Unidad Mínima Cartografiable.*

<https://es.scribd.com/document/369523150/Lopez-Unidad-minima-cartografiable-2012-pdf>

López, P., & Fachelli, S. (2015). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL*

CUANTITATIVA (Primera).

- MAE, & MAGAP. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. In *Ministerio del Ambiente del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*.
- MAGBMA, & FAO. (2018). Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial. In *Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial*.
<http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>
- Marquina, J. J., & Mogollón, A. (2018, June). Niveles y escalas Levels and scales of geographic-information surveying in remote sensing. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1), 42–52.
- Mas, J.-F., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M., & Camacho Olmedo, M. (2011). *Una comparacion de programas de modelacion de cambios de cobertura/uso del suelo* (pp. 1–9). XV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. <https://hal-univ-tlse2.archives-ouvertes.fr/hal-01447901>
- Mas, J.-F., & Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *Geotropico*, 5(1), 1–24.
- MasterGIS. (2018). *Manual del curso de Teledetección, Procesamiento de Imágenes Drones y LIDAR en ENVI* (p. 38).
- Matellanes, R. (2019). *Composiciones RGB de imágenes satélite - Territorio Geoinnova - SIG y Medio Ambiente*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>
- Mejia, M., & Páliz, C. (2018, June 30). El territorio periurbano de la ciudad de Quito: expansión urbana, cambio de la morfología y valor del suelo. Caso de estudio “valle de Los Chillos”, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Revista Eídos*, 26.
http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/2006_05_05_consultation_en

.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2017.10.076%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.biotech.2018.07.087%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.042%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.

- Meneces, N. (2017). *HACIA UN MODELO CONCEPTUAL OPTIMIZADO DEL CATASTRO DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CALLAO*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Normas Técnicas Para Catastro De Bienes Inmuebles Urbanos, Rurales* (Registro Oficial Suplemento 853).
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/Acuerdo-Ministerial-29-16.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018a). "*Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo: Conceptos Básicos*".
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018b). "*Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo: Correspondencias Jurídicas* (Primera, p. 172).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Ambiente. (2012). Definiciones operativas de la leyenda de cambio de cobertura y uso de la tierra. In *MAE_Anexos*.
- Molina, J. (2000, May). La Administración de Tierras como Apoyo al Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria. *Encyclopedia of Volcanoes.*, 1995, 11.
- Mora, J. G., & Mas, J. F. (2008, April 30). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*, 67, 7–19. <https://doi.org/10.14350/rig.17987>
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible. In *Revista de Derecho Ambiental*. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2018.52077>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land

- change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Padilla, O., Pérez, P., Cruz, M., Huilcamaigua, S., & Astudillo, S. (2015). Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 310–326.
<https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2055>
- Paixão, S., Hespanha, J. P., Ghawana, T., Carneiro, A. F. T., & Zevenbergen, J. (2013). Modelling Brazilian Indigenous Tribes Land Rights with ISO 19152. *Proceedings of 5th Land Administration Domain Model Workshop*, 21.
<https://www.researchgate.net/publication/259482018%0A>
- Palomino, S., & Anaya, J. (2014). *Resultados, Sinergia entre datos ópticos y radar para determinar coberturas del suelo: preliminares para la región de Urabá, Colombia*. XVI Simposio Internacional SELPER 2014. <https://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Fotogrametria-PDI-Fusion-de-datos/FP23-Sinergia-entre-datos-opticos-y-radar-Uraba.pdf>
- Patiño, N. A. (2015). *CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SUELO RURAL DEL MUNICIPIO DE PUPIALES-NARIÑO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG*. Universidad de Manizales.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (p. 590). /o Institute for Global Environmental Strategies 2108. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- Peralvo, M., & Bastidas, L. (2014). *Monitoreo de Cambio de Cobertura y uso de la tierra a escala de sitios. Protocolo 3 - Versión 1*. (p. 124).
- Pijanowskil, B. C., Pithadia, S., Shellito, B. A., & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper

- Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 197–215. <https://doi.org/10.1080/13658810410001713416>
- Pinos, N. (2015). *PROSPECTIVA DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Caso cantón Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Piontekowski, V. J., Silva, S. S. da, Mendoza, E. R. H., Costa, W. L. de S., & Ribeiro, F. C. (2012, October). Modelagem do desmatamento para o Estado do Acre utilizando o programa DINAMICA EGO. *4º Simpósio de Geotecnologias No Pantanal, Bonito, MS*, 1064–1075.
- Plangg Riegel, R., Alves, D. D., Birlem, L. E., Schmidt, B., Rodrigues, M. A. S., & de Quevedo, D. M. (2019, June 30). Methodology of modelling: Simulation of urban scenarios. *Revista Conhecimento Online*, 3, 24.
<https://doi.org/10.25112/rco.v3i0.1856>
- Programa de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (pp. 7–10). <https://doi.org/10.32870/dgedj.v0i6.106>
- Quirós, E. (2009). *Clasificación de imágenes multiespectrales ASTER mediante funciones adaptativas*. Universidad de Extremadura.
- Rendón Macías, M., Riojas Garza, A., Contreras, D., Darío Martínez-Ezquerro, J., & Mario Enrique Rendón-Macías, C. (2018). Análisis bayesiano. Conceptos básicos y prácticos para su interpretación y uso. *Revista Alergia México*, 65(3), 285–298.
<https://doi.org/10.29262/ram.v65i3.512>
- Ruiz, A. (2009). Modelización de los factores de crecimiento urbano como aporte a la sostenibilidad. Estudio de caso: Manizales-Colombia. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 4, 81–96.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.

- M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L. R., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. In *Science* (Vol. 287, Issue 5459, pp. 1770–1774). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Salazar, E., Henríquez, C., Sliuzas, R., & Qüense, J. (2020). Geo-Information Evaluating Spatial Scenarios for Sustainable Development in Quito, Ecuador. *SPRS International Journal of Geo-Information.*, 9(3), 141. <https://doi.org/10.3390/ijgi9030141>
- Salazar, R., Miranda, D., & Fra, U. (2016, May 6). El Contexto de la norma ISO 19152 Land Administration. *Revista Geoespacial*, 13(1), 1–19.
- Salazar, S. (1941). *Monografía del cantón Mejía* (S. Escobar (ed.); Primera).
- Sánchez, J. (1989). Técnicas de análisis de datos nominales. Sánchez Carrión, Juan Javier (REIS N° 45. ESTUDIOS). *Reis*, 45(89), 133–155.
- Santacruz, M. (2015). *Metodología para la determinación de Suelo de Expansión Urbana como categoría de Ordenación Territorial*. Universidad de Cuenca.
- Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2019). *Guía para formulación/actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) Parroquial* (Primera).
- Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida, Pub. L. No. Resolución N.º CNP-003-2017, 148 (2017). www.planificacion.gob.ec
- Silva, I. G., Ferreira, E. A., Rufino, I. A. A., & Morais, J. M. S. C. (2016). Modelagem Dinâmica De Áreas Urbanas : Um Estudo De Caso Na Cidade De Campina Grande-Pb. In *7 Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável* (pp. 1–12).
- Smolka, M., & Mullahy, L. (2007). *Perspectivas urbanas : temas críticos en políticas de suelo en América Latina*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Soares Filho, B. S., Rodrigues, H. O., & Costa, W. L. (2009). Modelamiento de Dinámica

- Ambiental con Dinamica EGO. *Centro de Sensoriamento Remoto*, 119.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Modelamiento+de+Dinamica+Ambiental+con+Dinamica+EGO#0>
- Sosa Reyes, Y. Y., & Villatoro, J. (2015). Creación de una geodatabase de los archivos geodésicos de la dirección general de catastro y geografía, Honduras. *MEMORIA XIV CONFERENCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*, 8(1), 509–519. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2064>
- Ulibarri, G., & Fernández, S. (2001). *Investigación: Medidas de concordancia: el índice de Kappa*. *Medidas de concordancia: el índice de Kappa*. www.fisterra.com
- UN-HABITAT. (2016). *Fit-For-Purpose Land Administration: Guiding Principles for Country Implementation*. 60, 118. <https://unhabitat.org/books/fit-for-purpose-land-administration-guiding-principles-for-country-implementation/>
- Urriza, G., & Garriz, E. (2014). ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación en una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 97–123.
- USGS. (2018). Landsat Collection:U.S Geological Survey Fact Sheet 2018-3049. In *Fact Sheet*. <https://doi.org/10.3133/fs20183049>
- Ushiña Huera, D. P. (2019). *Diseño e implementación de la Metodología para la Gestión de Riesgos Naturales mediante la aplicación de herramientas de administración territorial en el Valle de los Chillos* [Universidad de las Fuerzas Armadas].
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/20387/1/T-ESPE-039178.pdf>
- Valero, J., Padilla, O., & Cruz, M. (2015). *Estudio multitemporal y análisis prospectivo del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Cristal mediante el uso de autómatas celulares*. [Universidad de las Fuerzas Armadas].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9498>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C.,

- Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, Y. J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21–37. <https://doi.org/1405-2849>
- Veldkamp, A., & Lambin, E. F. (2001). Editorial: Predicting land-use change. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 85, Issues 1–3, pp. 1–6). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Vélez, D. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE UNA SERIE DE IMÁGENES SENTINEL-1 Y DETECCIÓN DE CAMBIOS DEL USO DE SUELO PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESERVA ECOLÓGICA MANGLARES CHURUTE Y SUS ALREDEDORES EN GUAYAS-ECUADOR* [Universidad Pública de Navarra]. https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/33672/TFM_Diana_Velez_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2014). *Administración de la Tierra para un Desarrollo Sostenible* (Esri Press (ed.); Primera).
- Wu, F. (1998). Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of Environmental Management*, 53(4), 293–308. <https://doi.org/10.1006/jema.1998.0195>
- Xiang, W. N., & Clarke, K. C. (2003). The use of scenarios in land-use planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6), 885–909. <https://doi.org/10.1068/b2945>
- Yan, L., Roy, D. P., Li, Z., Zhang, H. K., & Huang, H. (2018, September 15). Sentinel-2A multi-temporal misregistration characterization and an orbit-based sub-pixel registration methodology. *Remote Sensing of Environment*, 215, 495–506. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.021>
- Yomralioglu, T., & Mc Laughlin, J. (2017). Cadastre: Geo-information innovations in land

administration. In T. Yomralioglu & J. McLaughlin (Eds.), *Cadastre: Geo-Information Innovations in Land Administration*. Springer International Publishing.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-51216-7>

Anexos