



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: 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 PÚJILÍ**

**AUTOR: JAMI AYMACAÑA, JENNY LISSETH**

**DIRECTOR: ING. PÉREZ SALAZAR, PABLO ROBERTO, MGS.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**

**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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, *“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”* fue realizado por la señorita, *Jami Aymacaña Jenny Lisseth* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 1 de julio del 2019

Firma:

**Ing. Pablo Roberto Pérez Salazar**

C. C 170636379-1



## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Jamí Aymacaña, Jenny Lisseth*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“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”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 1 de julio del 2019

Firma

Jenny Lisseth Jami Aymacaña

C.C.: 055001075-5



## AUTORIZACIÓN



**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

## AUTORIZACIÓN

Yo, *Jami Aymacaña, Jenny Lisseth*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***"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"*** en el repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 1 de julio del 2019

Firma

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lisseth', written over a dotted line.

Jenny Lisseth Jami Aymacaña

C.C.: 055001075-5



## DEDICATORIA

*Este trabajo lo dedico a Dios y a la virgen María, a quienes tengo presente y he encomendado todo mi destino desde el inicio de mi etapa universitaria.*

*A quien ha sido mi apoyo incondicional, quien ha estado siempre en las buenas las malas y las peores, la maravillosa mujer que es y será siempre mi ejemplo de vida, quien me vio crecer, llorar, ser feliz, a quien me enseñó que la vida es un reto y a luchar por mis sueños, gracias por creer en mí, por tantos sacrificios, esta va por ti mi mamita Hilda.*

*A mi ángel del cielo, quien me ha indicado el camino y cuida siempre de mí, a mi padre Carlitos, esto es para ti papito, de aquí hasta el cielo!*

*A mis hermanos del alma, ñañitos esto se los dedico con el corazón, a mi pana Carlitos y mi chiqui Dome que son los mejores, junto a ustedes he conocido lo maravilloso de la vida, lo genial que es contar con ustedes, y así será siempre mis mosqueteros!, juntos lo lograremos, juntos viviremos, juntos seremos.*

*A mis abuelitos Juanito y Elena, Nicolás y Cleotilde, por el cariño sincero de padres, por pedirle a Dios que cuide de mí, por tanto apoyo, gran parte de este logro es por y para ellos.*

*A mis tíos y primos, por todo el apoyo, cariño, consejos, en fin por todo lo brindado, en especial a mis tíos Ramiro y Silvia a quienes considero unos segundos padres para mí, a Juan Carlos y Mercedes por estar pendientes y abrirme las puertas de su hogar con tanto cariño y aprecio, y a mi tía Verónica y Oswaldo con el pequeño Joelito por todo el amor, consejos y apoyo recibido.*

*A mis amigos, por aparecer en mi vida y hacer que esto haya sido más llevadero, todas nuestras anécdotas las llevaré dentro de mi corazón por siempre.*

*A mi mejor amigo, por los consejos, por cuidarme, por hacer que mi vida sea más feliz, gracias por tanto, en fin por enseñarme que la universidad es una jungla y que debo sobrevivir en ella, siempre tendrás un lugar en mi corazón.*

*...Lisseth*

## AGRADECIMIENTOS

*Al GAD municipal de Pujilí por abrirme las puertas de su institución y proporcionar toda la información necesaria para la realización de este proyecto de titulación, en especial a los Ingenieros Fabían Terán y Luis Villacrés del departamento de planificación por la asesoría, colaboración, ideas y tiempo brindado.*

*Al Ing. Pablo Pérez por toda la ayuda y orientación brindada a lo largo del desarrollo de este proyecto, así como también al Ph.D Rodolfo Salazar por la colaboración y consejos proporcionados.*

*A mi familia y amigos, les agradezco por todo lo vivido y por todo el cariño a lo largo de este camino.*

*A todos los docentes que contribuyeron en mi formación profesional.*

*Al Instituto Geográfico Militar, por facilitar todos los insumos requeridos para el desarrollo de este trabajo.*

*Al alma máter, la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE por permitirme formarme como profesional dentro de sus instalaciones, ha sido un gusto y un gran privilegio.*

*...Lisseth*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICADO DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del Problema .....	2
1.3. Justificación e Importancia .....	3
1.4. Descripción del Área de Estudio .....	4
1.5. Objetivos .....	5
1.5.1. Objetivo General .....	5
1.5.2. Objetivos Específicos .....	5
1.6. Metas .....	6
1.7. Hipótesis .....	6
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>7</b>
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Fundamento Teórico .....	7
2.1.1. Diagnóstico Territorial .....	7
2.1.2. Planificación Territorial .....	7
2.1.3. Gestión Territorial .....	7
2.1.4. Ordenamiento Territorial .....	7
2.1.5. Plan de Ordenamiento Territorial Rural .....	8
2.1.6. Sostenibilidad .....	8
2.1.7. Desarrollo Sostenible .....	9

2.1.8. Ciudades Sostenibles.....	9
2.1.9. Desarrollo Integral y Territorial Sostenible.....	9
2.1.10. Administración Territorial.....	10
2.1.11. Prospectiva Territorial.....	11
2.1.12. Delimitación Territorial.....	11
2.1.13. Expansión Urbana .....	11
2.1.14. Área Periurbana.....	12
2.1.15. Planeación Urbana.....	12
2.1.16. Crecimiento Urbano .....	12
2.1.16.1. Ciudad Pequeña.....	13
2.1.16.2. Ciudad Media .....	13
2.1.17. Crecimiento urbano y demográfico de la parroquia La Victoria del cantón Pujilí .....	14
2.1.18. Modelos de simulación del crecimiento urbano.....	17
2.1.18.1. Modelos de simulación del crecimiento urbano basados en inteligencia artificial .....	17
2.1.18.1.1. Autómatas Celulares (AC) .....	17
2.1.18.1.1.1. DINÁMICA EGO .....	18
2.1.18.1.1.2. MOLUSCE .....	19
2.1.18.2. Modelo de simulación del crecimiento urbano basado en Evaluación Multicriterio .....	19
2.1.19. Escenarios Prospectivos .....	20
2.2. Fundamento Legal.....	20
2.3. Fundamento Institucional.....	22
2.3.1. Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021.....	22
2.3.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible y Agenda 2030.....	22
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
3. MARCO METODOLÓGICO .....	24
3.1. Selección de variables .....	24
3.2. Selección de Criterios de Sostenibilidad .....	26
3.3. Evaluación Multicriterio.....	29
3.3.1. Proceso Analítico Jerárquico (AHP) .....	30
3.4. Aplicación de Modelos de Simulación del Crecimiento Urbano .....	31
3.5. Determinación de Zonas de Expansión Urbana .....	31
3.6. Formulación de Escenarios Prospectivos .....	32
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>



4. FORMULACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD .....	34
4.1. Fase de Preparación.....	34
4.2. Fase de Análisis y Evaluación.....	35
4.3. Fase de Selección .....	35
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	37
5. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN LA PARROQUIA... LA VICTORIA DEL CANTÓN PUJILÍ.....	37
5.1. Selección de variables explicativas y recopilación de información .....	37
5.1.1. Marco legal.....	37
5.1.2. Selección de Criterios de Sostenibilidad .....	38
5.1.3. Geodatabase .....	39
5.2. Análisis multicriterio.....	40
5.2.1. Definición de variables.....	40
5.2.2. Criterios de urbanización.....	41
5.2.2.1. Criterios Biofísicos.....	41
5.2.2.1.1. Pendiente .....	41
5.2.2.1.2. Riesgos .....	42
5.2.2.1.2.1. Inundaciones .....	42
5.2.2.1.2.2. Movimientos en Masa .....	42
5.2.2.1.2.3. Intensidad Sísmica.....	43
5.2.2.1.2.4. Caída de Cenizas .....	43
5.2.2.1.2.5. Peligro Volcánico.....	44
5.2.2.1.3. Uso del Suelo .....	44
5.2.2.1.4. Red Hidrográfica .....	45
5.2.2.1.4.1. Proximidad a Ríos, Quebradas y Lagunas.....	45
5.2.2.1.5. Cantidad de habitantes por m <sup>2</sup> de Áreas Verdes .....	45
5.2.2.1.6. Proximidad a Centros de Recreación .....	45
5.2.2.1.7. Tipo de suelo .....	46
5.2.2.2. Criterios Económicos .....	46
5.2.2.2.1. Infraestructura .....	46
5.2.2.2.1.1. Proximidad a infraestructura de riego .....	46
5.2.2.2.1.2. Proximidad a infraestructura de producción (acequia, puente, sendero) .....	47

5.2.2.2.1.3. Aptitud del suelo .....	47
5.2.2.3. Criterios Socioculturales .....	48
5.2.2.3.1. Tradiciones .....	48
5.2.2.3.2. Cantidad de habitantes .....	48
5.2.2.3.3. Cantidad de habitantes por ha de Zona Urbana.....	48
5.2.2.4. Criterios en base a Movilidad Energía y Conectividad .....	49
5.2.2.4.1. Redes de Servicios Básicos .....	49
5.2.2.4.2. Centros urbanos.....	49
5.2.2.4.3. Vías .....	50
5.2.2.5. Criterios en base a Asentamientos Humanos .....	50
5.2.2.5.1. Equipamientos.....	50
5.2.2.5.1.1. Proximidad a Centros Educativos y Salud .....	50
5.2.3. Estandarización de variables .....	51
5.2.4. Asignación de pesos .....	52
5.3. Generación del modelo de predicción del crecimiento urbano .....	58
5.3.1. Definición de variables.....	58
5.3.2. DINÁMICA EGO .....	59
5.3.2.1. Creación del cubo ráster .....	60
5.3.2.2. Cálculo de las matrices de transición .....	61
5.3.2.3. Cálculo de rangos para categorizar variables continuas.....	62
5.3.2.4. Cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.....	63
5.3.2.5. Análisis de correlación espacial entre variables.....	64
5.3.2.6. Construcción y ejecución del modelo de simulación del crecimiento urbano .....	64
5.3.2.7. Ejecución de la simulación del crecimiento urbano con formación de parches y .....	66
expansiones.....	66
5.3.2.8. Validación del modelo de crecimiento urbano mediante ventanas múltiples .....	68
5.3.2.9. Simulación del crecimiento urbano al año 2030 .....	69
5.3.3. MOLUSCE.....	71
5.3.3.1. Submódulo de entrada .....	71
5.3.3.2. Análisis de correlación .....	71
5.3.3.3. Cálculo de cambios de área y matriz de transición .....	72
5.3.3.4. Modelamiento del potencial de transición.....	72
5.3.3.5. Proyección de Crecimiento urbano .....	72

5.3.3.6. Validación .....	73
5.4. Determinación de zonas de expansión urbana .....	73
5.5. Formulación de escenarios prospectivos .....	73
5.5.1. Identificación de variables territoriales .....	73
5.5.2. Análisis de estrategia de actores.....	75
5.5.3. Diseño de escenarios .....	76
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	79
6. RESULTADOS .....	79
6.1. Evaluación Multicriterio.....	79
6.1.1. Asignación de pesos .....	79
6.1.2. Zonas óptimas de expansión urbana.....	81
6.2. Simulación del Crecimiento Urbano .....	82
6.2.1. DINAMICA EGO .....	82
6.2.2. MOLUSCE.....	84
6.2.3. Comparación de modelos de simulación del crecimiento urbano .....	86
6.2.4. Simulación del crecimiento urbano al año 2030 .....	88
6.3. Determinación de Zonas de Expansión Urbana .....	89
6.4. Formulación de escenarios prospectivos .....	91
6.4.1. Escenario Tendencial .....	91
6.4.2. Escenario Optimista .....	92
6.4.3. Escenario Pesimista.....	94
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	96
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
7.1. Conclusiones .....	96
7.2. Recomendaciones.....	98
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Variables explicativas dentro del marco legal que intervienen en la expansión urbana</i> .....	24
<b>Tabla 2.</b> <i>Criterios de sostenibilidad tomados para la delimitación de zonas de expansión urbana</i> .....	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Síntesis de variables que intervienen en la delimitación de zonas de expansión urbana</i> .....	37
<b>Tabla 4.</b> <i>Variables en base a criterios de sostenibilidad para la delimitación de zonas de expansión urbana</i> .....	38
<b>Tabla 5.</b> <i>Variables a considerar en la evaluación multicriterio</i> .....	41
<b>Tabla 6.</b> <i>Tipos de pendientes</i> .....	41
<b>Tabla 7.</b> <i>Criterios de inundaciones</i> .....	42
<b>Tabla 8.</b> <i>Tipos de movimientos en masa</i> .....	42
<b>Tabla 9.</b> <i>Tipos de intensidad sísmica</i> .....	43
<b>Tabla 10.</b> <i>Tipos de peligro por caída de ceniza</i> .....	43
<b>Tabla 11.</b> <i>Tipos de probabilidad a peligro volcánico</i> .....	44
<b>Tabla 12.</b> <i>Categorías de uso de suelo</i> .....	44
<b>Tabla 13.</b> <i>Criterios de proximidad a ríos, quebradas y lagunas</i> .....	45
<b>Tabla 14.</b> <i>Criterios en cuanto a tradiciones</i> .....	45
<b>Tabla 15.</b> <i>Criterios en cuanto a proximidad a centros educativos, salud y recreación</i> .....	46
<b>Tabla 16.</b> <i>Tipos de suelo</i> .....	46
<b>Tabla 17.</b> <i>Criterios de proximidad a infraestructura de riego</i> .....	47
<b>Tabla 18.</b> <i>Criterios de proximidad a infraestructura de producción</i> .....	47
<b>Tabla 19.</b> <i>Criterios de aptitud del suelo</i> .....	47
<b>Tabla 20.</b> <i>Criterios en cuanto a tradiciones</i> .....	48
<b>Tabla 21.</b> <i>Criterios en cuanto a la cantidad de habitantes</i> .....	48
<b>Tabla 22.</b> <i>Criterios en cuanto a la cantidad de habitantes por ha de zona urbana</i> .....	49
<b>Tabla 23.</b> <i>Criterios en cuanto a redes de servicios básicos</i> .....	49
<b>Tabla 24.</b> <i>Criterios en cuanto a proximidad de zonas urbanas existentes</i> .....	50
<b>Tabla 25.</b> <i>Criterios en cuanto a proximidad a vías</i> .....	50

<b>Tabla 26.</b> <i>Criterios en cuanto a proximidad a centros educativos, salud y recreación.....</i>	<i>51</i>
<b>Tabla 27.</b> <i>Criterios, categorización y estandarización de variables.....</i>	<i>53</i>
<b>Tabla 28.</b> <i>Variables consideradas en la simulación del crecimiento urbano .....</i>	<i>58</i>
<b>Tabla 29.</b> <i>Actores que intervienen en la formulación de escenarios.....</i>	<i>75</i>
<b>Tabla 30.</b> <i>Hipótesis para la construcción de escenarios.....</i>	<i>77</i>
<b>Tabla 31.</b> <i>Pesos por componente y variable.....</i>	<i>79</i>
<b>Tabla 32.</b> <i>Proporción de cambio - Matriz de transición múltiple.....</i>	<i>82</i>
<b>Tabla 33.</b> <i>Proporción de cambio - Matriz de transición simple .....</i>	<i>82</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i><b>Figura 1.</b></i> Mapa de la parroquia La Victoria. ....	5
<i><b>Figura 2.</b></i> Facetas del ordenamiento territorial .....	8
<i><b>Figura 3.</b></i> Modelo de Desarrollo Territorial Sostenible .....	10
<i><b>Figura 4.</b></i> Elementos característicos de la prospectiva territorial. ....	11
<i><b>Figura 5.</b></i> Mancha urbana de una ciudad pequeña. ....	13
<i><b>Figura 6.</b></i> Mancha urbana de una ciudad media, inicio de ejes urbanos. ....	14
<i><b>Figura 7.</b></i> Crecimiento de la población en la parroquia La Victoria. ....	14
<i><b>Figura 8.</b></i> Parroquia La Victoria 2011 .....	15
<i><b>Figura 9.</b></i> Parroquia La Victoria 2013. ....	16
<i><b>Figura 10.</b></i> Parroquia La Victoria 2019. ....	16
<i><b>Figura 11.</b></i> Vecindad de un Autómata Celular. ....	18
<i><b>Figura 12.</b></i> Pasos en el diseño de escenarios. ....	20
<i><b>Figura 13.</b></i> Proceso de Evaluación Multicriterio. ....	30
<i><b>Figura 14.</b></i> Escala de ponderación de Saaty. ....	30
<i><b>Figura 15.</b></i> Fases para la formulación de escenarios prospectivos .....	32
<i><b>Figura 16.</b></i> Metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana con criterios de ..... sostenibilidad. ....	36
<i><b>Figura 17.</b></i> Estructura de la Geodatabase. ....	40
<i><b>Figura 18.</b></i> Categorías de urbanización. ....	52
<i><b>Figura 19.</b></i> Categorías de urbanización. ....	59
<i><b>Figura 20.</b></i> Creación del cubo ráster. ....	61
<i><b>Figura 21.</b></i> Modelo para el cálculo de. ....	61
<i><b>Figura 22.</b></i> Modelo para el cálculo de rangos para .....	62
<i><b>Figura 23.</b></i> Edición de parámetros para la categorización .....	63
<i><b>Figura 24.</b></i> Modelo para el cálculo de los coeficientes .....	63
<i><b>Figura 25.</b></i> Modelo para el análisis de correlación .....	64
<i><b>Figura 26.</b></i> Modelo para la simulación del crecimiento urbano. ....	65
<i><b>Figura 27.</b></i> Parámetros del functor Patcher. ....	66
<i><b>Figura 28.</b></i> Modelo para la simulación de crecimiento urbano con parches y expansiones .....	67

<b>Figura 29.</b> Porcentaje de cambio del functor Expandar. ....	67
<b>Figura 30.</b> Parámetros del functor Expandar.....	68
<b>Figura 31.</b> Modelo para la validación de la simulación del crecimiento urbano mediante ventanas múltiples.....	69
<b>Figura 32.</b> Parámetros del functor For .....	69
<b>Figura 33.</b> Modelo de simulación del crecimiento urbano al año 2030 .....	70
<b>Figura 34.</b> Parámetros del functor For .....	70
<b>Figura 35.</b> Submódulo de entrada de datos. ....	71
<b>Figura 36.</b> Rango de valores del índice Kappa.....	73
<b>Figura 37.</b> Matriz de dependencia de variables.....	74
<b>Figura 38.</b> Análisis de dependencia entre variables. ....	75
<b>Figura 39.</b> Análisis de dependencia entre variables. ....	76
<b>Figura 40.</b> Análisis de dependencia entre variables. ....	77
<b>Figura 41.</b> Zonas de expansión urbana obtenidas a través de evaluación multicriterio .....	81
<b>Figura 42.</b> Coeficientes obtenidos de la correlación entre mapas .....	83
<b>Figura 43.</b> Porcentaje de similitud obtenido de la correlación entre mapas.....	83
<b>Figura 44.</b> Submódulo de análisis de correlación de variables .....	84
<b>Figura 45.</b> Submódulo de cuantificación del cambio de áreas. ....	85
<b>Figura 46.</b> Submódulo de modelamiento del potencial de transición .....	85
<b>Figura 47.</b> Submódulo de validación. ....	86
<b>Figura 48.</b> Comparación de modelos de simulación obtenidos con el mapa real (2019).....	87
<b>Figura 49.</b> Crecimiento urbano de la parroquia La Victoria .....	88
<b>Figura 50.</b> Zonas de expansión urbana y uso urbano vigente de la parroquia La Victoria. ....	89
<b>Figura 51.</b> Zonas de expansión urbana y uso urbano de la parroquia La Victoria.....	90
<b>Figura 52.</b> Mapa de uso urbano óptimo en la parroquia La Victoria .....	90
<b>Figura 53.</b> Escenario tendencial (2030) de uso urbano en la parroquia La Victoria.....	92
<b>Figura 54.</b> Escenario optimista de uso urbano en la parroquia La Victoria .....	93

## RESUMEN

La expansión acelerada de la mancha urbana es un fenómeno global que provoca la demanda de sitios apropiados para subsistir; pese a que existen lugares que no cuentan con las condiciones necesarias de habitabilidad, la población se asienta en éstos, provocando que su forma de vida no sea adecuada. Ante esto se han establecido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS-2030), dentro de los cuales el Objetivo 11 “ciudades y comunidades sostenibles”, pretende lograr que los asentamientos humanos sean inclusivos, resilientes, seguros y sostenibles. Por ello que se plantea el diseño de una metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad, para que sirva como herramienta de apoyo en la toma de decisiones para la gestión territorial sostenible. La formulación de esta metodología se basa en una evaluación multicriterio que abarcó una serie de variables y criterios basados en leyes nacionales vigentes y metas e indicadores planteados para el cumplimiento de este ODS; además se simuló el crecimiento urbano al año 2030 con dos paquetes de modelamiento (DINÁMICA EGO, MOLUSCE) con el fin de optar por el mejor resultado. Finalmente se validó la metodología mediante su implementación en la parroquia La Victoria, de lo cual se obtuvo las zonas óptimas de expansión urbana basadas en el crecimiento urbano que presentará en el 2030 mediante el software DINÁMICA; también se plantearon posibles escenarios relacionados con los límites urbanos de la parroquia en cuestión.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SOSTENIBILIDAD**
- **CRECIMIENTO URBANO**
- **EXPANSIÓN URBANA**
- **EVALUACIÓN MULTICRITERIO**
- **PROSPECTIVA TERRITORIAL**



## **ABSTRACT**

The accelerated expansion of the urban sprawl is a global phenomenon that causes the demand of appropriate sites to survive; although there are places that do not have the necessary conditions of habitability, the population sits on them, causing their way of life is not adequate. Given this, the Sustainable Development Goals (ODS-2030) have been established, within which Goal 11 "Sustainable Cities and Communities" aims to make human settlements inclusive, resilient, safe and sustainable. For this reason, the design of a methodology for the delimitation of areas of urban expansion with sustainability criteria is proposed, so that it can serve as a support tool in decision-making for sustainable territorial management. The formulation of this methodology is based on a multi-criteria evaluation that included a series of variables and criteria based on current national laws and targets and indicators proposed for compliance with this SDG; In addition, urban growth was simulated in 2030 with two modeling packages (DINAMICA EGO, MOLUSCE) in order to opt for the best result. Finally, the methodology was validated through its implementation in the La Victoria parish, from which it obtained the optimal urban expansion areas based on the urban growth that it will present in 2030 through the DYNAMIC software; possible scenarios related to the urban boundaries of the parish in question were also raised.

## **KEY WORDS**

- **SUSTAINABILITY**
- **URBAN GROWTH**
- **URBAN EXPANSION**
- **MULTICRITERIA EVALUATION**
- **TERRITORIAL PROSPECTIVE PROJECT**

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes

Actualmente nos enfrentamos a un rápido incremento de la población, lo que va de la mano con el crecimiento urbano. De acuerdo con la ONU, aproximadamente la mitad de la población mundial vive en ciudades y para el 2030 casi el 60% vivirán en zonas urbanas, lo que asegura que las ciudades se encuentran en un fuerte proceso de expansión. La expansión urbana, es un fenómeno de ocurrencia mundial, que generalmente se presenta en las periferias de las ciudades así como también en las zonas rurales, ya sea por recursos o actividades de producción como la agricultura principalmente. Ante este hecho, se forman ciudades “emergentes”, de baja densidad poblacional y alta segregación, sin planificación en la selección de áreas adecuadas para el crecimiento urbano y poco sostenibles, lo que hace que las considere como focos de problemas sociales y económicos (Rocca & Sgroi, 2012).

La formulación de una metodología para definir zonas de expansión urbana constituye una herramienta clave que facilita la ejecución de un estudio que permita seleccionar los sitios adecuados. Un aspecto de gran importancia para un desarrollo urbanístico exitoso es la selección de zonas que favorezca su ocupación y origine el mínimo impacto ambiental posible. Se sugiere que el suelo óptimo para este fenómeno haciendo énfasis en el componente ambiental está condicionado por suelos de baja amenaza en cuanto a riesgos, capacidad agrológica baja, que no pertenezcan a áreas de protección ambiental, con características para sostener edificaciones, y con posibilidad de dotación de servicios básicos (Díaz & Domínguez, 2013). Adicionalmente es

importante tomar en cuenta factores económicos y sociales, garantizando la seguridad y estabilidad de los habitantes y a su vez el desarrollo sostenible de las ciudades.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El cantón Pujilí, todavía se encuentra en crecimiento y la manera en que se está desarrollando está provocando el malestar tanto en las personas como en aspectos territoriales, lo cual muy probablemente desencadenará mayores problemas a futuro (Bedoya, y otros, 2015). La Victoria es una de las parroquias rurales pertenecientes al cantón Pujilí, en la que debido a que se encuentra colindando al sur con la cabecera cantonal presenta características de una zona periurbana, como problemas en la ocupación del territorio y conflictos de uso, lo cual se ha ido reflejando en asentamientos humanos inadecuados en zonas de aprovechamiento forestal y en zonas de uso productivo (GAD Parroquial Rural de La Victoria, 2015), de tal forma que el crecimiento urbano en esta parroquia va en aumento. Al ser considerada como un gran atractivo turístico por su cultura y zonas naturales así como también uno de los principales proveedores de productos alimenticios para todo el cantón, pone en peligro la economía y la soberanía alimentaria en el caso de no ejercer un control adecuado y sostenible en la gestión del territorio, sobre todo en la limitación de espacios adecuados destinados a zonas urbanas (GAD Municipal de Pujilí, 2015).

La demanda de espacios habitables adecuados no solo se presenta en la parroquia en cuestión, sino en todo el mundo, y al no existir una respuesta para satisfacer esta necesidad, la población está asentándose bajo la modalidad de autoconstrucción, localizándose en sitios en los que no se tiene acceso a servicios básicos, vías, transporte, lugares de recreación entre otras; así como también son construidas en zonas de riesgo, sin espacios públicos prácticamente no tienen condiciones dignas para ser consideradas como lugares habitables (Díaz & Domínguez, 2013). Por ello que se plantea

el desarrollo de una metodología para la definir zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad de manera que sirva como apoyo para la toma de decisiones adecuadas en las ciudades, tomando el caso de estudio de la parroquia La Victoria del cantón Pujilí.

### **1.3. Justificación e Importancia**

El estudio del proceso de expansión urbanística actual y futura, es uno de los aspectos claves en el desarrollo sostenible de las ciudades (Díaz & Domínguez, 2013), por lo que es necesario contar con una metodología aplicable basada en criterios ambientales, sociales y económicos para que se garanticen mejoras urbanísticas sobre zonas que presenten características para sostener un asentamiento urbano e impedir que aparezcan sobre áreas inadecuadas que no permitan el desarrollo sostenible del sitio. Al enfatizar todas estas cuestiones se facilitan los procesos de ocupación del suelo y se reduce todo tipo de problema asociado con vidas humanas y costos de reubicación e infraestructura frente a una posible adecuación de espacios a futuro.

En el Cantón Pujilí existen 4 zonas homogéneas, que han sido consideradas por sus asentamientos humanos, red vial y disposición de servicios públicos y sociales (Cadena & Rivera, 2014), para la presente investigación se ha considerado la zona en la que se encuentra ubicada la parroquia La Victoria, que comprende un área de 2.100 Ha.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el cantón Pujilí perteneciente a la provincia de Cotopaxi, existe un estimado de 71.762 habitantes, de los cuales se registra aproximadamente 3.500 habitantes en la zona mencionada para el presente estudio; con los datos existentes del Censo de Población realizado en el 2010, la parroquia La Victoria tiene una de las mayores densidades presentes en el cantón, la cual corresponde a 144 hab/km<sup>2</sup> y según proyecciones realizadas por el INEC, la población en todo el cantón en el 2020 será de

aproximadamente 79.772 habitantes, lo que provoca que existan más asentamientos humanos probablemente en zonas no aptas.

El desarrollo de esta investigación contribuye como herramienta de apoyo para el GAD Parroquial Rural de La Victoria y para el GAD Municipal del Cantón Pujilí (GADMP) en la gestión, regulación y planificación territorial adecuada, donde se promueva el desarrollo sostenible tanto de la parroquia como de todo cantón.

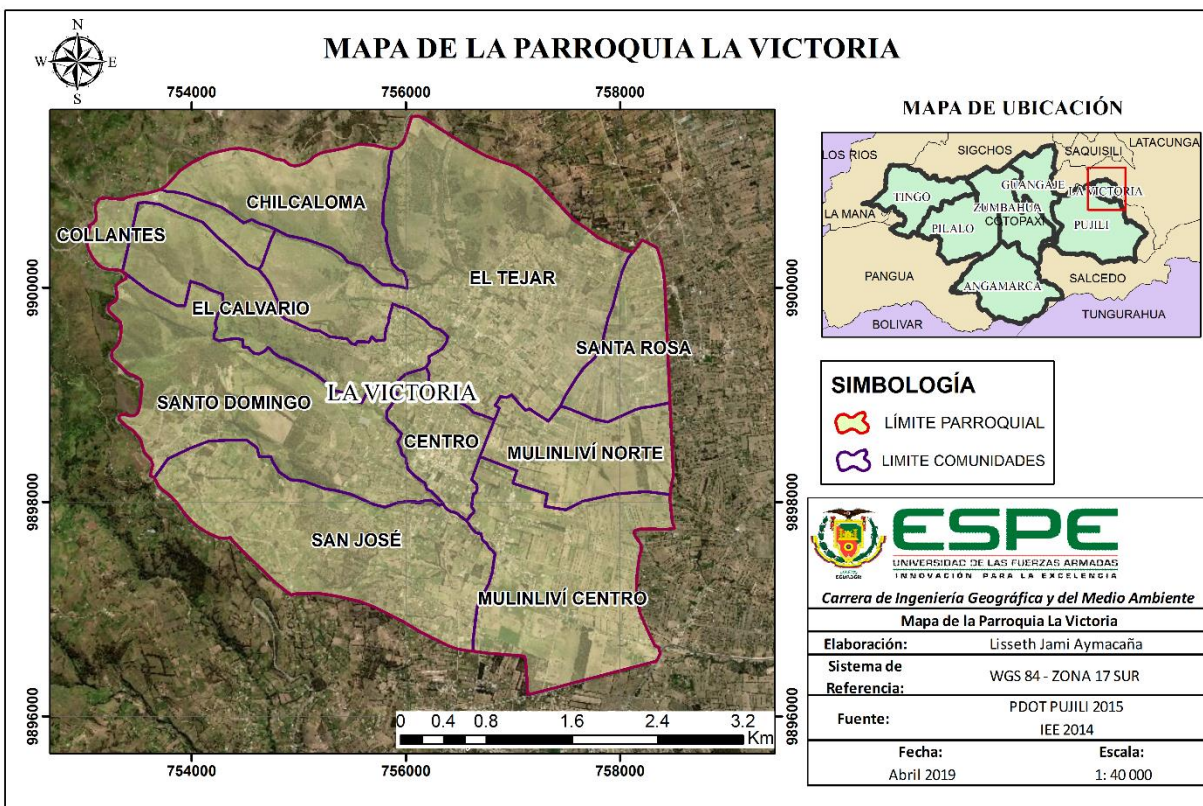
Adicionalmente el presente proyecto de investigación está alineado con el objetivo 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que hace referencia a las Ciudades y Comunidades Sostenibles, donde se menciona que es posible lograr un desarrollo sostenible administrando correctamente los espacios urbanos, ya que con esto se garantiza el acceso a una vivienda digna y segura, así como también una mejora en los asentamientos marginales de una manera participativa con la adopción de políticas y planes integrados (PNUD, 2015).

#### **1.4. Descripción del Área de Estudio**

Dentro del contexto geográfico, la parroquia rural La Victoria se encuentra ubicada al noreste del cantón Pujilí, perteneciente a la provincia de Cotopaxi (Ver Figura 1).

Se encuentra limitado de la siguiente manera: al norte y al este el cantón Latacunga, al sur y oeste la cabecera cantonal de Pujilí. Tiene una superficie de aproximadamente 2 100 Ha.

La parroquia La Victoria se encuentra conformada por barrios y comunidades: El Tejar, Santo Domingo, El Calvario, San José, Mulinliví Centro, Chilcaloma, Collantes, Mulinliví Norte, Santa Rosa y el Centro.



**Figura 1.** Mapa de la parroquia La Victoria.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Diseñar una metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana mediante la integración de variables geospaciales y criterios de sostenibilidad para aplicarla en la parroquia La Victoria del cantón Pujilí.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables necesarias aplicables para la zona de estudio.
- Realizar un análisis multicriterio para definir zonas óptimas de expansión urbana.
- Generar la cartografía temática de la parroquia La Victoria.
- Diseñar una propuesta metodológica para la delimitación urbana con criterios de sostenibilidad.

- Formular posibles escenarios prospectivos de límites urbanos.

### **1.6. Metas**

- Considerar al menos 6 variables para integrar criterios de sostenibilidad, distribuidas dentro del componente social, económico y ambiental.
- Emplear al menos 2 software para la simulación del crecimiento urbano.
- 1 geodatabase con los shapes generados de cartografía temática del área de estudio de 2.100 Ha en escala de trabajo 1:5 000.
- 1 modelo cartográfico para la delimitación de zonas de expansión urbana en base a criterios de sostenibilidad.
- Formular por lo menos 2 posibles escenarios de límites urbanos.
- 1 mapa de las posibles zonas de expansión urbana de la parroquia La Victoria del cantón Pujilí.

### **1.7. Hipótesis**

El diseño de una metodología para la delimitación urbana es útil para el desarrollo sostenible de las ciudades.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Fundamento Teórico**

##### **2.1.1. Diagnóstico Territorial**

El objetivo del diagnóstico territorial es interpretar y comprender la dinámica del territorio a través del análisis de los antecedentes históricos y tendencias, prácticamente se puede considerar como un inventario que representa el territorio lo cual debe ser pertinente a los objetivos a alcanzar.

##### **2.1.2. Planificación Territorial**

Básicamente, la planificación es considerada la clave de un buen ordenamiento territorial en cuyas medidas y propuestas de regulación, intervención y gestión, se deberá tomar en cuenta aspectos culturales, ambientales, políticos, económicos y sociales en el territorio, con el objetivo de lograr el uso y ocupación del suelo de manera ordenada y regulada, así como también el desarrollo equitativo de oportunidades para todos. (SENPLADES, 2010). Dentro de la planificación se encuentra la prospectiva territorial, que define situaciones futuras. (Gómez, 2007)

##### **2.1.3. Gestión Territorial**

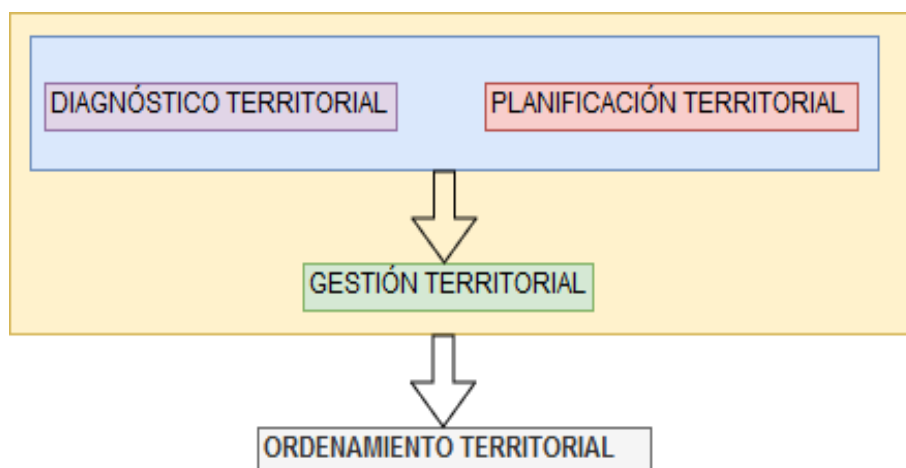
Engloba todos los procedimientos y diligencias con un orden jerárquico y temporal para la intervención en el territorio y el logro de los objetivos en el manejo adecuado del suelo (González, 2011). La gestión territorial comprende implica el diagnóstico y planificación territorial. (Gómez, 2007)

##### **2.1.4. Ordenamiento Territorial**

El ordenamiento territorial comprende la acción conjunta y complementaria de tres facetas: el diagnóstico territorial en el cual se realiza un análisis de los aspectos históricos y tendencias en el



territorio, la planificación territorial que como ya se mencionó anteriormente implica todas aquellas acciones para lograr el uso y ocupación del suelo de manera ordenada, y la gestión territorial que son las diligencias para lograr los objetivos deseados (Gómez, 2007).



**Figura 2.** Facetas del ordenamiento territorial

Fuente: Adaptado de (Gómez, 2007)

### 2.1.5. Plan de Ordenamiento Territorial Rural

Un Plan de Ordenamiento Territorial Rural es un documento donde se encuentra plasmado la planificación y ordenamiento del territorio, es aconsejable que éste sea formulado con una percepción a largo plazo, contiene las herramientas necesarias para definir, proponer y gestionar políticas en el uso y gestión del suelo (FAO; MAGAP, 2014).

### 2.1.6. Sostenibilidad

La sostenibilidad es un principio que hace referencia a las ideas o criterios en los que se asegura el desarrollo enfatizando en aspectos tanto económicos, como ambientales y sociales de manera integrada de tal manera que se garantice la conservación y disponibilidad de recursos para las generaciones futuras (SENPLADES, 2011).

### **2.1.7. Desarrollo Sostenible**

El desarrollo sostenible es entendido como un proceso para solucionar problemas globales abarcando la interrelación entre los sistemas económico, social y ambiental, lo cual será direccionado a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la finalidad de un progreso económico, políticas enfocadas a la consolidación de comunidades y un ambiente protegido y conservado (Sachs, 2015).

### **2.1.8. Ciudades Sostenibles**

Se considera ciudades sostenibles a aquellas que no presentan problemas de desarrollo social económico y social como la falta de empleo, presión sobre la tierra y sus recursos, falta de dotación de servicios básicos y vivienda, contaminación etc. Son aquellas que prosperan económicamente, aprovechan y preservan recursos, tienen acceso a una vivienda digna con dotación de servicios, seguridad y que logran un desarrollo social, económico y ambiental adecuado.

### **2.1.9. Desarrollo Integral y Territorial Sostenible**

El ordenamiento territorial va más allá de un conjunto de técnicas, más bien comprende un proceso político que pretende formar un modo de vida con visión de sostenibilidad, para lograr esto es preciso enfocarse en una distribución equitativa en los aspectos económico, ambiental, social y político apuntando a generar tecnologías limpias, participación ciudadana, identidad cultural e inversión pública y privada, en la Figura 2 se esquematiza el sentido del desarrollo territorial sostenible. En la gestión del territorio necesariamente se debe considerar no solo al sistema biofísico y cultural como se lo ha venido haciendo tradicionalmente, sino incorporar al sistema de asentamientos humanos, político institucional, movilidad, energía y conectividad y económico de

tal manera que el ordenamiento territorial se desarrolle de manera conjunta (Figura 3), incluyendo a la mayor cantidad de actores sociales (Asociación Amazónicas por la Amazonía (AMPA), 2010).



**Figura 3.** Modelo de Desarrollo Territorial Sostenible

Fuente: (Asociación Amazónicas por la Amazonía (AMPA), 2010)

### 2.1.10. Administración Territorial

La administración territorial posee tres elementos: población, territorio y organización, está caracterizada por sus competencias en un territorio específico, éstas se encuentran mencionadas en la constitución del Estado y comprenden delegaciones de gobierno así como también comisiones territoriales como la administración general del estado, administraciones autónomas, municipios, y otros entes territoriales menores como comunidades, entre otras (RAE, 2019).

### 2.1.11. Prospectiva Territorial

Se puede definir a la prospectiva territorial como una manera de observar el territorio a largo plazo basado en hechos pasados y acciones llevadas a cabo en el presente, el panorama a futuro suele ser plasmado a través de escenarios, que en la mayoría de casos corresponden a situaciones probables, posibles o deseables en las que se formulan normas y lineamientos que se llevarán a cabo en la administración del territorio, de esta forma la prospectiva territorial es un instrumento de apoyo para la toma de decisiones sobre el territorio (Salas, 2013); (Fernández, 2011).



**Figura 4.** Elementos característicos de la prospectiva territorial.

Fuente: (Fernández, 2011)

### 2.1.12. Delimitación Territorial

Se refiere a la circunscripción de un territorio, en el cual se puede encontrar diferentes características naturales y antrópicas con el interés de actuar con políticas y normas de planificación sobre él. (Minviele & Zusman, 1995)

### 2.1.13. Expansión Urbana

Se conoce de esta forma al aumento de la mancha urbana, que tiene lugar en cualquier territorio habitualmente de manera irregular y generalmente es originado por el crecimiento poblacional, ya sea por natalidad o por el fenómeno migratorio (Bazant, 2010). El suelo destinado a expansión

urbana corresponde a la ocupación sin permisos del territorio rural o natural en zonas periféricas alejadas de servicios básicos para contar con condiciones para una vida digna. (Cheng, 2000)

#### **2.1.14. Área Periurbana**

El área periurbana comprende los alrededores del casco urbano; en estas zonas se pueden encontrar una cantidad de predios de varios tamaños adaptados al presupuesto de los habitantes que residen en ellos, que generalmente es bajo, y con una dispersión conforme van alejándose de la zona urbana. De esta manera, las áreas periurbanas al consolidarse, se siguen integrando al casco urbano que sigue creciendo, mientras que las zonas periféricas van transformando el suelo rural de aptitud agrícola y conservación ecológica a suelo urbano y cada vez siguen siendo más distantes del centro de lo que netamente se considera el suelo urbano. En consecuencia estas zonas cuentan con pocos o ningún servicio básico (Bazant, 2010).

#### **2.1.15. Planeación Urbana**

La planeación urbana dispone normas o acciones de regulación del suelo para el desarrollo de una ciudad, con el pasar del tiempo ha tomado importancia debido a estrategias fallidas en la gestión del territorio frente a procesos de expansión urbana, lo cual ha traído como consecuencia varios problemas sociales y ambientales. (García, 2008)

#### **2.1.16. Crecimiento Urbano**

El crecimiento urbano es un proceso espacial y más que todo demográfico, en el que se hace referencia a la dinámica de las ciudades considerándolas como agrupaciones de habitantes y recursos que se rigen bajo un sistema económico y social ocasionando varios efectos importantes en las regiones aledañas. (Wirth, 2005)

### 2.1.16.1. Ciudad Pequeña

Se considera una ciudad pequeña a aquella que concentra de forma natural a menos de 100 000 habitantes, cuya expansión del suelo urbano se da alrededor del centro (Figura 5); existe una supremacía de las actividades sociales, recreativas, económicas y culturales, entre otras; así como también existe presencia de vías que conectan una ciudad con otra (Bazant, 2010).



*Figura 5.* Mancha urbana de una ciudad pequeña.

Fuente: (Bazant, 2010)

### 2.1.16.2. Ciudad Media

Se considera una ciudad media a aquella que concentra entre 100 000 y 500 000 habitantes, que a diferencia de las ciudades pequeñas que lo hacen de forma natural, en este caso más bien es producida por los movimientos migratorios, y por su parte la expansión urbana se da a lo largo de las vías, formándose ejes comerciales urbanos provocando que los poblados cercanos sean integrados a la mancha urbana (Figura 6) que les dota de servicios que carecen las periferias. (Bazant, 2010)

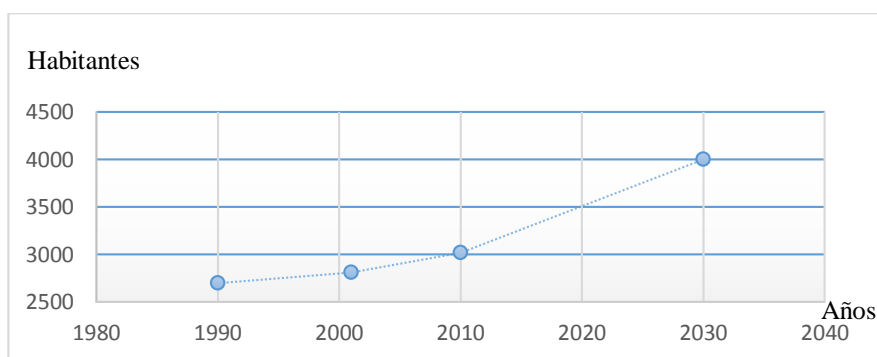


**Figura 6.** Mancha urbana de una ciudad media, inicio de ejes urbanos.

Fuente: (Bazant, 2010)

### 2.1.17. Crecimiento urbano y demográfico de la parroquia La Victoria del cantón Pujilí

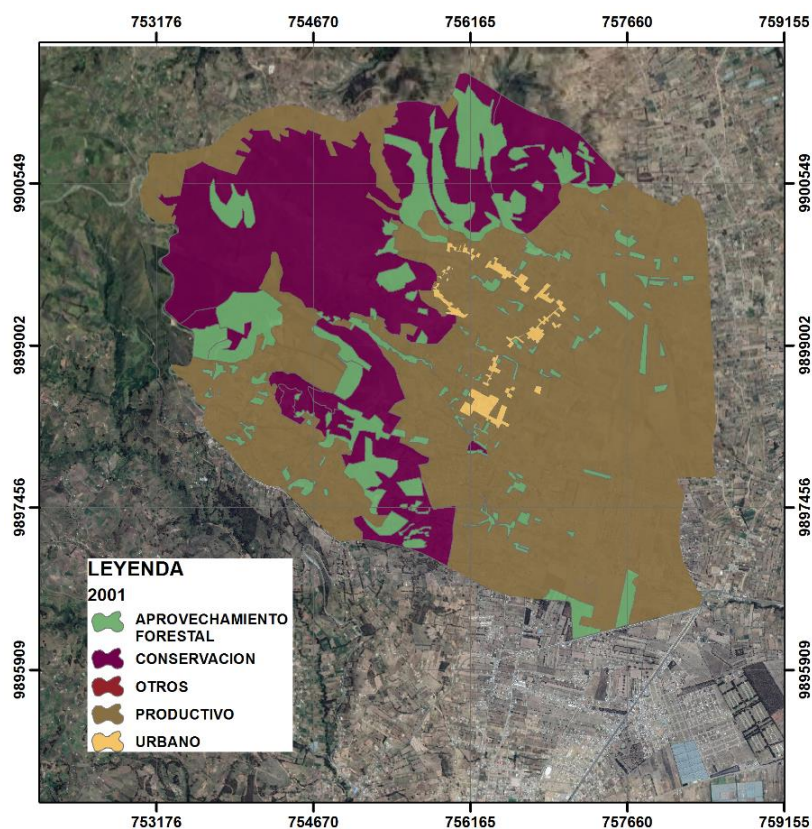
Un aspecto muy importante para el análisis del crecimiento urbano es el contraste con el aumento poblacional, que en la parroquia rural La Victoria se ha presentado de manera exponencial durante los períodos censales (1990 – 2001 – 2010). Según proyecciones realizadas con base al censo 2010 llevado a cabo por el INEC, se determina que la cantidad de habitantes que existe actualmente es de 3 453 (SENPLADES, 2013) y tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional determinada por el INEC en el último censo del año 2010 que es de 0.82% (INEC, 2010), se encontró que la población de la parroquia aumentará a aproximadamente 4 000 habitantes en el año 2030 (Figura 7).



**Figura 7.** Crecimiento de la población en la parroquia La Victoria.

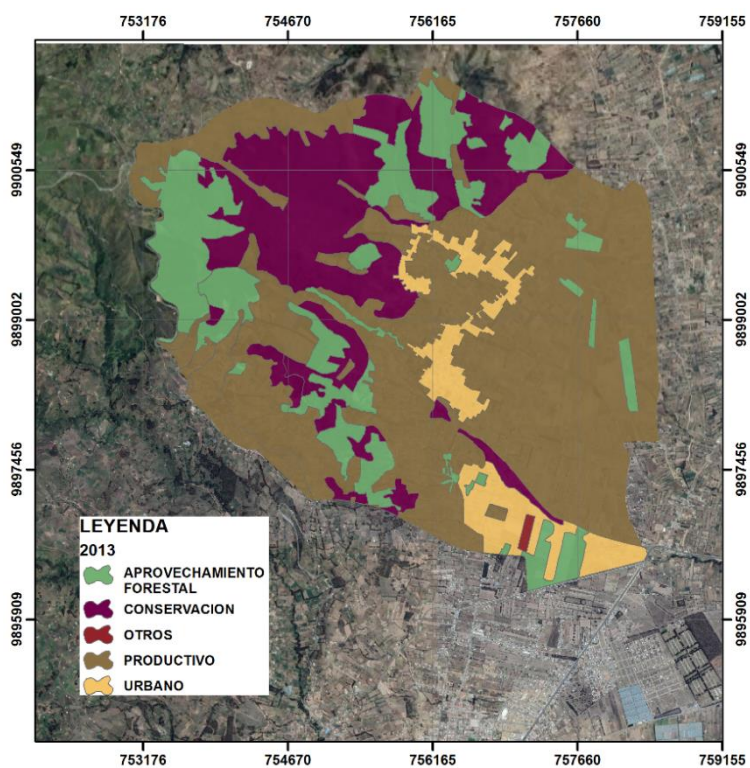
El crecimiento poblacional ha desencadenado el aumento horizontal de la zona urbana con el paso del tiempo, como podemos ver las Figuras 8,9 y 10. El incremento de la zona urbana del 2001 al 2019 es considerable. Si bien las zonas de aprovechamiento forestal, producción y conservación de igual forma abarcan gran parte de la parroquia, el crecimiento acelerado de zonas urbanas puede convertirlas en minoría con el paso de los años.

En el año 2011 la zona urbana correspondía a aproximadamente 236 604 m<sup>2</sup>, al año 2013 aumentó a cerca de 1549 050 m<sup>2</sup> mientras que actualmente (2019) se tiene un área aproximada de 4522 077 m<sup>2</sup>, lo que significa que crece a una razón de 302437,5 m/año (30,24 ha/año).

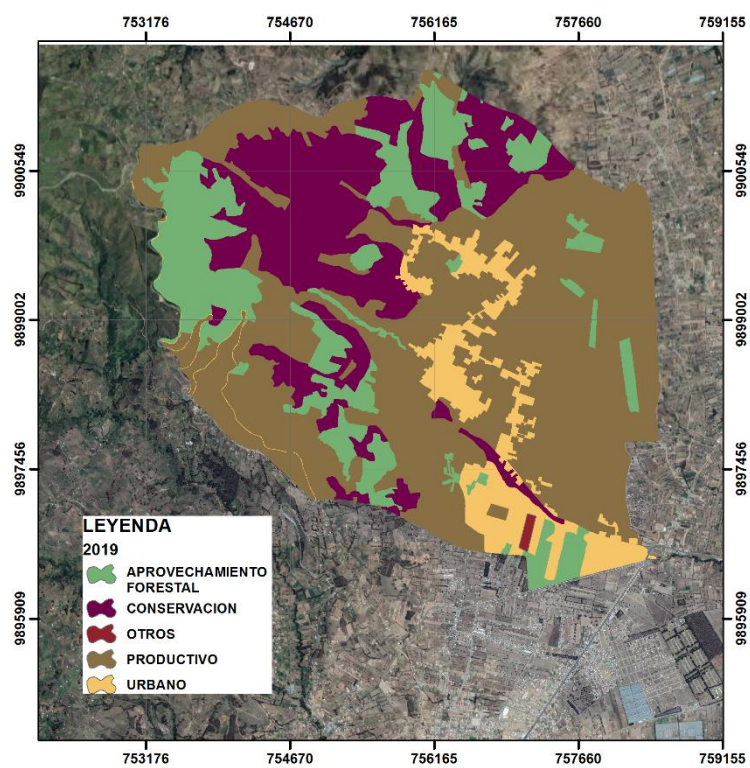


*Figura 8.* Parroquia La Victoria 2011





*Figura 9.* Parroquia La Victoria 2013.



*Figura 10.* Parroquia La Victoria 2019.

### **2.1.18. Modelos de simulación del crecimiento urbano**

Los modelos de simulación de crecimiento urbano requieren datos de usos y coberturas del suelo de dos o más fechas y una serie de factores que pueden influir en la evolución, existen diferentes tipos como por ejemplo: los que están basados en agentes, que toman como referencia las decisiones políticas y de la población; los que se basan en inteligencia artificial como por ejemplo los modelos fundamentados en redes neuronales, algoritmos genéticos o autómatas celulares, los cuales determinan el cambio a través de la evaluación de su vecindario; los que se basan en la extrapolación de datos históricos, que son estadísticos; y ciertos modelos que resultan del empleo de otros algoritmos o los combinan (Sapena, Ruiz, & Joó, 2017).

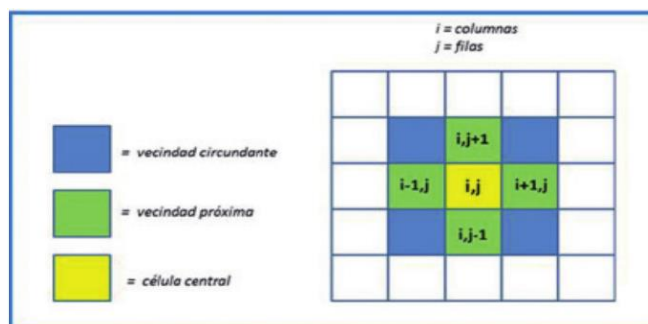
#### **2.1.18.1. Modelos de simulación del crecimiento urbano basados en inteligencia artificial**

Los modelos de simulación del crecimiento urbano basados en inteligencia artificial, son métodos cuantitativos cuya aplicación depende de varios factores, como por ejemplo la existencia de la información necesaria de la zona de estudio para ejecutar el modelo y su posterior validación. Estas técnicas trabajan de manera integrada con sistemas de información geográfica (SIG), y dentro de éstas encontramos principalmente a algoritmos genéticos, redes neuronales, y autómatas celulares (Malczewski, 1999).

##### **2.1.18.1.1. Autómatas Celulares (AC)**

Es una técnica de modelamiento geoespacial, cuyo estudio permite representar los fenómenos y aproximarlos a la realidad de manera matemática, así como también generar escenarios prospectivos en función de los cambios dados en el tiempo, generalmente en lapsos cortos. El espacio de un AC constituye un arreglo que puede ser de dimensión  $N$  de celdas (también llamadas células) que poseen información, que ocupan una posición  $(i,j)$ . La vecindad de un AC comprende

un conjunto finito de celdas que recolecta información de la misma y de las celdas a su alrededor. Cabe recalcar que las operaciones se realizan en la célula central (Figura 11) (Padilla, Pérez, Cruz, Huilcamaigua, & Astudillo, 2015).



**Figura 11.** Vecindad de un Autómata Celular.

Fuente: (Padilla, Pérez, Cruz, Huilcamaigua, & Astudillo, 2015)

#### 2.1.18.1.1.1. DINÁMICA EGO

DINAMICA EGO es una herramienta gratuita para el modelamiento espacial. En los últimos años ha venido tomando importancia en el análisis del cambio en el uso y cobertura de suelo. Este software presenta varias ventajas como la gratuidad en su adquisición, su flexibilidad, el cómputo de tasas de transición, reconocimiento de promotores de cambio y la formulación de escenarios prospectivos. Los insumos necesarios para la aplicación de Dinámica EGO, son básicamente dos o más mapas de fechas distintas correspondientes al uso y cobertura de suelo así como también variables cartografiadas que expliquen de cierta forma el cambio en el territorio (Mendoza, 2016).

El formato de datos manejados por DINAMICA EGO incluye archivos ráster, matrices, tablas y de extensión (.dcf), que corresponden a archivos de los coeficientes de pesos de evidencia obtenidos durante la simulación. En cuanto a datos espaciales este software trabaja con datos tipo ráster reconociendo mapas en formato ERMapper, Geotiff, ArcView ASCII y Geotiff Tiling, por ello no existirá ningún problema al trabajar con datos generados con los SIG más comunes como

SPRING, ArcMap 9.\* o IDRISI, siendo el sistema de coordenadas recomendado UTM (WGS84) (Soares, Rodrigues, & Costa, 2009).

#### **2.1.18.1.1.2. MOLUSCE**

MOLUSCE (Module for Land Use Change Evaluation), es un complemento libre y gratuito del Software QGIS 2.0 en adelante, fue creado por Asia Air Survey (AAS), MOLUSCE es un módulo que funciona a partir de un autómata celular de Monte Carlo y fue diseñado para la evaluación, análisis del cambio de uso del suelo, así como también del modelamiento y simulación de futuros cambios.

Este complemento es relativamente sencillo de usar, en su interfaz podemos observar los módulos de entrada que básicamente son los mapas de uso de tierra y variables biofísicas y socioeconómicas que representen y expliquen las transformaciones producidas. También se puede encontrar la herramienta de análisis de cambio en la zona del tiempo inicial y final de lo cual se producen matrices de transición donde se cuantifican estos cambios; MOLUSCE posee cuatro métodos de modelado del potencial de transición: Redes Neuronales Artificiales, Regresión Logística, Evaluación Multicriterio y Pesos de Evidencia mediante los cuales se obtiene el mapa final simulado permitiendo también su validación con el mapa real (ASIA AIR SURVEY; NEXTGIS, 2014).

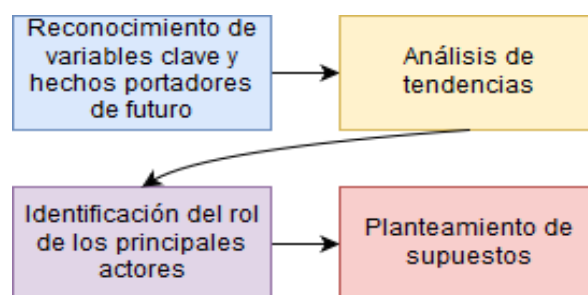
#### **2.1.18.2. Modelo de simulación del crecimiento urbano basado en Evaluación Multicriterio.**

La Evaluación Multicriterio es una técnica que permite integrar varios factores en la planificación y gestión del suelo, como la palabra lo dice, el fin de esta herramienta es, que en base a un número de criterios, analizar varias alternativas posibles y determinar la mejor. Existen varias ventajas en el uso de este método como por ejemplo que posibilita el análisis de varias alternativas

en la gestión del suelo. Los resultados representan varias opciones, las cuales influyen en la toma de decisiones, permitiendo integrar la opinión de los diferentes actores involucrados en cada uno de los procesos, entre otras (Santacruz, 2015).

### 2.1.19. Escenarios Prospectivos

El planteamiento de escenarios prospectivos es una de las herramientas más importantes y efectivas que permite al planificador comprender el desarrollo de eventos futuros y a través de esto tomar decisiones adecuadas y formular estrategias para la gestión del territorio; este método pertenece a una de las metodologías cualitativas que busca conocer el futuro del territorio en función de las acciones importantes de la actualidad, su desarrollo básicamente comprende 4 aspectos (Figura 12) (Salas, 2013), lo cual puede ser asistido mediante software computacional en el procedimiento como MICMAC, MACTOR, MORPHOL, SMIC Probexpert y MULTIPOL, como se señala en (Godet, 2007).



**Figura 12.** Pasos en el diseño de escenarios prospectivos

Fuente: Adaptado de (Salas, 2013)

## 2.2. Fundamento Legal

Dentro del marco internacional, el presente proyecto de investigación se ampara en la base legal de la ejecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que el objetivo 11 concierne a lograr Ciudades y Comunidades Sostenibles, donde una de las metas señaladas es “apoyar los vínculos

económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional”.

En cuanto al marco nacional una de las bases legales a la cual es la actual Constitución de la República del Ecuador que en el artículo 264 hace referencia a las obligaciones de los gobiernos municipales y metropolitanos “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” así como también “Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón”; además en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS) en el artículo 91 menciona que una de las obligaciones de los GAD municipales y metropolitanos es “Coordinar la gestión y uso del suelo entre cantones contiguos, y articular las dimensiones urbana y rural de su circunscripción territorial”, por lo que en presente proyecto de investigación constituye una herramienta importante en la toma de decisiones por parte de las autoridades de los GAD dentro de la planificación del territorio.

Esta investigación también se alinea al Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) que en su artículo 54 literal c refiere a “Establecer el régimen de uso del suelo y urbanístico, para lo cual determinará las condiciones de urbanización, parcelación, lotización, división o cualquier otra forma de fraccionamiento de conformidad con la planificación cantonal, asegurando porcentajes para zonas verdes y áreas comunales”, para lo cual los criterios de sostenibilidad a tomar dentro de la presente investigación garantizará que lo mencionado anteriormente se lleve a cabo.

## **2.3. Fundamento Institucional**

### **2.3.1. Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021**

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”, es la herramienta nacional más importante que señala las estrategias territoriales a nivel nacional para promover las capacidades del territorio, estructurar acciones para el cumplimiento de los objetivos nacionales y establecer directrices para la acción pública (SENPLADES, 2017).

Para asegurar el logro de los Objetivos Nacionales de Desarrollo, la SENPLADES ha dividido el plan en tres ejes:

- **Eje 1:** Derechos para Todos Durante Toda la Vida, cuyas metas son garantizar una vida digna e igualitaria para las personas y derechos de la naturaleza, así como también valorar la identidad cultural.
- **Eje 2:** Economía al Servicio de la Sociedad, cuyas metas son afianzar la sostenibilidad, promover la productividad para el desarrollo económico y cumplimiento de la soberanía alimentaria.
- **Eje 3:** Más sociedad, mejor Estado, cuyas metas son fomentar la participación ciudadana, promover la transparencia y asegurar la paz y la soberanía.

### **2.3.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible y Agenda 2030**

La Agenda 2030, fue establecida en el año 2015 por la Asamblea Nacional de las Naciones Unidas comprende un plan de acción con visión hacia una sostenibilidad social, económica y ambiental, incluye temas prioritarios como la igualdad en todos los sentidos, el crecimiento económico, cambio climático, creación de ciudades y comunidades sostenibles, entre otros. Estos temas están relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030), que son un

instrumento de planificación a largo plazo a nivel nacional y local que comprende 17 objetivos, 169 metas y 241 indicadores para lograr el desarrollo sostenible (CEPAL, 2016).

Se considera que los indicadores muestran el progreso en la aplicación e implementación de medidas para el logro de las metas de los ODS. Debido a la gran cantidad de indicadores existentes, la CEPAL (2017) los ha dividido en tres niveles:

- **TIERR I:** Indicadores para los que existe una metodología e información disponible.
- **TIERR II:** Indicadores para los que existe una metodología pero con información no disponible.
- **TIERR III:** Indicadores en los que la metodología está en proceso.

Los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo “Toda una Vida” se encuentran relacionados estrechamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030), por lo que al analizar los todos los criterios de éstos se estará articulando de manera conjunta los objetivos del PND.



## CAPÍTULO 3

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Selección de variables

En primera instancia es indispensable seleccionar las variables que intervienen en la delimitación de zonas de expansión urbana dentro del marco legal que define todas aquellas que deberán ser tomadas en cuenta por todos los GAD municipales y metropolitanos para estar acorde a todas las leyes y las normativas instauradas.

**Tabla 1.**

*Variables explicativas dentro del marco legal que intervienen en la expansión urbana*

Marco Legal	Normativa	Variable
<b>Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)</b>	En el artículo 19, numeral 3 se menciona que el espacio rural destinado a expansión urbana debe colindar con el suelo urbano y será en función de la demografía, acoplado a los servicios públicos existentes excluyendo los que se sitúen colindantes a la red vial y que tenga valor agroproductivo.	Centros urbanos
		Población
		Vías
		Servicios públicos
<b>Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo</b>	En la sección II, artículo 16 se señala que para transformar suelo rural a suelo rural de expansión urbana se debe tomar en cuenta las proyecciones de crecimiento poblacional y la capacidad del área urbana existente para soportar dicho suceso, la viabilidad de proporcionar servicios básicos, equipamientos, sistemas de transporte y movilidad según lo previsto en el PDOT, así como también la presencia de áreas protegidas, recursos hídricos, zonas de riesgo, topografía y principalmente los GAD deberán excluir el suelo ocupado por actividades agrícolas-productivas y patrimoniales.	Uso y ocupación del suelo
		Crecimiento poblacional
		Servicios públicos
		Equipamientos
		Vías
		Áreas protegidas
		Red hidrográfica
		Riesgos
Pendiente		
<b>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y</b>	En la primera disposición transitoria se menciona que para considerar un suelo de expansión urbana debe poseer servicios básicos	Uso y ocupación del suelo
		Servicios básicos

CONTINÚA

<b>Descentralización (COOTAD)</b>		
<b>Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales</b>	En el artículo 6 y 32 se señala que no se permite definir zonas de expansión urbana en zonas de interés agrario, sin embargo se autorizará el cambio de suelo con capacidad agraria a expansión urbana únicamente si este hecho no provoca daños en suelos fértiles, que no cuente con infraestructura de riego y previa aprobación de la autoridad agraria.	Uso y ocupación del suelo <hr/> Infraestructura
<b>Reglamento a la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales</b>	El artículo 3 establece que para consentir el cambio de uso de un suelo con actividades agrarias a expansión urbana debe cumplir con ciertas condiciones: que la zona no cuente con infraestructura de riego o productiva, que no tenga capacidad agrícola y que no sea un territorio comunal o ancestral.	Uso y ocupación del suelo <hr/> Infraestructura de riego o producción
<b>Código Orgánico del Ambiente (COA)</b>	En el artículo 59 se indica que necesariamente debe existir una zona de amortiguamiento ambiental colindante a las zonas de expansión urbana, para que de esta forma se aporte a la conservación natural y armonía en el desarrollo urbano-rural.	Uso y ocupación del suelo
<b>Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria</b>	En artículo 6, determina que se limitará la expansión de suelo de expansión urbana en aquellas tierras con aptitud agropecuaria o forestal, ecosistemas frágiles, zonas de patrimonio cultural y arqueológico.	Uso y ocupación del suelo <hr/> Ecosistemas frágiles, PANE <hr/> Áreas protegidas <hr/> Patrimonio cultural y arqueológico

Fuente: (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, 2016); (Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo., 2019); (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2017); (Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2018); (Reglamento a la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2017); (Código Orgánico del Ambiente, 2017) (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria., 2010).

### 3.2. Selección de Criterios de Sostenibilidad

La integración de criterios o indicadores de sostenibilidad hace posible alcanzar importantes logros en el desarrollo de las ciudades, en este sentido es necesario implementarlos considerando los componentes social, económico y ambiental a favor de la determinación de nuevas zonas urbanas de manera sostenible, por lo que en este punto se establece la selección de estos criterios tomando como referencia los objetivos, metas e indicadores señalados dentro de los ODS 2030 y adicionalmente indicadores de la Guía Metodológica para Ciudades Emergentes y Sostenibles planteado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el año 2016.

**Tabla 2.**

*Criterios de sostenibilidad tomados para la delimitación de zonas de expansión urbana*

<b>Componente</b>	<b>Criterio</b>	<b>Variable</b>
AMBIENTAL	Proporcionar acceso a espacios verdes, estableciendo una cantidad de superficie de éstos espacios por habitante	Área verde por habitante
	Destinar una cantidad adecuada de espacios abiertos frente a la superficie edificada	Superficie de espacios abiertos por área edificada
	Mejorar la calidad del agua dándole un pre tratamiento adecuado acorde a su utilización	Índice de calidad de agua
	Cubrir la mayor cantidad de espacios habitables con servicios de saneamiento para asegurar la salud de la población	Cobertura de saneamiento
	Implementar planes de control por contaminación en los sitios donde presenten un alto grado de afectación a la población	Tasa de mortalidad atribuida a contaminación ambiental
	Fomentar el desarrollo de planes de desarrollo y de estrategias ante riesgos por desastres acorde a la realidad del territorio	Disponibilidad de planes de ordenamiento territorial y planes estratégicos de riesgo

CONTINÚA 

AMBIENTAL	Conservar el patrimonio cultural y natural característico dentro del territorio	Patrimonio natural y cultural
	Reducir la cantidad de alimentos desperdiciados durante la venta, producción y distribución de alimentos	Índice de pérdida de alimentos
	Mejorar la calidad del aire para reducir el impacto ambiental provocado por la gestión de desechos	Niveles de PM 2.5 y PM10
	Limitar el asentamiento de industrias que estén produciendo un impacto ambiental negativo y reajustar su funcionamiento de manera que sea sostenible	Emisiones de CO2
		Asentamiento de industrias
	Mejorar la gestión de desechos, su recolección y su descarga final	Reses de recolección de basura
	Mejorar la calidad del agua descargada a cuerpos de agua mediante el tratamiento adecuado de aguas residuales	Tratamiento a aguas residuales
	Aumentar la proporción de superficie agrícola donde se practica agricultura productiva y sostenible	Superficie agrícola sostenible
	Fomentar a la generación de energías limpias y renovables	Zonas aptas para implementar alternativas y renovables
	Reducir el impacto ambiental negativo per cápita mediante la regulación de residuos generados y su descarga	Proporción de residuos sólidos generados
	Controlar el ruido en zonas residenciales para brindar un ambiente de confort a la población	Intensidad de ruido
	Asegurar la accesibilidad de la población a zonas de recreación	Zonas de recreación
	Garantizar que la población tenga derecho a los recursos económicos potenciales dentro del territorio y asegurar la	Sectores potenciales económicos
Ingreso económico diario por persona		

CONTINÚA 

ECONÓMICO	disponibilidad de plazas de trabajo accesibles para la población	Sectores de empleo	
	Dinamizar la economía identificando sectores potencialmente productivos	Volumen de exportaciones de productos	
	promover la comercialización local, evitando la exportación de productos a bajos precios, ya que esto conlleva a que el capital de la zona disminuya.	Dotación de infraestructura de producción	
	Promover el desarrollo económico local competitivo y sostenible fomentando la producción local y actividades comerciales cotidianas aprovechando las aptitudes del suelo	Mercado laboral	
SOCIAL	Proporcionar acceso a la población a un sistema de transporte público conveniente	Red de transporte público	
	Asegurar una vivienda digna y segura a la población que reside en barrios marginales, viviendas inadecuadas o ilegales	Desigualdad urbana	
	Garantizar la accesibilidad de la población a servicios sociales de salud y educación, de esta forma se promueve la cohesión social	Dotación de equipamientos de salud y educación	
	Proporcionar de suministros tecnológicos de alto nivel para instituciones educativas y de salud	Relación número de estudiantes/docentes	
	Regular la congestión vehicular mediante la dotación de infraestructura vial en sitios donde se de éste problema	Esperanza de vida al nacer	
	Proporcionar un ambiente de seguridad ciudadana ante riesgos naturales, delincuenciales o violencia de todo tipo	Tráfico vehicular	
	Definir un valor adecuado de superficie habitable por persona	Vulnerabilidad	Riesgo natural y antrópico
			Servicio policial
	Densidad urbana		

CONTINÚA 

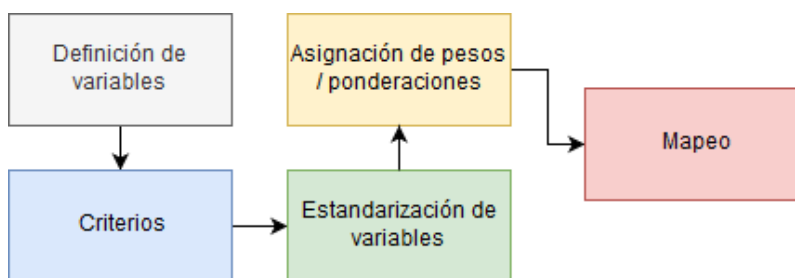
con el fin de ejercer un control sobre el crecimiento y mejorar el hábitat urbano	
Promover la conservación del patrimonio cultural de la zona ya que proporciona identidad al territorio	Tradiciones, patrimonio cultural

### 3.3. Evaluación Multicriterio

Existen diferentes maneras de analizar crecimiento urbano, una de ellas es a través del análisis multicriterio, por lo que en este punto es indispensable definir variables de interés que intervengan en la determinación de suelo de expansión urbana de manera óptima, para esto se tiene presente la idea que éstas zonas de expansión urbana son áreas de territorio destinadas a éste propósito, el cual se debe ir concediendo en función del crecimiento de la ciudad, la viabilidad de dotar de servicios básicos, transporte, áreas de recreación, entre otras de manera que éstas variables permitan la correcta planificación de las ciudades ya sea permitiendo la utilización de tierras para uso urbano o negando las zonas no aptas, ya sea por ser suelos de uso agrícola, de conservación, de interés forestar o por los riesgos que se presenten (Santacruz, 2015).

Las variables que intervendrán dentro de la evaluación multicriterio son aquellas indicadas dentro del marco legal (Tabla 1) y las variables adaptadas según los criterios de sostenibilidad planteados anteriormente en la Tabla 2.

A manera de síntesis en la Figura 13 se presenta el proceso a seguir en la evaluación multicriterio (EMC) en esta investigación.



**Figura 13.** Proceso de Evaluación Multicriterio.

### 3.3.1. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El método AHP, fue establecido por Thomas Saaty y consiste en resolver problemas mediante la construcción de un modelo jerárquico o matriz en la que se realiza una comparación por pares entre filas y columnas que se definen por el número de criterios a ponderar, el fundamento de este método está en el hecho de permitir asignar valores numéricos a los juicios de las personas consiguiendo de esta forma darle un peso o ponderación a cada una de las variables a tomar en cuenta en el estudio; el análisis se lo realiza con base en la escala numérica propuesta por el mismo Saaty que va del 1 al 9 (Figura 14) (FAO, 2000).

IMPORTANCIA	INTENSIDAD	SIGNIFICADO
1	Igual o diferente a..	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos
3	Ligeramente más importante o preferido que..	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo
5	Más importante o preferido que..	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo
7	Mucho más importante o preferido que..	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo

**Figura 14.** Escala de ponderación de Saaty

Fuente: (Hurtado, 2015)

En esta investigación el proceso analítico de Saaty fue la metodología aplicada para la asignación de pesos de las variables consideradas para la delimitación de zonas de expansión urbana.

### **3.4. Aplicación de Modelos de Simulación del Crecimiento Urbano**

Los resultados obtenidos después de realizar la evaluación multicriterio son tomando en cuenta un “resultado óptimo”, sin embargo es necesario analizar lo que concierne al crecimiento urbano proyectado a futuro restringiendo aquellas zonas no aptas para urbanizar obtenidas de la evaluación multicriterio.

En este apartado es indispensable generar el modelo de predicción del crecimiento urbano, existen varios paquetes basados en inteligencia artificial, que son idóneos para realizar estas simulaciones, en varias investigaciones se sugiere que la metodología de autómatas celulares, siendo DINÁMICA EGO uno de los más utilizados. Sin embargo para corroborar este hecho es necesario la comparación con otro tipo de técnica o método, por lo que se ha elegido aplicar el complemento MOLUSCE de QGIS, ya que igualmente es uno de los más empleados por los resultados obtenidos y a su vez su adquisición es libre. Una vez obtenidos los productos de ambos métodos se elegirá el que proporcione mejores resultados.

### **3.5. Determinación de Zonas de Expansión Urbana**

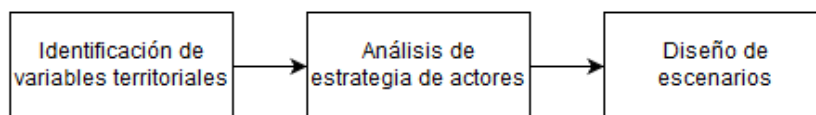
Para la delimitación de zonas de expansión urbana se contrastará el uso urbano vigente y los resultados de la simulación del crecimiento urbano al año 2030, en la que a través de la integración de las zonas restringidas o no aptas para urbanización resultado de la evaluación multicriterio, se ha tomado en cuenta todos los aspectos biofísicos, económicos, socioculturales, movilidad, energía y conectividad, asentamientos humanos y de desarrollo sostenible dentro de los aspectos ambiental,



social y económico, de tal manera que se abarque en su totalidad todos los aspectos que conciernen a la determinación de nuevas zonas urbanas y a su vez se alcance una aproximación lo más cercana a la realidad en la definición de zonas de expansión urbana tomando en cuenta el crecimiento urbano proyectado a futuro. Con la comparación realizada se podrán definir nuevas zonas aptas para urbanización, así como también excluir aquellas donde no se puede urbanizar.

### 3.6. Formulación de Escenarios Prospectivos

Los escenarios prospectivos son una herramienta de apoyo para el planificador en la gestión de territorio; es importante identificar las variables clave a intervenir, estudiar a los actores y su papel dentro del territorio. En la Figura 15 se indica las etapas que se seguirán en esta investigación para la formulación de escenarios prospectivos.



**Figura 15.** Fases para la formulación de escenarios prospectivos

Fuente: Adaptado de (Salas, 2013)

Como primer punto se tiene a la identificación de variables territoriales de transcendencia tanto del pasado presente como futuro así como también su análisis estructural con el fin de conservar aquellas variables que realmente son esenciales en la formulación de los escenarios.

En la segunda fase que corresponde al análisis de estrategias de actores, en donde como señala Salas (2013), el estudio va sobre aquellos actores que intervienen sobre las variables clave identificadas en la primera fase, de tal manera que al analizar las relaciones existentes se dé razón de los cambios acontecidos en el territorio.

En la última etapa, que es la del diseño de escenarios, se integra toda la información obtenida en la fase I y II; en este punto Salas (2013) sugiere que la técnica a aplicar es la matriz de “espacio

morfológico” o una matriz de impactos cruzados, cuyo objetivo es analizar varias hipótesis que describen a las variables clave y que finalmente dan lugar a los escenarios. En esta investigación se formularán tres posibles escenarios: optimista, pesimista y tendencial.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. FORMULACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD**

Como propuesta de la formulación de la metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad, se han definido tres fases presentadas a continuación e ilustradas en la Figura 16.

#### **4.1. Fase de Preparación**

Esta fase básicamente comprende la selección de variables que intervienen dentro de la determinación de la aptitud del suelo para darle un uso urbano así como también aquellas dentro del marco legal, donde se señalan todos aquellos criterios, que deberán ser cumplidos de manera obligatoria por las autoridades pertinentes dentro de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Adicionalmente se incluye la selección de criterios de sostenibilidad relacionados a la delimitación de nuevas zonas urbanas para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030); cabe recalcar que dependiendo de la información disponible se abarcará la mayor cantidad de variables o indicadores posibles.

Una vez identificadas y recopiladas todas las variables se agruparán dentro de los componentes del Ordenamiento Territorial definidos por la SENPLADES con el objetivo de estandarizar la planificación del territorio, debido a que el componente biofísico engloba todas aquellas variables de tipo ambiental, los indicadores de sostenibilidad que corresponden a este componente se integrarán al componente biofísico.

## **4.2. Fase de Análisis y Evaluación**

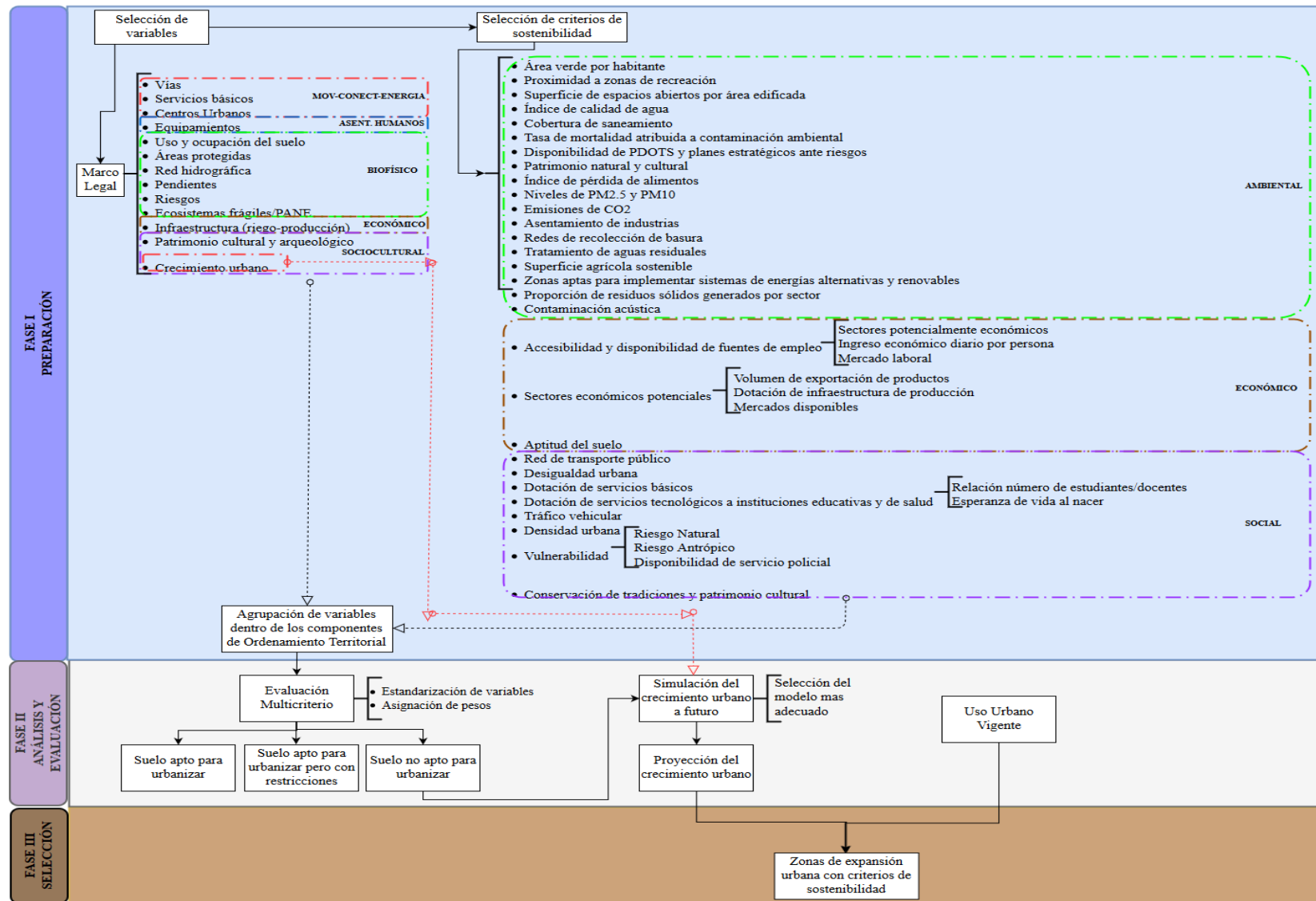
Después de agrupar las variables dentro los componentes del ordenamiento territorial, se definirán tres tipos de categorías para uso urbano mediante evaluación multicriterio (suelo apto para urbanizar, suelo apto para urbanizar pero con restricción y suelo no apto para urbanización), para conseguir esto se ha fijado aplicar el proceso analítico jerárquico (AHP), donde se deberá estandarizar las variables y asignarles pesos con el fin que reflejen la importancia de cada una.

El crecimiento urbano representa la manera en la que la población se irá asentando y ocupará el espacio disponible de un territorio, y además una de las variables a incluir en la delimitación de zonas de expansión. Es imprescindible proyectar éste a futuro, para ello se sugiere aplicar al menos dos paquetes de modelamiento con el fin de generar resultados más cercanos a la realidad y poder analizar cuál es el paquete que se ajusta más para la simulación del crecimiento urbano con base en la dinámica del territorio presentada.

Las variables a intervenir en la simulación son aquellas que describen la dinámica en el territorio. Adicionalmente se incluyen aquellas zonas no aptas para urbanización para que de esta forma el resultado represente el crecimiento urbano a futuro siguiendo los lineamientos de sostenibilidad y acordados en normas nacionales.

## **4.3. Fase de Selección**

Con el mapa resultante de la fase 2, que representa el crecimiento urbano en áreas óptimas para este uso, se compara con el mapa de uso urbano vigente de tal manera que se obtengan las zonas urbanas que deben incluir y a su vez las que deben excluir del polígono vigente. Así se definirá las zonas de expansión según el crecimiento urbano a presentarse en el 2030.



**Figura 16.** Metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad

## CAPÍTULO 5

### 5. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN LA PARROQUIA LA VICTORIA DEL CANTÓN PUJILÍ

#### 5.1. Selección de variables explicativas y recopilación de información

##### 5.1.1. Marco legal

En la Tabla 3 se presenta a manera de síntesis las variables que intervienen dentro de la delimitación de zonas de expansión urbana, tomando como caso la parroquia La Victoria del cantón Pujilí.

Dentro de los insumos tanto para el análisis multicriterio, así como también para la generación de los modelos de crecimiento urbano se contó con cartografía base y temática recopilada de diferentes instituciones. Al no contar con ciertas coberturas se procedió a generarlas como es el caso de las vías y uso de suelo, que son indispensables para realizar la simulación y validación del crecimiento urbano. La información existente de las capas antes mencionadas corresponden al año 2013 por lo que se tuvo que generar adicionalmente de una época pasada (2001) y otra actual (2019), a partir de la fotointerpretación de ortofotos facilitadas por el GAD municipal de Pujilí, las fuentes de adquisición se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Síntesis de variables que intervienen en la delimitación de zonas de expansión urbana*

Variable	Fuente	Escala
Centros urbanos (2019)	Generación propia	1:5000
Vías	2001	GAD Pujilí
	2013	GAD Pujilí
	2019	Generación propia
Servicios básicos	GAD Pujilí	1:5000
Crecimiento poblacional	INEC	-

CONTINÚA

Equipamientos		GAD Pujilí	1:5000
Áreas protegidas		No aplica	-
Red hidrográfica		IGM	1:5000
Riesgos		GAD Pujilí / IGM	1:5000
Pendiente		Generación propia a partir del MDT- SIG TIERRAS	1:5000
Infraestructura de riego o producción		GAD Pujilí / IGM	1:5000
Uso y ocupación del suelo	2001	Generación propia	1:5000
	2013	GAD Pujilí	1:5000
	2019	Generación propia	1:5000
Ecosistemas frágiles / PANE		No aplica	-
Patrimonio cultural y arqueológico		No aplica	-
Megaproyectos de infraestructura, movilidad y energía destinados a la zona		No aplica	-

### 5.1.2. Selección de Criterios de Sostenibilidad

En base a la información disponible para la parroquia La Victoria se ha elegido los siguientes criterios de sostenibilidad (Tabla 4).

**Tabla 4.**

*Variables en base a criterios de sostenibilidad para la delimitación de zonas de expansión urbana*

Componente	Criterio	Variable	Fuente	Escala
AMBIENTAL	Proporcionar acceso a espacios verdes, estableciendo una cantidad de superficie de éstos espacios por habitante	Cantidad de habitantes por m <sup>2</sup> de áreas verdes	Generación propia (Uso y ocupación 2019)	1:5000
	Asegurar la accesibilidad de la población a zonas de recreación	Proximidad a zonas de recreación	IGM	1:5000
	Fomentar el desarrollo económico local competitivo a través de la producción local y actividades comerciales	Aptitud del suelo	GAD Pujilí	1:5000

CONTINÚA 

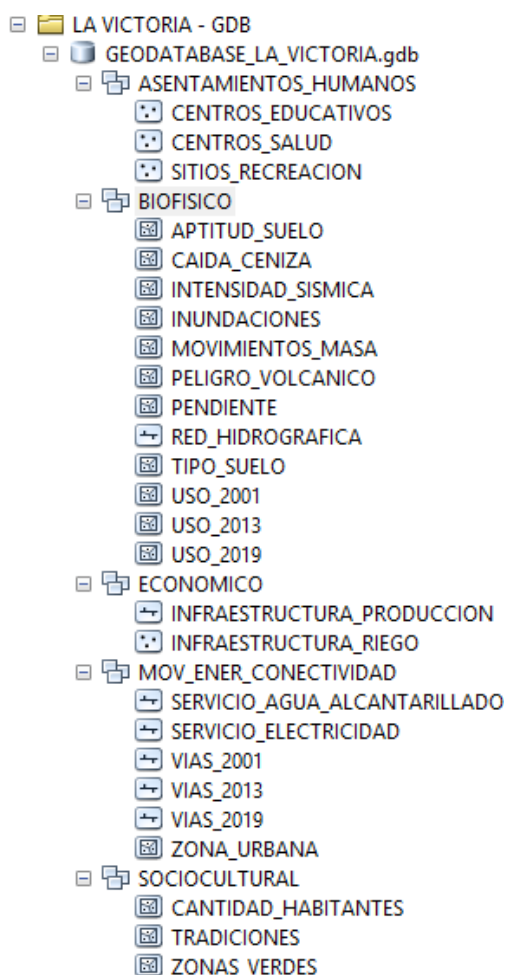
ECONÓMICO	cotidianas aprovechando las aptitudes del suelo			
	Dinamizar la economía identificando sectores potencialmente productivos promover la comercialización local, evitando la exportación de productos a bajos precios, ya que esto conlleva a que el capital de la zona disminuya.	Proximidad a infraestructura de producción y riego, sectores productivos de interés	GAD Pujilí	1:5000
SOCIAL	Definir un valor adecuado de superficie habitable por persona con el fin de ejercer un control sobre el crecimiento y mejorar el hábitat urbano	Densidad urbana	Generación propia	1:5000
	Garantizar la accesibilidad de la población a servicios sociales de educación y salud, de esta forma se promueve la cohesión social	Disponibilidad de equipamientos de salud y educación	GAD Pujilí	1:5000
	Promover la conservación del patrimonio cultural de la zona ya que proporciona identidad al territorio	Tradiciones y patrimonio cultural	Generación propia	1:5000

### 5.1.3. Geodatabase

Una *Geodatabase* (GDB) es conocida como una base de datos que almacena información geográfica estructurada principalmente por un *feature class* que almacena objetos de tipo polígono, punto o línea y un *feature dataset* que recopila *feature class* con un sistema de referencia en común.

La información recopilada y generada se agrupó en 5 *features dataset* como se muestra en la Figura 17.





*Figura 17.* Estructura de la Geodatabase.

## 5.2. Análisis multicriterio

### 5.2.1. Definición de variables

Como ya se mencionó anteriormente, las variables están distribuidas dentro de los componentes biofísico, económico, sociocultural, movilidad energía y conectividad y asentamientos humanos, cabe recalcar que dentro de estas están incluidas los criterios de sostenibilidad tomados en cuenta, dentro de esta investigación se intentó abarcar la mayor cantidad de variables posibles en base a la disponibilidad de las mismas.

**Tabla 5.**  
*VARIABLES a considerar en la evaluación multicriterio*

COMPONENTE	VARIABLE
BIOFÍSICO	Pendiente
	Riesgos
	Uso y ocupación del suelo
	Red hidrográfica
	Área verde por habitante
	Proximidad a zonas de recreación
ECONÓMICO	Tipo de suelo
	Proximidad a infraestructura de riego y producción
	Aptitud del suelo (productivo)
SOCIOCULTURAL	Tradiciones
	Crecimiento poblacional (Densidad urbana)
MOVILIDAD, ENERGÍA Y CONECTIVIDAD	Redes de servicios básicos
	Centros urbanos
	Vías
ASENTAMIENTOS HUMANOS	Equipamientos

## 5.2.2. Criterios de urbanización

### 5.2.2.1. Criterios Biofísicos

#### 5.2.2.1.1. Pendiente

La pendiente básicamente es entendida como la inclinación que presenta el terreno; tiene relación con la morfología y dinámica del relieve (Orozco, 2010). Esta variable condición de manera considerable a la urbanización del territorio ya que representa una potencial limitación para darle este uso al suelo. En la Tabla 6 se muestra los tipos de pendientes tomadas en cuenta en esta investigación.

**Tabla 6.**  
*Tipos de pendientes*

VARIABLE	CRITERIO
	Plano (0 - 2 %)
	Muy Suave (>2 - 5 %)

CONTINÚA 

Pendiente	Suave (> 5 - 12 %)
	Media (> 12 - 25 %)
	Media a Fuerte (> 25 - 40 %)
	Fuerte (> 40 - 70 %)
	Muy Fuerte (> 70 - 100 %)
	Escarpada (> 100 - 150 %)
	Muy Escarpada (> 150 - 200 %)
Abrupta (> 200 %)	

### 5.2.2.1.2. Riesgos

#### 5.2.2.1.2.1. Inundaciones

Una inundación es consecuencia de fuertes lluvias en zonas propensas a las mismas, estas zonas generalmente presentan pendientes pronunciadas y un suelo desnudo (SEGOB, 2016), las inundaciones ocasionan graves daños en viviendas, así como también pérdidas humanas por lo que constituye una variable importante dentro de la delimitación de zonas de expansión urbana, en la Tabla 7 se muestra los criterios a inundaciones tomadas en cuenta en esta investigación.

**Tabla 7.**

*Criterios de inundaciones*

VARIABLE	CRITERIO
Inundaciones	Zonas no propensas a inundaciones
	Zonas propensas a inundaciones

#### 5.2.2.1.2.2. Movimientos en Masa

Los movimientos en masa son definidos como desplazamientos de tierra en dirección a las partes bajas del territorio (Cuervo, 2000). Estos eventos ocasionan grandes pérdidas económicas y humanas, es así que su estudio dentro de la gestión del territorio es indispensable. En la Tabla 8 se muestra los tipos de movimientos en masa tomados en cuenta en esta investigación.

**Tabla 8.**

*Tipos de movimientos en masa*

VARIABLE	CRITERIO
	Baja a nula Susceptibilidad a movimientos en masa

CONTINÚA 

Movimientos en masa	Mediana Susceptibilidad a movimientos en masa
	Moderada Susceptibilidad a movimientos en masa
	Alta Susceptibilidad a movimientos en masa

### 5.2.2.1.2.3. Intensidad Sísmica

La intensidad sísmica es una descripción cualitativa que representa los efectos de un sismo donde intervienen las consecuencias que trae consigo según la percepción de los habitantes y los daños económicos y materiales (RSN, 2019); en la Tabla 9 se muestra los tipos de intensidad sísmica tomadas en cuenta en esta investigación.

**Tabla 9.**

*Tipos de intensidad sísmica*

VARIABLE	CRITERIO
Intensidad Sísmica	Zona de Nula intensidad sísmica
	Zona de Mediana intensidad sísmica
	Zona de Alta intensidad sísmica
	Zona de Muy Alta intensidad sísmica

### 5.2.2.1.2.4. Caída de Cenizas

La caída de ceniza ocurre cuando un volcán entra en proceso eruptivo, representa un potencial riesgo principalmente para la salud de las personas por lo que es de gran importancia tomar en cuenta esta variable. En la Tabla 10 se muestra los tipos de peligro por caída de ceniza tomadas en cuenta en esta investigación.

**Tabla 10.**

*Tipos de peligro por caída de ceniza*

VARIABLE	CRITERIO
Caída de Cenizas	Ningún Peligro por caída de ceniza
	Menor Peligro por caída de ceniza
	Mayor Peligro por caída de ceniza

### 5.2.2.1.2.5. Peligro Volcánico

El peligro volcánico se refiere a la vulnerabilidad que representa la presencia de algún volcán activo en las cercanías a zonas pobladas, por lo que representa una restricción para nuevos asentamientos; en la Tabla 11 se muestra las categorías de probabilidad a peligro volcánico consideradas.

**Tabla 11.**

*Tipos de probabilidad a peligro volcánico*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Peligro Volcánico	Ninguna Probabilidad a Peligro Volcánico
	Baja Probabilidad a Peligro Volcánico
	Menor Probabilidad a Peligro volcánico
	Mínima Probabilidad a Peligro Volcánico
	Media Probabilidad a Peligro volcánico
	Alta Probabilidad a Peligro volcánico
	Mayor Probabilidad a Peligro volcánico

### 5.2.2.1.3. Uso del Suelo

El uso del suelo indica de cierta forma su aptitud, ya sea para agricultura, uso residencial, producción etc.; en la Tabla 12 se muestra las categorías de uso de suelo tomadas en cuenta en esta investigación las cuales han sido seleccionadas en base a los objetivos enmarcados dentro de este estudio.

**Tabla 12.**

*Categorías de uso de suelo*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO	Zona Antrópica
	Zona Agrícola
	Zona Agropecuaria Mixta
	Zona de Conservación y Producción
	Zona de Conservación y Protección
	Zona Pecuaria
	Zona de Protección y Producción

#### 5.2.2.1.4. Red Hidrográfica

##### 5.2.2.1.4.1. Proximidad a Ríos, Quebradas y Lagunas

En la planificación para determinar nuevos asentamientos urbanos es muy importante tomar en cuenta las franjas de protección que se debe considerar al construir en sitios cercanos a ríos, quebradas o lagunas. En la Tabla 13 se muestra los criterios de proximidad a ríos, quebradas y lagunas consideradas en esta investigación que han sido seleccionadas con base en la Ordenanza de Régimen de suelo Urbano y Rural del cantón Pujilí, (Uso, Ocupación y Edificabilidad), donde se acuerda que la franja de protección debe ser de 15 metros.

**Tabla 13.**

*Criterios de proximidad a ríos, quebradas y lagunas*

VARIABLE	CRITERIO
RED HIDROGRÁFICA	Proximidad a ríos, quebradas y lagos
	0-15 mayor a 15 metros

##### 5.2.2.1.5. Cantidad de habitantes por m<sup>2</sup> de Áreas Verdes

Al igual que la cantidad de habitantes a ser considerados por zona urbana, también es indispensable considerar la cantidad de habitantes por áreas verdes, ya que así se logrará una calidad de vida adecuada y sustentable; en la Tabla 14 se muestra los criterios en cuanto a la cantidad de habitantes por m<sup>2</sup> de área verde considerados en esta investigación.

**Tabla 14.**

*Criterios en cuanto a tradiciones*

VARIABLE	CRITERIO
Cantidad de áreas verdes por habitante	Menor a 15 m <sup>2</sup> por habitante Mayor o igual a 15 m <sup>2</sup> por habitante

##### 5.2.2.1.6. Proximidad a Centros de Recreación

La dotación de equipamientos de recreación en las nuevas zonas de crecimiento urbano es vital, ya que con esto se asegura una calidad de vida digna y desarrollo para los habitantes es importante

tomar en cuenta la cercanía a la que se encuentren. En la Tabla 15 se muestra los criterios en cuanto a la cercanía a centros de recreación tomados en cuenta en base a ordenanzas establecidas.

**Tabla 15.**

*Criterios en cuanto a proximidad a centros educativos, salud y recreación*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a Centros de Recreación	0-1000
	Más de 1000 metros

#### **5.2.2.1.7. Tipo de suelo**

El tipo de suelo juega un papel muy importante dentro de la planificación del territorio ya que sobre este se construirá la infraestructura proyectada a futuro, por lo que se debe distinguir los tipos de suelo existentes ya que no todos son aptos para construir más bien debe construir con restricciones, como por ejemplo contar con estructuras metálicas y resistentes ante la acción natural de cada tipo. En la Tabla 16 se muestra los criterios tomados en cuenta en esta investigación.

**Tabla 16.**

*Tipos de suelo*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
TIPO DE SUELO	Arcilloso
	Arenoso
	Limoso

#### **5.2.2.2. Criterios Económicos**

##### **5.2.2.2.1. Infraestructura**

###### **5.2.2.2.1.1. Proximidad a infraestructura de riego**

Dentro de los criterios económicos se ha tomado en cuenta la variable proximidad a infraestructura de riego, ya que con esto se pretende incentivar a los habitantes del lugar a aprovechar este tipo de infraestructura para potenciar la economía del sector para su desarrollo sostenible. En la Tabla 17 se muestra los criterios de proximidad tomados en cuenta en esta investigación, que fueron considerados en base a opiniones de expertos.

**Tabla 17.***Criterios de proximidad a infraestructura de riego*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a infraestructura de riego	0- 50 metros
	0-100 metros
	Más de 100 metros

**5.2.2.2.1.2. Proximidad a infraestructura de producción (acequia, puente, sendero)**

La proximidad a infraestructura de producción como acequias, puentes y senderos también es un aspecto muy importante ya que con esto se activa el comercio entre zonas dentro de la misma parroquia sin necesidad de exportar sus productos fuera de ella a precios bajos o importar otro tipo de productos a precios relativamente altos, logrando un comercio sostenible para la zona. En la Tabla 18 se muestra los criterios tomados en cuenta en esta investigación, los cuales fueron considerados en base a opiniones de expertos.

**Tabla 18.***Criterios de proximidad a infraestructura de producción*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a infraestructura de producción (acequia, puente, sendero)	0-500 metros
	Más de 500 metros

**5.2.2.2.1.3. Aptitud del suelo**

La aptitud del suelo indica las zonas de vida y la vegetación recomendable en el suelo según las características que éste presente. En la Tabla 19 se muestran las categorías en cuanto a aptitud del suelo tomadas en cuenta en esta investigación.

**Tabla 19.***Criterios de aptitud del suelo*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
APTITUD DEL SUELO	Apto para Bosque
	Cultivos con Limitaciones Importantes
	Cultivos con Limitaciones Ligeras
	Cultivos con Limitaciones muy Importantes
	Cultivos sin Limitaciones
	Zonas Aptas para Pastos

CONTINÚA 



---

Zonas sin uso Agropecuario

---

### 5.2.2.3. Criterios Socioculturales

#### 5.2.2.3.1. Tradiciones

Dentro de los criterios socioculturales se ha considerado a las tradiciones como una de las variables dentro de este estudio, ya que mediante la preservación de esta se fomenta a la identificación del territorio con actividades propias de la zona, en la Tabla 20 se muestra los criterios en cuanto a tradiciones tomados en cuenta en esta investigación.

**Tabla 20.**

*Criterios en cuanto a tradiciones*

VARIABLE	CRITERIO
TRADICIONES Artesanías	Mayor presencia de actividades de alfarería y cerámica
	Menor presencia de actividades de alfarería y cerámica

#### 5.2.2.3.2. Cantidad de habitantes

La cantidad de personas existentes en un determinado lugar es uno de los aspectos de gran importancia para nuevos asentamientos humanos, es así que éste se ha tomado en cuenta para la adecuada gestión del territorio, en la Tabla 21 se muestra los criterios en cuanto a la cantidad de habitantes considerados en esta investigación.

**Tabla 21.**

*Criterios en cuanto a la cantidad de habitantes*

VARIABLE	CRITERIO
Cantidad de habitantes	Baja casi nula cantidad de habitantes
	Baja cantidad de habitantes
	Mediana cantidad de habitantes
	Alta cantidad de habitantes

#### 5.2.2.3.3. Cantidad de habitantes por ha de Zona Urbana

Frente al aumento de la población, la demanda de espacios habitables va en aumento, ante esto, uno de los mayores retos es el hecho de contar con un espacio apropiado para la habitabilidad de

las personas; con una planificación adecuada esto se podrá llevar a cabo. En la Tabla 22 se muestra los criterios en cuanto a la cantidad de habitantes por zona urbana considerados en esta investigación.

**Tabla 22.**

*Criterios en cuanto a la cantidad de habitantes por ha de zona urbana*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Cantidad de habitantes por ha de Zona Urbana	Menor a 120 habitantes por hectárea Mayor a 120 habitantes por hectárea

#### **5.2.2.4. Criterios en base a Movilidad Energía y Conectividad**

##### **5.2.2.4.1. Redes de Servicios Básicos**

###### **5.2.2.4.1.1. Luz Eléctrica, Agua Potable y Alcantarillado**

Los procesos de expansión urbana se van dando de tal manera que posterior a la aparición de nuevos asentamientos necesariamente se deben ampliar las redes de agua potable, alcantarillado y luz eléctrica, lo que representa altos costos de implementación; por lo tanto, los nuevos asentamientos deben estar planificados en sitios cercanos a estas redes de servicios básicos. En la Tabla 23 se muestra los criterios en cuanto los servicios básicos: agua, alcantarillado y energía eléctrica considerados en esta investigación, que han sido tomados en cuenta en base a ordenanzas.

**Tabla 23.**

*Criterios en cuanto redes de servicios básicos*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>	
<b>REDES DE SERVICIOS BÁSICOS</b>	Agua Potable y Alcantarillado	0-500
	Luz Eléctrica	Más de 500 metros
		0-300 Más de 300 metros

##### **5.2.2.4.2. Centros urbanos**

Un proceso óptimo de urbanización se da al situar las zonas de crecimiento en las cercanías de sitios urbanos ya existentes, por lo que se ha tomado en cuenta la distancia que hay entre éstos. En

la Tabla 24 se muestra los criterios respecto de la cercanía de zonas urbanas, que han sido tomados en cuenta con base en la distancia euclideana existente.

**Tabla 24.**

*Criterios en cuanto a proximidad de zonas urbanas existentes*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a zonas urbanas existentes	0-3000
	3001-6000
	más de 6000 metros

#### **5.2.2.4.3. Vías**

Las vías constituyen una de las variables de importancia, ya que a través de éstas se analiza la accesibilidad a nuevos sitios de crecimiento urbano. En la Tabla 25 se muestra los criterios en cuanto a la cercanía de zonas urbanas existentes consideradas en esta investigación, para lo cual se ha tomado en cuenta la franja de protección de 25 metros establecida en la ley de caminos del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador.

**Tabla 25.**

*Criterios en cuanto a proximidad a vías*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a vías	0-25
	más de 25 metros

#### **5.2.2.5. Criterios en base a Asentamientos Humanos**

##### **5.2.2.5.1. Equipamientos**

##### **5.2.2.5.1.1. Proximidad a Centros Educativos y Salud**

La dotación de equipamientos en las nuevas zonas de crecimiento urbano es vital, ya que con esto se asegura una calidad de vida digna para los habitantes; es importante tomar en cuenta la cercanía a la que estos se encuentren. En la Tabla 26 se muestra los criterios en cuanto a la cercanía de equipamientos de salud y educación tomados en cuenta con base en ordenanzas ya establecidas.

**Tabla 26.***Criterios en cuanto a proximidad a centros educativos, salud y recreación*

<b>VARIABLE</b>	<b>CRITERIO</b>
Proximidad a Centros Educativos	0-1500
	Más de 1500 metros
Proximidad a Centros de Salud	0-1500
	Más de 1500 metros

### 5.2.3. Estandarización de variables

Después de analizar los criterios de urbanización es necesario estandarizar estas variables, por lo que se ha definido tres categorías de urbanización con base en el estudio realizado por (Yerovi, 2016), que se detallan a continuación:

- **No Urbanizar:** El suelo que corresponde a esta categoría es aquel que presenta condiciones no favorables para ser urbanizado como por ejemplo riesgos en cuanto a pendiente, movimientos en masa, et casi como también capacidad para la agricultura, ausencia de servicios básicos, entre otros.
- **Urbanizar con restricción** El suelo que corresponde a esta categoría es aquel que presenta condiciones para ser urbanizado pero teniendo en cuenta ciertas restricciones en el suelo destinado a este fin.
- **Urbanizar:** El suelo que corresponde a esta categoría es aquel que presenta condiciones para ser urbanizado, cumpliendo con todos los estándares propuestos para destinar en él las zonas que aparezcan con el crecimiento urbano.

A las tres categorías mencionadas anteriormente se les atribuyó un número como se muestra en la Figura 18.

1	NO URBANIZAR
2	URBANIZAR CON RESTRICCIÓN
3	URBANIZAR

**Figura 18.** Categorías de urbanización

Fuente: Adaptado de (Yerovi, 2016)

#### **5.2.4. Asignación de pesos**

La asignación de pesos a cada una de las variables consideradas dentro de esta investigación se lo realizó en el software gratuito ILWIS, esto con el fin de lograr la representación de la información, en la Tabla 27 se muestra los resultados de la estandarización y categorización.

**Tabla 27.**  
*Crterios, categorización y estandarización de variables*

COMPONENTE	VARIABLE	CRITERIO	ESTANDARIZACIÓN	CATEGORÍAS DE URBANIZACIÓN		
BIOFÍSICO	Pendiente	Plano (0 - 2 %)	3	Urbanizar		
		Muy Suave (>2 - 5 %)	3	Urbanizar		
		Suave (> 5 - 12 %)	3	Urbanizar		
		Media (> 12 - 25 %)	2	Urbanizar con restricción		
		Media a Fuerte (> 25 - 40 %)	2	Urbanizar con restricción		
		Fuerte (> 40 - 70 %)	1	No urbanizar		
		Muy Fuerte (> 70 - 100 %)	1	No urbanizar		
		Escarpada (> 100 - 150 %)	1	No urbanizar		
		Muy Escarpada (> 150 - 200 %)	1	No urbanizar		
		Abrupta (> 200 %)	1	No urbanizar		
	Inundaciones	Zonas no propensas		3	Urbanizar	
			Zonas propensas	1	No urbanizar	
		Movimientos en masa	Baja a nula			Urbanizar
			Susceptibilidad a movimientos en masa	3		
			Mediana Susceptibilidad a movimientos en masa	2	Urbanizar con restricción	
			Moderada Susceptibilidad a movimientos en masa	2	Urbanizar con restricción	
			Alta Susceptibilidad a movimientos en masa	1	No urbanizar	
			Zona de Nula intensidad	3	Urbanizar	
			Zona de Media intensidad	3	Urbanizar	

CONTINÚA 

BIOFÍSICO	Riesgos	Intensidad Sísmica	Zona de Alta intensidad	2	Urbanizar con restricción
			Zona de Muy Alta intensidad	1	No urbanizar
		Caída de Cenizas	Ningún Peligro	3	Urbanizar
			Menor Peligro	3	Urbanizar
			Mayor Peligro	1	No urbanizar
		Peligro Volcánico	Ninguna Probabilidad a Peligro Volcánico	3	Urbanizar
			Baja Probabilidad a Peligro Volcánico	3	Urbanizar
			Menor Probabilidad a Peligro volcánico	3	Urbanizar
			Mínima Probabilidad a Peligro Volcánico	3	Urbanizar
			Media Probabilidad a Peligro volcánico	2	Urbanizar con restricción
	Alta Probabilidad a Peligro volcánico		1	No urbanizar	
	Mayor Probabilidad a Peligro volcánico		1	No urbanizar	
	Uso y ocupación del suelo	Zona Antrópica	1	No urbanizar	
		Zona Agrícola	2	Urbanizar con restricción	
		Zona Agropecuaria Mixta	3	Urbanizar	
		Zona de Conservación y Producción	2	Urbanizar con restricción	
		Zona de Conservación y Protección	1	No urbanizar	
		Zona Pecuaria	2	Urbanizar con restricción	

CONTINÚA 

		Zona de Protección y Producción	2	Urbanizar con restricción	
BIOFÍSICO	Red hidrográfica	Proximidad a ríos y quebradas	0-15	1	No urbanizar
			mayor a 15 metros	3	Urbanizar
	Cantidad de áreas verdes por habitante	Menor a 15 m <sup>2</sup> por habitante		2	Urbanizar con restricción
		Mayor o igual a 15 m <sup>2</sup> por habitante		3	Urbanizar
	Proximidad a Centros de Recreación	0-1000		3	Urbanizar
		más de 1000 metros		2	Urbanizar con restricción
	Tipo de suelo	Arcilloso		2	Urbanizar con restricción
		Arenoso		2	Urbanizar con restricción
		Limoso		2	Urbanizar con restricción
	ECONÓMICO	Infraestructura	Proximidad a infraestructura de riego	0- 50 metros	3
			0-100 metros	2	Urbanizar con restricción
			Más de 100 metros	2	Urbanizar con restricción
ra		Proximidad a infraestructura de producción	0-500 metros	3	Urbanizar
			más de 500 metros	2	Urbanizar con restricción
		Apto para Bosque		2	Urbanizar con restricción
		Cultivos con Limitaciones Importantes		3	Urbanizar
		Cultivos con Limitaciones Ligeras		2	Urbanizar con restricción
		Cultivos con Limitaciones muy Importantes		3	Urbanizar

CONTINÚA 



	Aptitud del suelo	Cultivos sin Limitaciones	2	Urbanizar con restricción		
		Zonas Aptas para Pastos	2	Urbanizar con restricción		
		Zonas sin uso Agropecuario	3	Urbanizar		
SOCIOCULTURAL	Tradiciones	Artesanías	Mayor presencia de actividades de alfarería y cerámica	2	Urbanizar con restricción	
			Menor presencia de actividades de alfarería y cerámica	3	Urbanizar	
	Crecimiento poblacional	Cantidad de habitantes	Baja casi nula cantidad de habitantes	3	Urbanizar	
			Baja cantidad de habitantes	3	Urbanizar	
			Mediana cantidad de habitantes	2	Urbanizar con restricción	
			Alta cantidad de habitantes	2	Urbanizar con restricción	
			Cantidad de habitantes por ha de Zona Urbana	Menor a 120 habitantes por hectárea	3	Urbanizar
			Mayor a 120 habitantes por hectárea	2	Urbanizar con restricción	
	MOVILIDAD, ENERGÍA Y CONECTIVIDAD	Redes de servicios básicos	Agua Potable y Alcantarillado	0-100	3	Urbanizar
				Más de 300 metros	2	Urbanizar con restricción
Luz Eléctrica			0-300	3	Urbanizar	
			Más de 300 metros	2	Urbanizar con restricción	
			0-1000	3	Urbanizar	

CONTINÚA 

	Centros urbanos	Proximidad a zonas urbanas existentes	más de 1000 metros	2	Urbanizar con restricción
	Vías	Proximidad a vías	0-25 más de 25 metros	1 3	No urbanizar Urbanizar
ASENTAMIENTOS HUMANOS		Proximidad a Centros Educativos	0-1500 más de 1500 metros	3 2	Urbanizar Urbanizar con restricción
	Equipamientos	Proximidad a Centros de Salud	0-1500 más de 1500 metros	3 2	Urbanizar Urbanizar con restricción

### 5.3. Generación del modelo de predicción del crecimiento urbano

#### 5.3.1. Definición de variables

Uno de los requerimientos para llevar a cabo un modelamiento exitoso es la selección de las variables más probables a promover cambios en el estudio a realizarse así como también de la cantidad a incluirse en el modelo, en este sentido es importante tener en cuenta que al incorporar una alta cantidad de variables la demanda de tiempo y requerimientos del sistema serán mayores.

Para el caso del estudio del cambio en el uso y cobertura del suelo, Díaz & Hewitt (2013) y Pijanowski (2005) aconsejan trabajar con 6 a 15 variables dependiendo de la disponibilidad de información cartográfica y de la categoría que se quiere simular el cambio, éstas variables deben estar clasificadas preferiblemente como criterios biofísicos y socioeconómicos.

En la simulación del crecimiento urbano de la parroquia La Victoria se han tomado en cuenta 6 variables (Tabla 28) además del uso de suelo de los años 2001, 2013 y 2019, las cuales fueron consideradas ya que su patrón espacial condiciona el cambio, además tomando en cuenta que este resultado se integrará posteriormente con el resultado de las zonas de restricción o no aptas para uso urbano obtenido en la evaluación multicriterio donde ya fueron consideradas la mayor cantidad de variables potenciales que explican y condicionan el crecimiento urbano.

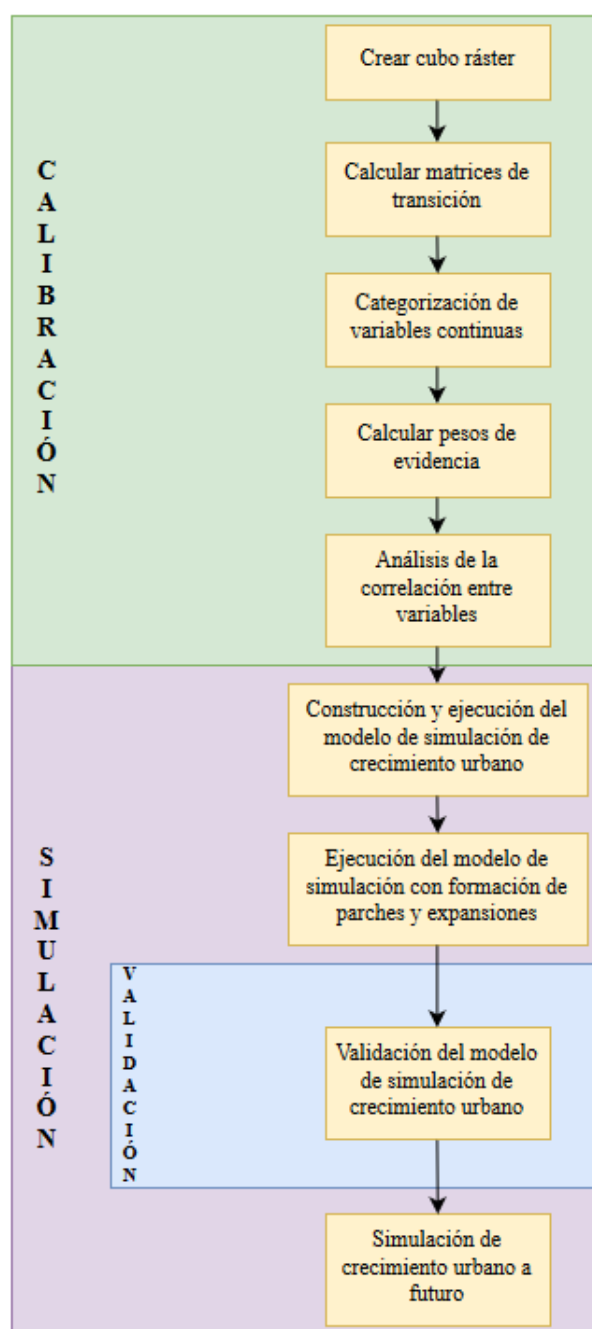
**Tabla 28.**

*VARIABLES CONSIDERADAS EN LA SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>
Biofísico	Pendiente
	Distancia a ríos
	Distancia a vías
	Distancia a centros de salud
Socioeconómico	Distancia a centros educativos
	Distancia a zonas de recreación

### 5.3.2. DINÁMICA EGO

En el siguiente esquema (Figura 19), se indican los pasos a seguir en la simulación del crecimiento urbano de la parroquia La Victoria.



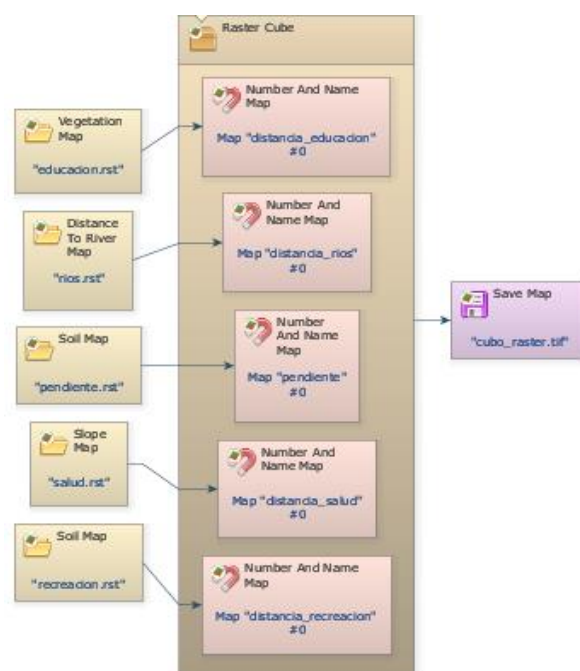
**Figura 19.** Pasos en la simulación del crecimiento urbano con DINÁMICA EGO

### 5.3.2.1. Creación del cubo ráster

Para iniciar con el modelamiento del crecimiento urbano es importante la preparación de las variables y de los mapas, cada cobertura a utilizarse deberá contar con el mismo número de filas y columnas, igual tamaño de pixel y mismo sistema de proyección. Una vez homologados todos los insumos se procede a generar el *cubo ráster*, el cual agrupa variables y mapas de tipo estáticas, es decir que sus atributos no cambian durante la ejecución del modelo. (Soares, Rodrigues, & Costa, 2009)

Las variables consideradas para el modelamiento del crecimiento urbano en la parroquia La Victoria se han categorizado como estáticas a las siguientes: pendiente, distancia a ríos, distancia a centros de salud, distancia a centros educativos y distancia a sitios de recreación mientras que a la distancia a vías se la ha considerado como dinámica ya que esta cambia durante la ejecución del modelo, es importante mencionar que todas las variables han sido categorizadas como continuas. Se ha precisado como sistema de proyección WGS84 Zona 17 Sur, y en cuanto al tamaño del pixel se ha tomado un valor de 12 m, que se ha definido en base a Hengl (2016) citado por Arellano & Castro (2019) donde menciona que se debería trabajar con 2x2 celdas para representar el objeto más pequeño de estudio. Siendo éste el lote mínimo a registrarse dentro del régimen de uso de suelo urbano y rural para el uso ocupación y edificabilidad del Cantón Pujilí, donde refiere que es de 600 m<sup>2</sup>. Así se han fijado todos los criterios para la creación del cubo ráster, cuya estructura se muestra en la Figura 20.

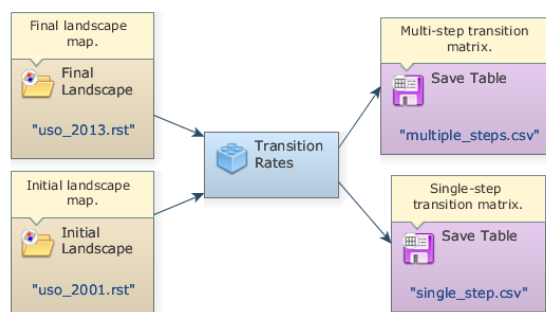
En los mapas de uso de suelo las variables son de tipo categóricas; y se ha especificado dos clases: Urbano y No Urbano, a las que se ha asignado el valor de 1 y 2 respectivamente. El paisaje inicial es el mapa de uso de suelo del 2001 y el paisaje final el correspondiente al año 2013.



**Figura 20.** Creación del cubo ráster.

### 5.3.2.2. Cálculo de las matrices de transición

Las matrices de transición muestran los cambios ocurridos de una categoría a otra en períodos discretos de tiempo, lo cual es indicado mediante porcentajes. En la Figura 21 se indica los insumos necesarios, que son el uso de suelo inicial y final los cuales ingresan en el *functor Determine Transition Matrix* donde se especifica el número de años existentes entre el uso inicial y final teniendo como resultado dos tablas con los porcentajes anuales (matriz múltiple) y durante todo el período de años transcurridos (matriz simple).

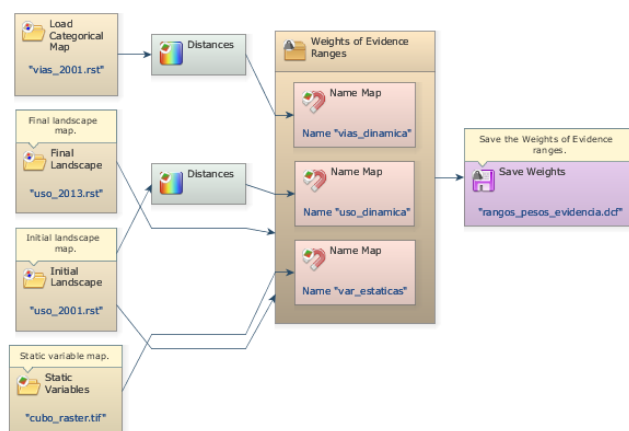


**Figura 21.** Modelo para el cálculo de matrices de transición.

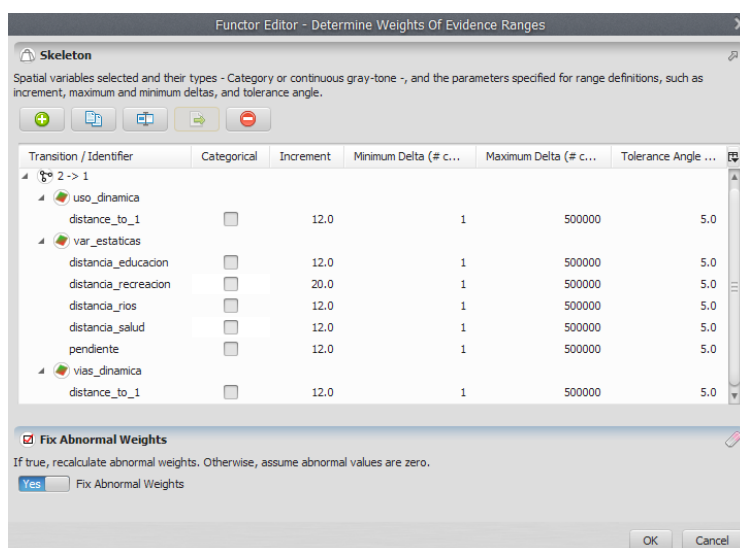
### 5.3.2.3. Cálculo de rangos para categorizar variables continuas

El procedimiento anterior es aplicable únicamente a variables categóricas, es por ello que es indispensable categorizar a las variables continuas que intervienen en el modelo de simulación. Así el modelo (Figura 22) calcula los rangos para realizar esta tarea, buscando mantener la estructura inicial de la variable continua generando buffers con un cierto número de intervalos. Los datos de entrada corresponden a todas las variables continuas (estáticas y dinámicas) que mediante el *functor Determine Weights of Evidence Ranges* genera como resultado los rangos de los pesos de evidencia, de forma que es necesario incluir en los datos de entrada el uso de suelo inicial y final.

Para la categorización exitosa de las variables continuas es necesario modificar los valores del *functor Determine Weights of Evidence Ranges* (Figura 23), los valores utilizados para el ángulo de tolerancia y delta mínimo y máximo son tomados de acuerdo a Soares, Rodrigues & Costa (2009) los cuales corresponden a 5°, 1 y 500000 respectivamente mientras que el incremento de las variables distancia a centros de recreación (50 m) y distancia a educación, ríos y salud (12 m) se lo realizó en base a los valores sugeridos por Arellano & Castro (2019).



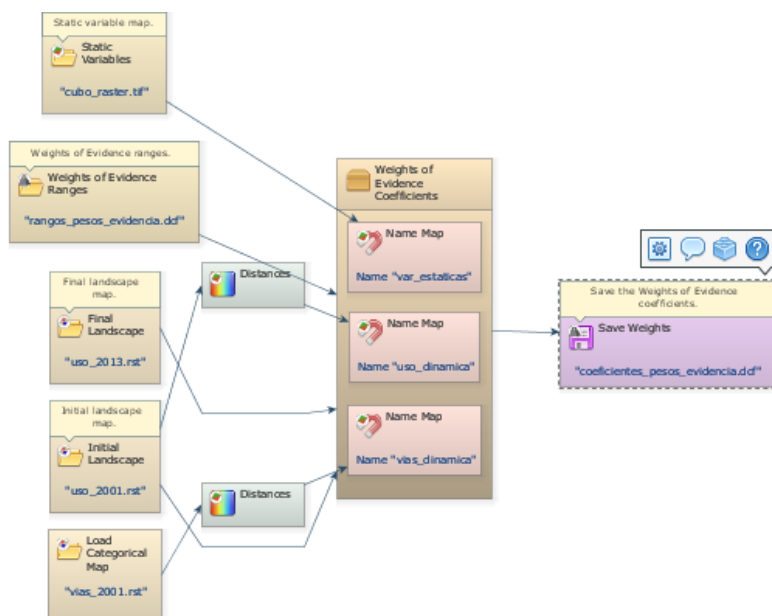
**Figura 22.** Modelo para el cálculo de rangos para categorizar variables continuas.



**Figura 23.** Edición de parámetros para la categorización de variables continuas.

#### 5.3.2.4. Cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia

Para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia (Figura 24) se tienen como datos de entrada el uso de suelo inicial y final, las vías (inicial), las variables estáticas almacenadas en el cubo ráster y los rangos obtenidos como resultado del paso anterior.

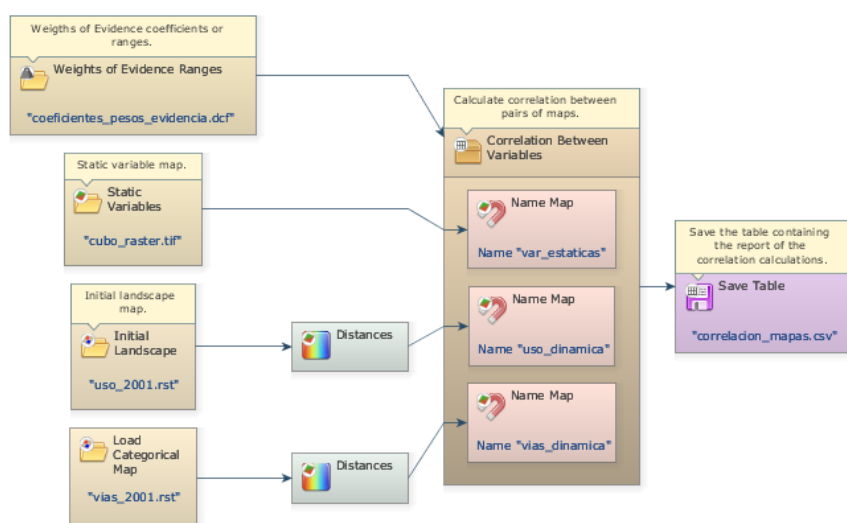


**Figura 24.** Modelo para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.



### 5.3.2.5. Análisis de correlación espacial entre variables

Es importante y necesario corroborar la independencia de las variables, es por ello que se realiza un análisis de correlación entre variables con el fin de eliminar aquellas que presenten un valor alto, los datos de entrada corresponden al cubo ráster, las vías y el uso de suelo inicial así como también los coeficientes de los pesos de evidencia obtenidos en el paso anterior. Se ingresan los datos al *functor Determine Weights Of Evidence Correlation* obteniendo un archivo con los valores de correlación a través de distintos métodos como  $\text{Chi}^2$ , estadístico de Cramer, contingencia y entropía (Figura 25).

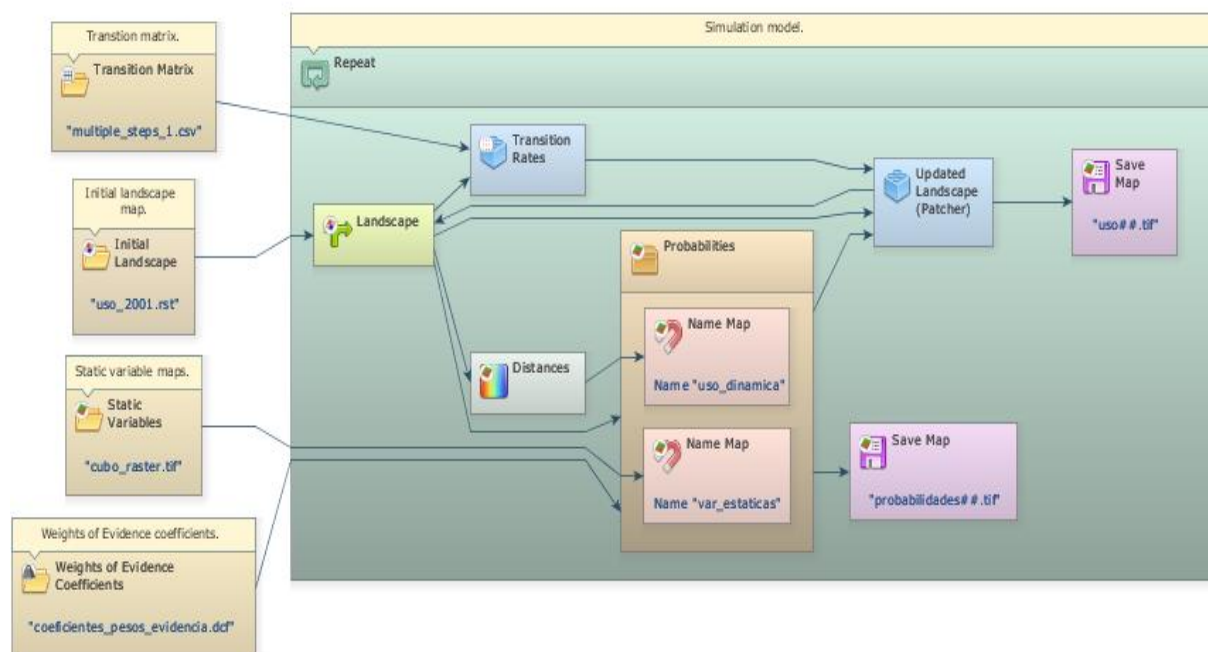


**Figura 25.** Modelo para el análisis de correlación entre variables.

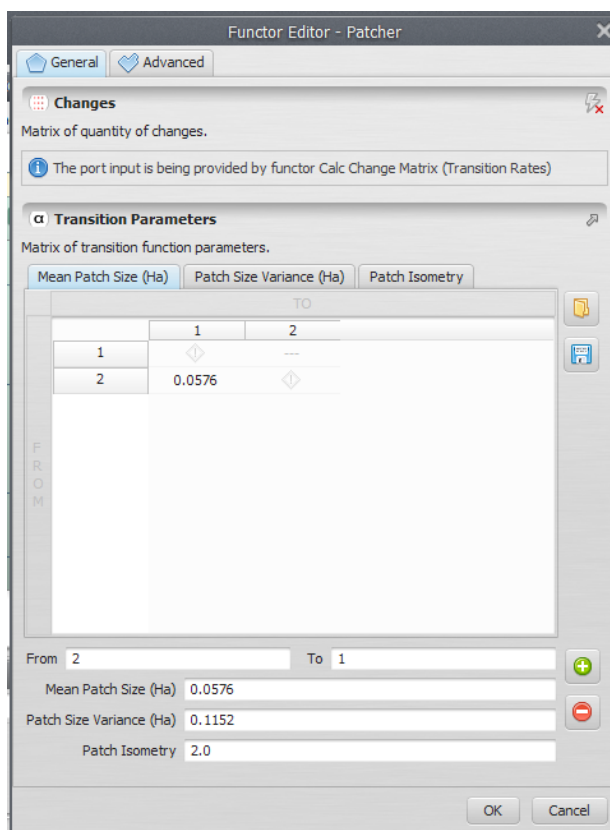
### 5.3.2.6. Construcción y ejecución del modelo de simulación del crecimiento urbano

Una vez terminada la calibración se procede a construir el modelo de simulación del crecimiento urbano en el que se tiene como datos de entrada al cubo ráster, el archivo de correlación entre variables y de porcentajes de cambio en pasos múltiples obtenidos en pasos anteriores, y el uso de suelo inicial. El *functor* que principalmente actúa es *Calc Weights Of Evidence Probability* que calculará la probabilidad en cada una de las iteraciones, repitiéndose una cantidad de veces

equivalente a los años transcurridos (Figura 26). En este punto se incluye al *functor Patcher* que busca las celdas alrededor de una ubicación dada para llevar a cabo un cambio en la misma clase; en éste se deben definir tres parámetros: tamaño medio del parche (*Mean Patch Size*), varianza del parche (*Patch Size Variance*) en Ha y la isometría (*Patch Isometry*), los valores asignados fueron escogidos con base en lo sugerido por Soares, Rodrigues & Costa (2009), que mencionan que el valor promedio del parche corresponde a cuatro pixeles y la varianza a 8 pixeles. Se definió la isometría con un valor de 2 (Figura 27 )ya que se desea que los parches adquieran una forma circular. El resultado de los parches junto con el uso de suelo inicial ingresan al *functor Mux Categorical Map*, donde se va actualizando el uso inicial con cada uno de los paisajes de uso producidos en cada iteración, como resultado se obtienen mapas de la probabilidad de transición y el uso de suelo final.



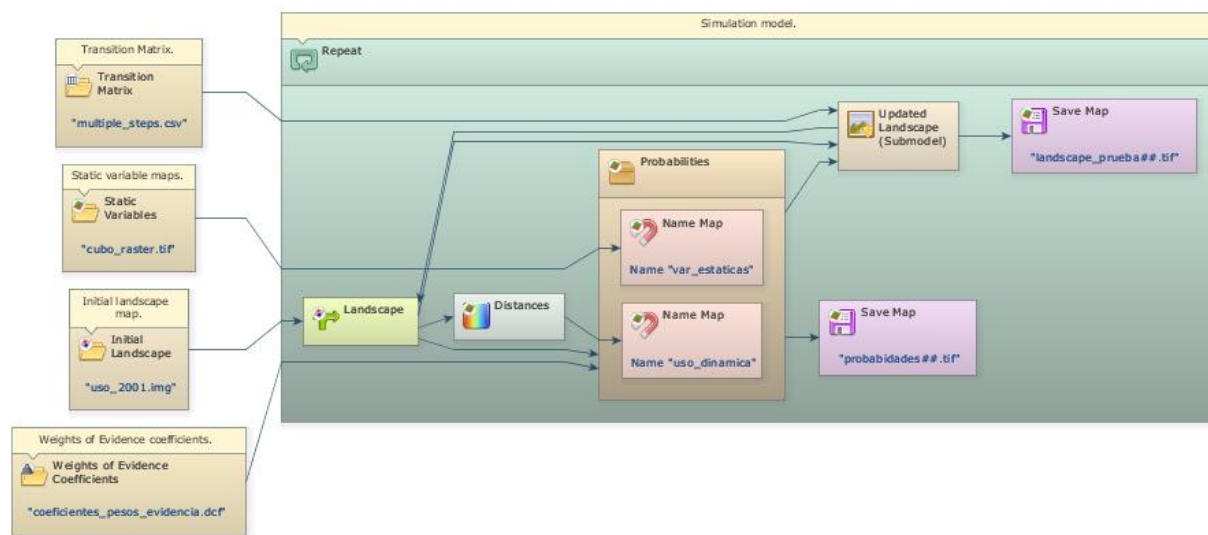
**Figura 26.** Modelo para la simulación del crecimiento urbano.



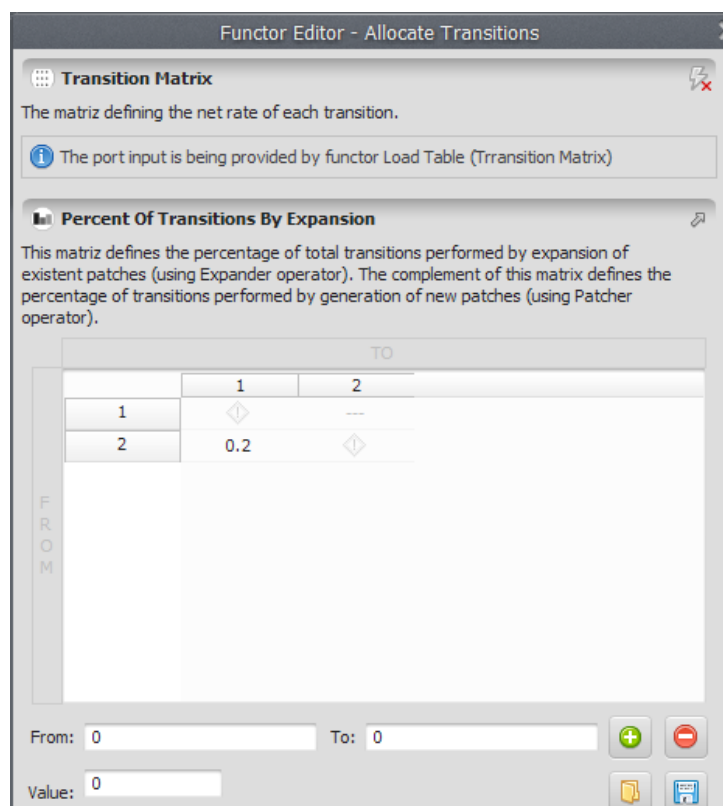
**Figura 27.** Parámetros del *funcion Patcher*.

### 5.3.2.7. Ejecución de la simulación del crecimiento urbano con formación de parches y expansiones

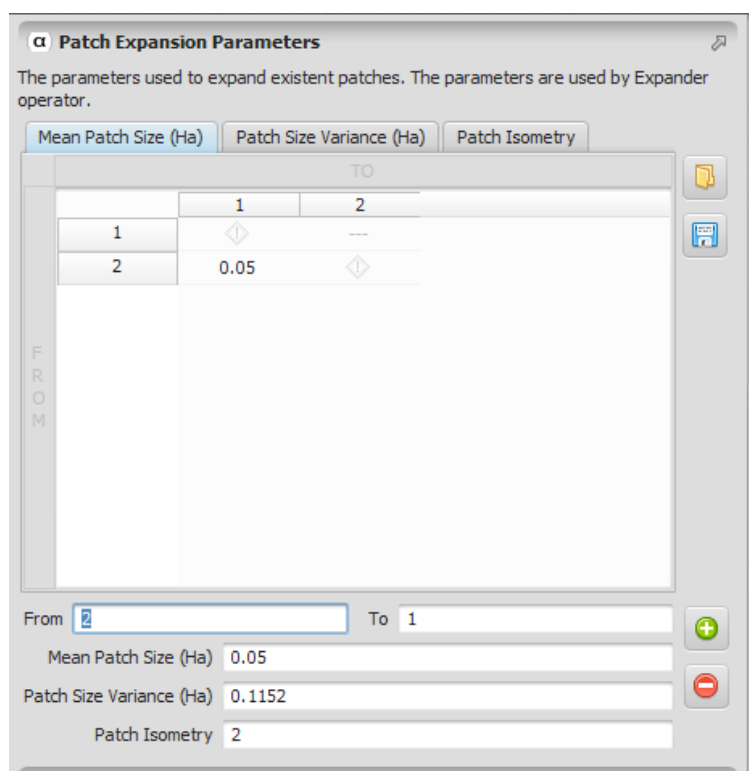
En el modelo anterior se aplicó el *funcion Patcher*, sin embargo para mejorar el modelo, es indispensable aplicar adicionalmente el *funcion Expander*, ya que con esto se logrará la expansión o contracción de parches ya existentes. Como insumos se tiene al cubo ráster, el uso de suelo inicial, los coeficientes de pesos de evidencia y la matriz de transición en pasos múltiples (Figura 28). Al igual que con el *funcion Patcher*, el *Expander* necesita ser definido mediante tres parámetros los cuales se muestran en la Figura 30 así como también su porcentaje de cambios (Figura 29), el cual ha sido atribuido con el 20%, de esta forma el 80% de cambios son para el *Patcher*, estos valores han sido tomados en base a Soares, Rodrigues & Costa (2009).



**Figura 28.** Modelo para la simulación de crecimiento urbano con parches y expansiones



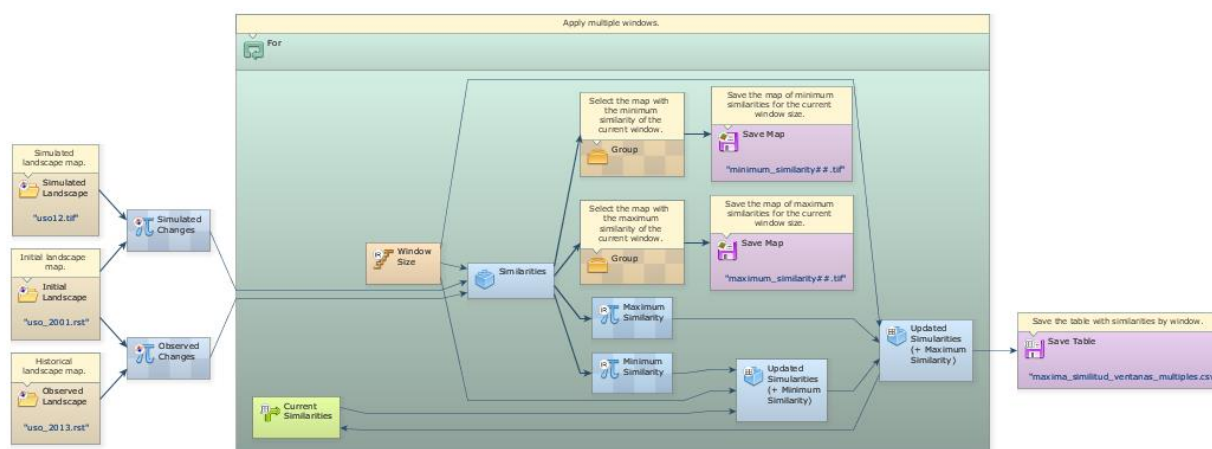
**Figura 29.** Porcentaje de cambio del functor Expander.



**Figura 30.** Parámetros del *funcion* Expander.

### 5.3.2.8. Validación del modelo de crecimiento urbano mediante ventanas múltiples

Como resultado del modelo indicado en el paso anterior se tiene el mapa de uso de suelo simulado al año 2013, en el cual existen dos clases una correspondiente a lo Urbano y la segunda a lo No Urbano. Al contar con este mapa se puede calcular su ajuste espacial con el mapa real del año 2013 a través de un análisis de similitud por ventanas múltiples, lo cual es conveniente ya que se ajusta el modelo mediante variaciones en la resolución espacial. El modelo indicado en la Figura 31 cuenta con un contenedor *For*, que va ejecutando el proceso iniciando en una ventana de 1 celda hasta 11 con un incremento de 2 (Figura 32), de esta manera se forman ventanas de 1, 3, 5 y 11 celdas. Los datos de entrada son el mapa de uso de suelo simulado el uso inicial y el uso final, de lo que se obtiene como resultado una tabla con los valores de máxima y mínima similitud entre el mapa de uso simulado y real del año 2010.



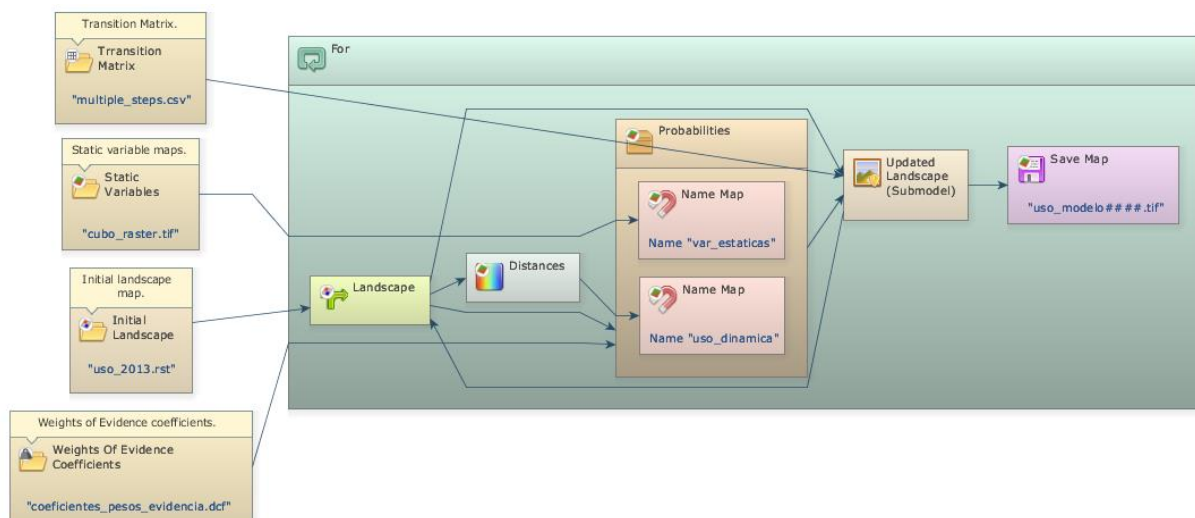
**Figura 31.** Modelo para la validación de la simulación del crecimiento urbano mediante ventanas múltiples

**Figura 32.** Parámetros del *funcion* For

### 5.3.2.9. Simulación del crecimiento urbano al año 2030

Una vez terminado con todos los pasos se procede a simular el cambio en el uso del suelo a futuro, en este caso el cambio que existirá de No Urbano a Urbano en el año 2030, los datos de entrada como se indica en la Figura 33, son el mapa de uso de suelo del 2013, el cubo ráster, la matriz de transición múltiple y los coeficientes de los pesos de evidencia, en el contenedor *For* se

debe definir el período de inicio y el final (Figura 34), teniendo así como resultados los mapas de uso de suelo simulados desde el año 2014 hasta el año 2030.



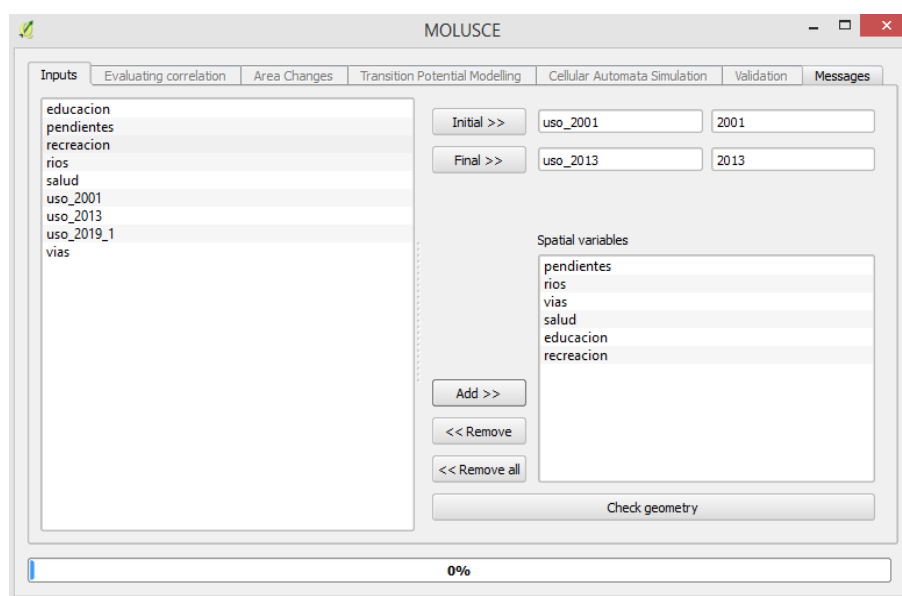
**Figura 33.** Modelo de simulación del crecimiento urbano al año 2030

**Figura 34.** Parámetros del *funcion For*

### 5.3.3. MOLUSCE

#### 5.3.3.1. Submódulo de entrada

Con el fin de comparar los dos paquetes de modelamiento, las variables empleadas para la aplicación de este método son las mismas que fueron manejadas con la herramienta DINAMICA EGO. En la Figura 35 se puede apreciar los insumos necesarios para el modelamiento: mapa de uso de suelo inicial y final y las variables que promueven el cambio, cabe recalcar que toda la información debe estar homologada (igual número de filas y columnas, mismo sistema de proyección) y en formato ráster.



*Figura 35.* Submódulo de entrada de datos.

#### 5.3.3.2. Análisis de correlación

La correlación entre variables fue analizada mediante el estadístico de Cramer, el cual determinará si son independientes entre ellas, lo cual es indispensable para continuar con la simulación. Las variables que presenten una alta correlación, es decir que son dependientes deberán



necesariamente ser eliminadas del modelo ya que pueden afectar el resultado en la simulación del crecimiento urbano.

#### **5.3.3.3. Cálculo de cambios de área y matriz de transición**

En base a los mapas inicial y final ingresados como insumo se obtiene la cuantificación del cambio en las categorías de análisis, los cuales se indican en las unidades de medida de los mapas de uso de suelo, así como también en porcentaje. Adicionalmente se genera la matriz de transición, la cual es una matriz de Markov en la que se muestran las tasas de cambio de una categoría a otra y un mapa de cambio en el período de análisis, cabe recalcar que al ser una matriz que corresponde a una cadena de Markov, según Suárez & Olaya (2018) significa que los cambios dependen del estado actual y no de los precedentes.

#### **5.3.3.4. Modelamiento del potencial de transición**

El algoritmo de aprendizaje aplicado es el de Redes Neuronales Artificiales, que cuenta con un algoritmo de aprendizaje que durante el entrenamiento analiza la precisión y finaliza cuando alcanza la mejor (ASIA AIR SURVEY; NEXTGIS, 2014), adicionalmente se escogió este ya que fue el que presentó un mejor resultado en la validación y una mayor certidumbre, en base al estudio realizado por Suárez & Olaya (2018) se fijó un vecindario de 9 pixeles, con una tasa de aprendizaje de 0,1 y un número de interacciones máximo de 1000; se estableció un valor pequeño en la tasa de aprendizaje para asegurar estabilidad a pesar de presentar más lentitud en el entrenamiento.

#### **5.3.3.5. Proyección de Crecimiento urbano**

En este punto se genera un mapa de la función experimental de certeza y otro mapa de la simulación a futuro del crecimiento urbano el cual está basado en un autómata celular de Monte Carlo, el cual es un algoritmo probabilístico (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana,

2017), se debe definir el número de iteraciones, que depende del año al que se requiera proyectar el crecimiento urbano.

### 5.3.3.6. Validación

Al obtener el mapa simulado es necesario validarlo con el mapa real para determinar la veracidad de la simulación, lo cual se comprueba con un valor Kappa (Figura 36), que indica la fuerza de concordancia obtenido de la comparación entre ambos mapas.

Valor de K	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

**Figura 36.** Rango de valores del índice Kappa.

Fuente: Adaptado de (López & Fernández, 2001)

## 5.4. Determinación de zonas de expansión urbana

Después de haber determinado el paquete de modelamiento que genere mejores resultados en cuanto a la proyección del crecimiento urbano al año 2030 de la parroquia La Victoria y las zonas de restricción para ser urbanizadas, se analiza junto con el polígono correspondiente a zona urbana vigente de la parroquia para así determinar las posibles zonas de expansión urbana.

## 5.5. Formulación de escenarios prospectivos

### 5.5.1. Identificación de variables territoriales

En la identificación de variables clave es necesario definir la influencia que existe entre ellas, es por ello que se han seleccionado aquellas variables que presenten alta influencia.

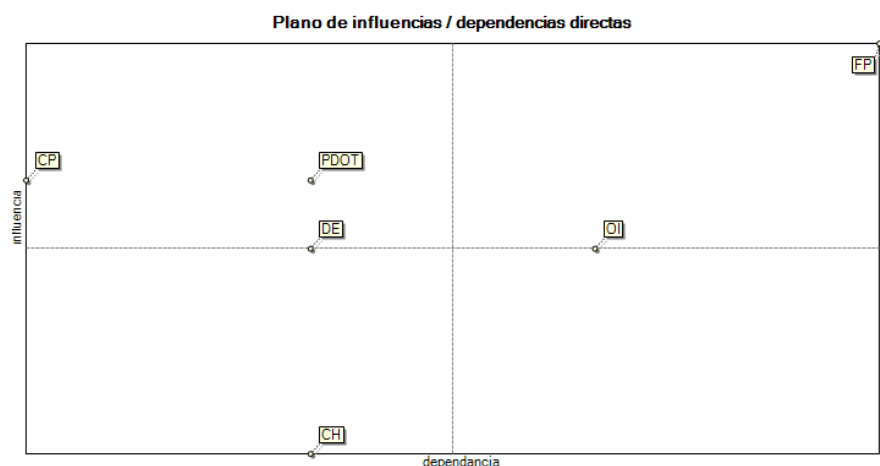
La parroquia La Victoria presenta un aumento de la población de manera exponencial, ya sea por migración o por el simple hecho de la natalidad; posee un PDOT realizado en el año 2018 donde se detallan las políticas estratégicas a implementarse así como también propuestas de solución para los principales problemas que presenta la parroquia y su financiamiento de ser el caso, para el desarrollo del cantón. Es por estas razones y adicionalmente basándose en los estudios realizados por Salas (2013) y Arellano & Castro (2019) resultaron seleccionadas las siguientes variables:

- Crecimiento poblacional
- Disponibilidad de un PDOT adecuado
- Financiamiento para nuevos proyectos
- Desarrollo económico
- Crecimiento horizontal
- Organización institucional

Mediante en software MICMAC, se analizó la relación entre las variables anteriormente descritas, con el fin de determinar si es correcto tomarlas como variables clave, para esto se definió la influencia directa que existen entre cada una de ellas (Figura 37), lo cual se obtuvo en base a criterios de expertos, de lo cual resultó el plano cartesiano influencia vs dependencia indicado en la Figura 38.

	.	1 : C	2 : P	3 : F	4 : D	5 : C	6 : O
▶	1 : CP	0	2	2	2	2	3
	2 : PDOT	2	0	3	2	3	2
	3 : FP	2	3	0	3	2	3
	4 : DE	2	2	P	0	2	2
	5 : CH	P	3	3	3	0	2
	6 : OI	2	3	3	2	2	0

**Figura 37.** Matriz de dependencia de variables.



**Figura 38.** Análisis de dependencia entre variables.

### 5.5.2. Análisis de estrategia de actores

Los actores que intervienen dentro de la determinación de escenarios tienen una relación directa con las variables claves seleccionadas de tal manera que se han definido a los actores indicados en la Tabla 29.

**Tabla 29.**

*Actores que intervienen en la formulación de escenarios*

<b>VARIABLE CLAVE</b>	<b>ACTOR</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
Crecimiento poblacional	Comunidades	El crecimiento poblacional dentro de la parroquia es exponencial
Disponibilidad de un PDOT adecuado	Personal de trabajo dentro del GAD	Los prestadores de servicios dentro del GAD se encargan de adecuar un PDOT acorde a las condiciones de la parroquia
Financiamiento para nuevos proyectos	Gubernamental	Frente a la necesidad de nueva infraestructura, existe un presupuesto destinado a éste
Desarrollo económico	Comunidades / Agricultores / Alfareros	La parroquia se caracteriza por la fabricación de cerámica y por la agricultura
Crecimiento horizontal	Comunidades/autoridades GAD	El crecimiento horizontal en la parroquia es rápido
Organización institucional	Personal de trabajo dentro del GAD	Dentro del GAD existen expertos asignados en cada área de trabajo

### 5.5.3. Diseño de escenarios

Finalmente para la formulación de escenarios se analiza de manera integrada la información obtenida en las dos primeras fases y adicionalmente apoyándose en las hipótesis planteadas en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia La Victoria (2018), se determinan los posibles escenarios optimista, pesimista y tendencial en cuanto a límites urbanos.

Para realizar el ejercicio se debe establecer eventos posibles de ocurrencia o más comúnmente llamados hipótesis para seguidamente realizar un análisis morfológico y de impactos cruzados entre ellos, cabe recalcar que ésta necesita ser analizada con la ayuda de opiniones de expertos, es así que las hipótesis y su probabilidad de ocurrencia fueron determinadas a través de encuestas realizadas a expertos con conocimiento de las tendencias que involucran la determinación de nuevas zonas urbanas en el sitio de estudio, la información recopilada se la llevó al software Smic-Prob-Expert con el fin de analizar la probabilidad de ocurrencia mediante una evaluación de impactos cruzados y un análisis morfológico es así que se ha obtenido lo siguiente:

The image shows two overlapping windows from the Smic-Prob-Expert software. The top window, titled 'Lista de hipótesis', contains a table with 6 rows of hypotheses. The bottom window, titled 'Datos brutos : probabilidades simples (Luis)', shows the same 6 hypotheses with their corresponding simple probabilities.

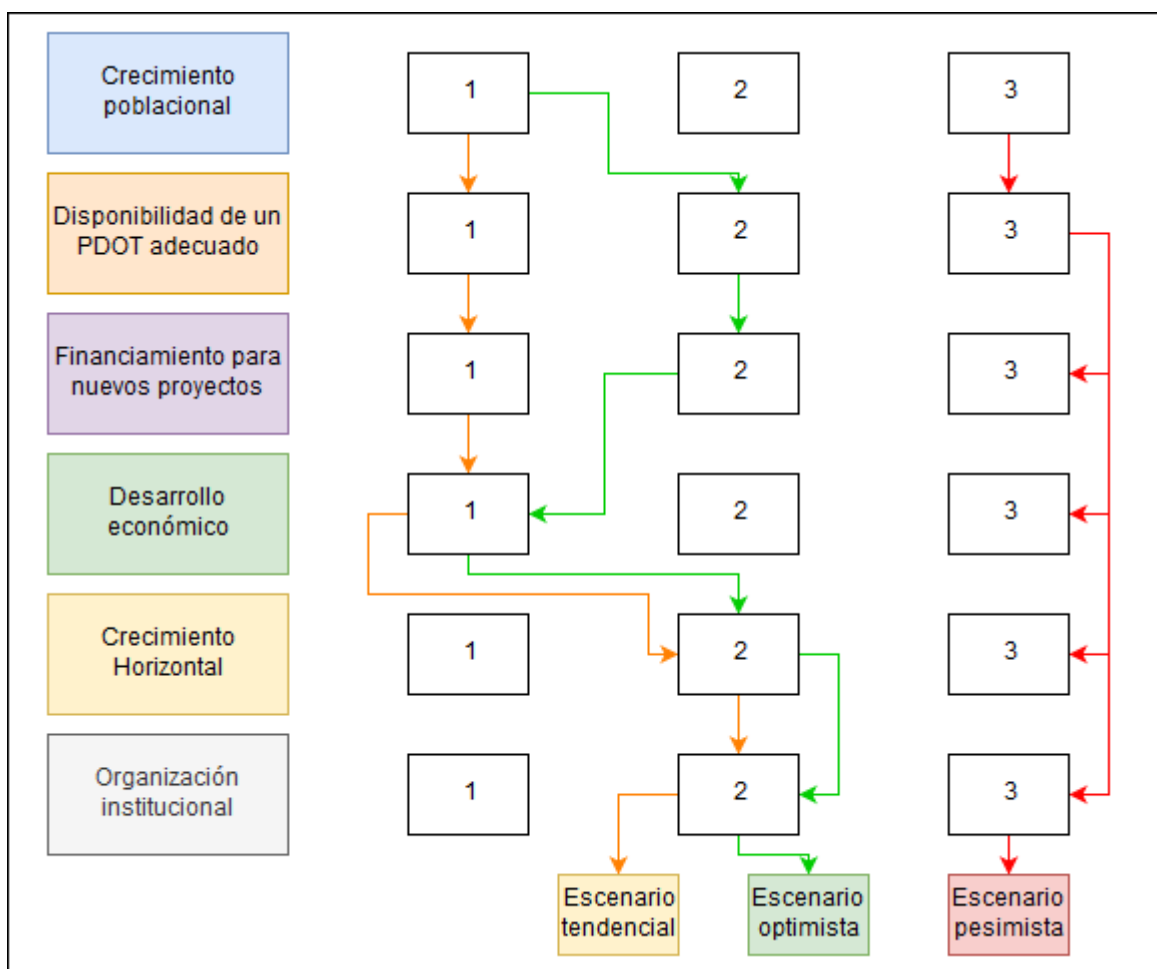
N°	Título largo	Título corto
1	Qué tan probable es que aumente descontroladamente el crecimiento poblacional	CP
2	Qué tan probable es que se disponga y se cumpla con un PDOT adecuado?	PDOT
3	Qué tan probable es que se continúe con el financiamiento para nuevos proyectos?	FP
4	Qué tan probable es que se potencie el desarrollo económico en la zona?	DE
5	Qué tan probable es que se aumente aceleradamente el crecimiento horizontal?	CH
6	Qué tan probable es que se cuente con una organización institucional competente y ordenada?	OI

Hipótesis	1 - Probabilidades
1 - CP	0.2
2 - PDOT	0.7
3 - FP	0.6
4 - DE	0.6
5 - CH	0.3
6 - OI	0.7

**Figura 39.** Análisis de dependencia entre variables.

En la Figura 39 se indican el ingreso de las probabilidades fijadas por expertos para cada una de las preguntas realizadas en la formulación de las hipótesis mediante el software Smic-Prob-Expert y en la Figura 40 se observa el análisis morfológico para así determinar las hipótesis que definirán los escenarios tendencial, optimista y pesimista.



**Figura 40.** Análisis morfológico entre variables.

En la Tabla 30 se describen las hipótesis resultantes para cada escenario.

**Tabla 30.**

*Hipótesis para la construcción de escenarios*

VARIABLE CLAVE	HIPÓTESIS 1 (TENDENCIAL)	HIPÓTESIS 2 (OPTIMISTA)	HIPÓTESIS 3 (PESIMISTA)

CONTINÚA →

Crecimiento poblacional	Tasa de crecimiento anual de 0.82%	Tasa de crecimiento anual continúe siendo de 0.82%	Aumento de la tasa de crecimiento anual
Disponibilidad de un PDOT adecuado	Cumplimiento de lo acordado en el PDOT	Mejoramiento del PDOT instaurado	Incumplimiento de lo acordado en el PDOT
Financiamiento para nuevos proyectos	El financiamiento se mantendrá para proyectos propuestos	Se buscará nuevas fuentes de financiamiento	El presupuesto destinado a nuevos proyectos se eliminará
Desarrollo económico	Las zonas de producción (forestal o agrícola), seguirá abarcando gran parte de la parroquia y los sitios dedicados a la alfarería se mantendrán en funcionamiento	Las zonas de producción continúan siendo mayoría en la parroquia y la producción alfarera continúa	Las zonas de producción serán minoría respecto al área total de la parroquia y desaparecen los sitios dedicados a la alfarería
Crecimiento horizontal	El crecimiento urbano horizontal al 2030 será a razón de 21 ha/año y será de acuerdo al uso urbano vigente	El crecimiento urbano continuará aumentando a razón de 21 ha/año y será de acuerdo al uso urbano con criterios de sostenibilidad y leyes vigentes	El crecimiento urbano será del doble, es decir de cerca de 42 ha/año sin acatar ningún tipo de planificación para uso urbano
Organización institucional	Seguirá siendo igual a la actual, con profesionales adecuados asignados a cada una de las áreas	Continuará con profesionales adecuados asignados a cada una de las áreas	Se asignarán profesionales que no sean acordes a cada una de las áreas.

Como se puede notar en la Tabla 30, las hipótesis planteadas para los escenarios tendencial y optimista tienden a ser los mismos debido a que las circunstancias en el desarrollo de la parroquia La Victoria hasta la actualidad son las deseables para la delimitación de sitios para expansión urbana además de un desarrollo adecuado y éstas son las que tienden a continuar durante el período de tiempo analizado.

## CAPÍTULO 6

### 6. RESULTADOS

#### 6.1. Evaluación Multicriterio

##### 6.1.1. Asignación de pesos

En la Tabla 31 presentada a continuación se puede apreciar los pesos obtenidos mediante evaluación multicriterio a través del método AHP propuesto por Saaty usando el software ILWIS. Como se puede observar la mayor ponderación en cuanto a cada uno de los componentes es para el biofísico ya que éste incluye la mayor cantidad de variables explicativas y de cierta forma de mayor importancia ya que se incluye las variables concernientes a riesgos, las cuales de la misma forma tienen mayor peso dentro de este componente.

El componente de movilidad energía y conectividad es el siguiente en mayor ponderación, ya que dentro de este se encuentran las redes de agua, alcantarillado y luz eléctrica que de igual forma obtuvieron una mayor ponderación dentro de este componente, por consiguiente se tiene al componente asentamientos humanos donde se consideran a los centros educativos y de salud que son indispensables dentro de la delimitación de nuevas zonas de crecimiento urbano por lo que presentaron una mayor ponderación frente a los centros de recreación. Por último se tuvieron a los componentes económico y sociocultural que dentro del contexto de la determinación de nuevas zonas de expansión urbana obtuvieron las menores ponderaciones.

**Tabla 31.**

*Pesos por componente y variable*

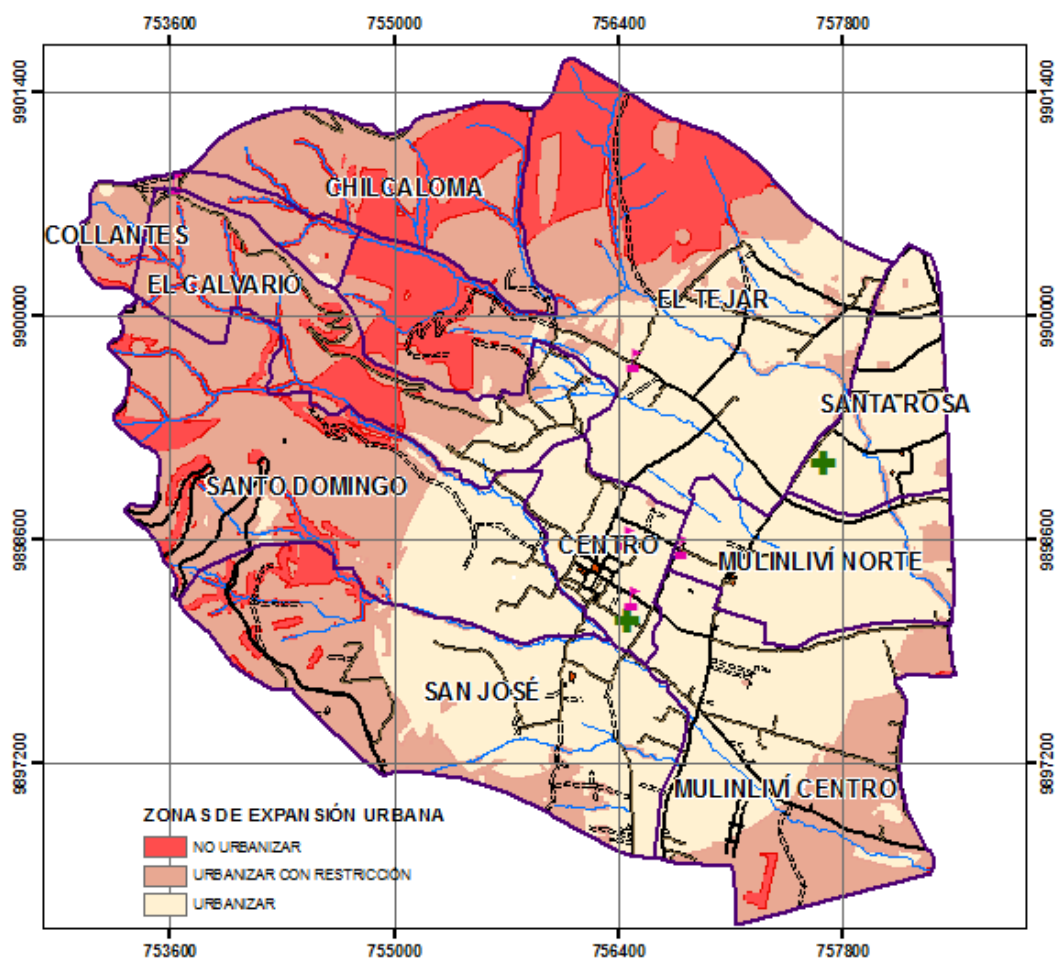
COMPONENTE	VARIABLE	PESO (VARIABLE)	PESO (COMPONENTE)
	Pendiente	0,26	
	Inundaciones	0,07	
	Movimientos en masa	0,13	0,45

CONTINÚA



BIOFÍSICO	Riesgos	Intensidad Sísmica	0,18	
		Caída de Cenizas	0,05	
		Peligro Volcánico	0,08	
		Uso y ocupación del suelo	0,02	
		Red hidrográfica	0,09	
		Área verde por habitante	0,05	
		Proximidad a centros de recreación	0,02	
		Tipo de suelo	0,04	
	ECONÓMICO	Infraestructura	Proximidad a infraestructura de riego	0,55
Proximidad a infraestructura de producción			0,25	0,09
		Aptitud del suelo	0,20	
SOCIOCULTURAL		Tradiciones	0,15	
	Crecimiento poblacional	Cantidad de habitantes	0,06	
		Cantidad de habitantes por ha de Zona Urbana	0,27	0,04
MOVILIDAD, ENERGÍA Y CONECTIVIDAD	Redes de servicios básicos	Agua Potable y Alcantarillado	0,52	
		Luz Eléctrica	0,27	
	Centros urbanos	Proximidad a zonas urbanas existentes	0,06	0,26
	Vías	Proximidad a vías	0,15	
ASENTAMIENTOS HUMANOS	Equipamientos	Proximidad a Centros Educativos	0,33	
		Proximidad a Centros de Salud	0,67	0,16

### 6.1.2. Zonas óptimas de expansión urbana



**Figura 41.** Zonas de expansión urbana obtenidas a través de evaluación multicriterio

En la Figura 41 se puede identificar las zonas de expansión urbana de la parroquia La Victoria mediante la aplicación de Evaluación Multicriterio, las zonas de tonalidad roja representan aquellas que no pueden ser urbanizadas como es el caso de las partes altas de las comunidades El Tejar, Chilcaloma, Collantes, El Calvario, Santo Domingo y San José. Las zonas de tonalidad rosa corresponden a aquellas que pueden ser urbanizadas pero con restricciones, ya que las condiciones ya sean geográficas, de riesgo o de dotación de equipamientos no son suficientes para una urbanización sin problemas o comprenden sitios que son de interés para el desarrollo sostenible de

la parroquia, como es el caso las áreas representadas en tono claro ubicadas principalmente en las comunidades de Santa Rosa, Mulinliví Norte y Centro, San José y el barrio Centro.

## 6.2. Simulación del Crecimiento Urbano

### 6.2.1. DINAMICA EGO

A continuación se presentan los resultados más relevantes obtenidos tras la simulación del crecimiento urbano:

La transición que existe de no urbano a urbano es del 6,6% (Tabla 33) con un cambio anual del 0,58% (Tabla 32).

**Tabla 32.**

*Proporción de cambio - Matriz de transición múltiple*

De	A	Proporción de cambio
No urbano	Urbano	0,0058

**Tabla 33.**

*Proporción de cambio - Matriz de transición simple*

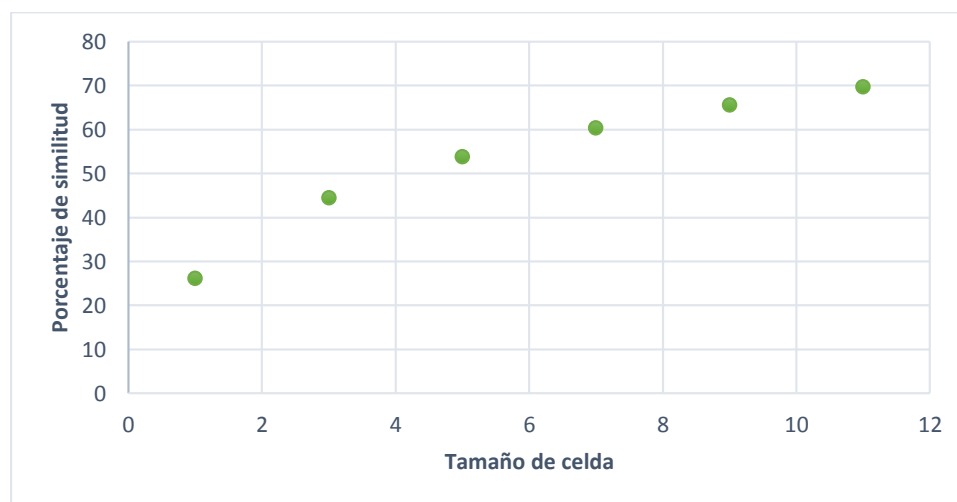
De	A	Proporción de cambio
No urbano	Urbano	0,066

Al analizar la correlación entre mapas se obtuvo varios estadísticos para verificar la independencia entre variables, entre estos están la prueba Chi<sup>2</sup>, contingencia, estadístico de Cramer, y los test de información conjunta de entropía e incertidumbre (Figura 42). Como se puede apreciar ninguno de los valores entre las variables relacionadas son extremadamente altos; de acuerdo con Espinosa (2016) citado en Arellano & Castro (2019), con valores menores a 0,5 se asume que no existe correlación entre variables, por lo que no es necesario excluir a ninguna de éstas dentro de la simulación.

First_Variable*	Second_Variable*	Chi_2 ▼	Cramer	Contingency	Joint_Entropy	Joint_Uncertainty
uso_dinamica/distancia_to_1	var_estaticas/distancia_salud	74327.2541720845	0.218116067240949	0.586122392993886	2.27164456137629	0.198521417214185
var_estaticas/distancia_salud	var_estaticas/pendiente	70397.6637754476	0.352165832773993	0.575836720769323	2.51602297492289	0.199436240508518
uso_dinamica/distancia_to_1	var_estaticas/distancia_educacion	51504.1379921864	0.227605104592233	0.515872372908673	1.72317385555095	0.158969833774626
var_estaticas/distancia_recreacion	var_estaticas/distancia_salud	40994.1712803623	0.379888384132679	0.473267662699056	1.74959305398625	0.121170816085254
var_estaticas/distancia_educacion	var_estaticas/distancia_salud	33451.1580717991	0.183428373562648	0.436606636580019	1.93424687916383	0.110898654335401
var_estaticas/distancia_recreacion	var_estaticas/pendiente	16308.1102814105	0.239709315930461	0.321053819276649	1.89656506716423	0.0642143601846136
uso_dinamica/distancia_to_1	var_estaticas/pendiente	15311.1404196468	0.164237325652684	0.312070302670449	2.5594085401499	0.0445102954944021
var_estaticas/distancia_educacion	var_estaticas/distancia_recreacion	12642.112441275	0.210962266639721	0.285893193501556	1.17668393585298	0.0589470999402343
var_estaticas/distancia_educacion	var_estaticas/pendiente	7783.89617065518	0.117102620033605	0.228034639283075	2.12087693360374	0.021952894792827
var_estaticas/distancia_rios	var_estaticas/pendiente	6579.50433038637	0.124318010607808	0.210500483130453	2.26368574801429	0.0198361199434267
var_estaticas/distancia_rios	var_estaticas/distancia_salud	5261.42812571083	0.111122281661408	0.189000557178992	2.17096609590618	0.016421950879684
uso_dinamica/distancia_to_1	var_estaticas/distancia_recreacion	3205.27976463559	0.106225291010719	0.148558295583372	1.66854807524682	0.0214066415229443
var_estaticas/distancia_educacion	var_estaticas/distancia_rios	1592.57741886336	0.0611363639726526	0.105302557400389	1.53304621865739	0.00764470807295445
var_estaticas/distancia_recreacion	var_estaticas/distancia_rios	1514.35159524401	0.0730143659746628	0.102711791854284	1.34856812796212	0.00737864027011696
uso_dinamica/distancia_to_1	var_estaticas/distancia_rios	1363.51573917003	0.05656911791489	0.0975136294664716	2.00844429786938	0.00463595522076379

**Figura 42.** Coeficientes obtenidos de la correlación entre mapas

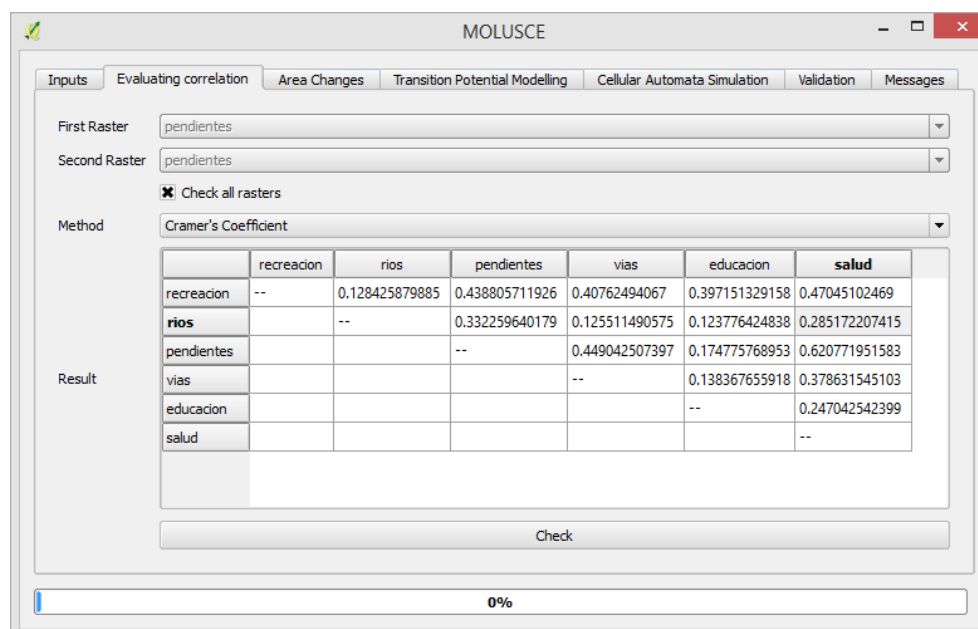
Como resultado de la validación del modelo simulado al año 2013 con el mapa real mediante ventanas múltiples, se puede aceptar el modelo obtenido ya que se obtuvo una similitud mayor al 50%, valor que según Espinoza (2016) aprueba aceptar la simulación resultante. En la Figura 43 se puede observar que a partir de una ventana de 5 celdas el porcentaje de similitud es mayor al 50% y a 11 celdas es del 70%.



**Figura 43.** Porcentaje de similitud obtenido de la correlación entre mapas

## 6.2.2. MOLUSCE

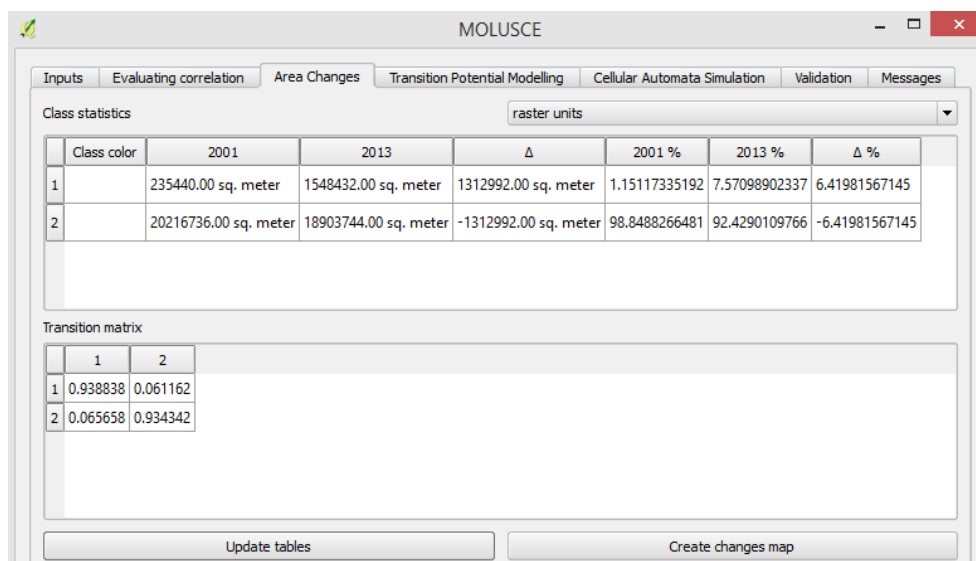
Como se muestra en la Figura 44, los valores del estadístico de Cramer obtenidos son menores a 0,5, lo que según Espinoza (2016) indica que las variables son independientes entre ellas, por lo que se pueden conservar todas dentro del modelo.



**Figura 44.** Submódulo de análisis de correlación de variables

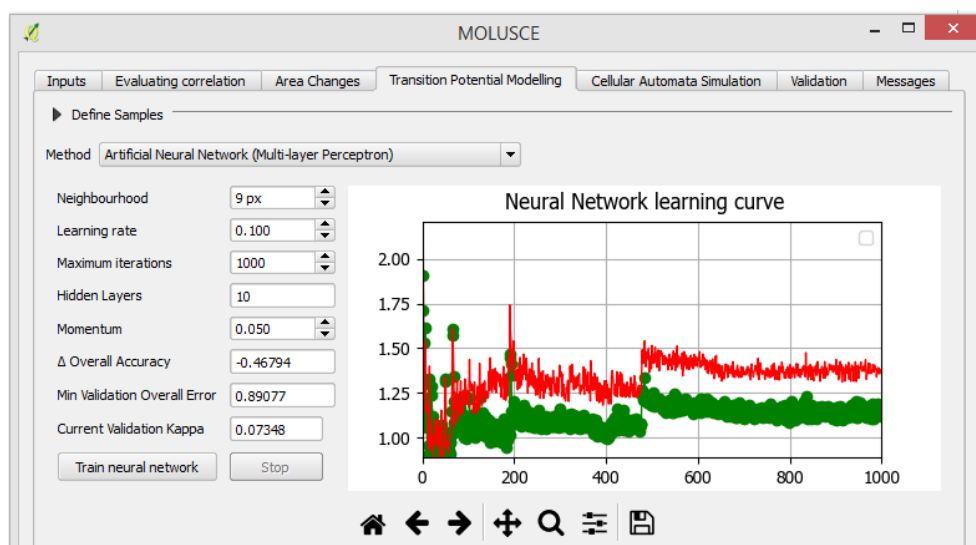
En cuanto a los resultados obtenidos del cambio en las áreas (Figura 45), podemos visualizar la cantidad en metros cuadrados de territorio que ha cambiado así como también el porcentaje de cambio, el cual presenta un aumento del 6,41% para el caso de la zona urbana, mismo porcentaje que representa una disminución en la zona no urbana durante los años 2001 y 2013.

La matriz de transición muestra que entre los años 2001 y 2013 la tasa neta de cambio de las zonas no urbanas a urbanas es de aproximadamente 6,6% y de zonas urbanas a no urbanas es del 6,1%.



**Figura 45.** Submódulo de cuantificación del cambio de áreas.

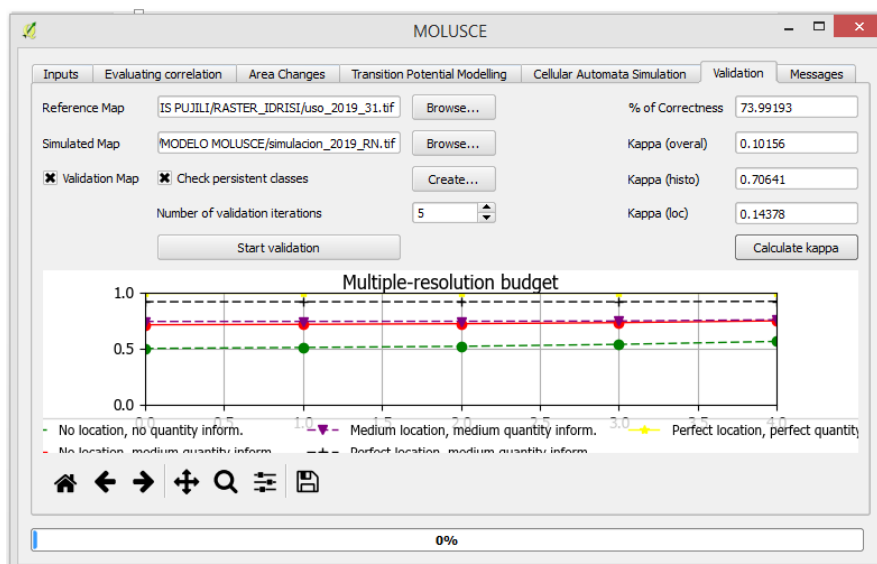
Al aplicar el método de redes neuronales para el modelamiento del potencial de transición se obtuvo la gráfica de curva de aprendizaje de red neuronal indicada en la Figura 46, la cual no presenta picos, es decir que el proceso de aprendizaje es estable.



**Figura 46.** Submódulo de modelamiento del potencial de transición

Se realizó la proyección del crecimiento urbano al año 2019 con el fin de poder validar este resultado con el mapa real de este mismo año, de lo cual se obtuvo un valor Kappa de 0,7 (Figura

47), el cual según López & Fernández citados en Ortega (2018) significa una fuerza de concordancia buena del modelo simulado.

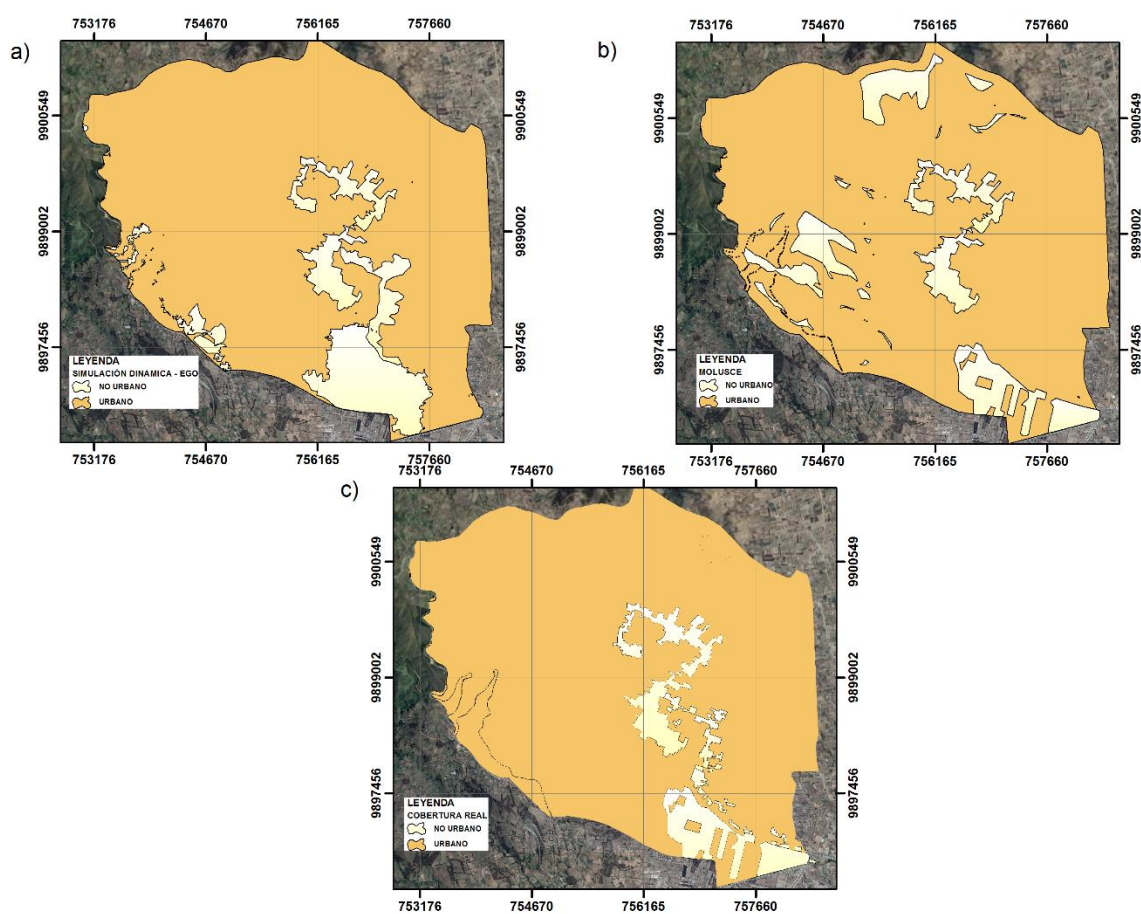


*Figura 47.* Submódulo de validación.

### 6.2.3. Comparación de modelos de simulación del crecimiento urbano

Los valores obtenidos del estadístico de Cramer y del índice Kappa en la aplicación de los paquetes de simulación DINAMICA EGO y MOLUSCE respectivamente, indican que los modelos obtenidos son bastante buenos, sin embargo al realizar una comparación (Figura 48) entre ambos con el mapa real, en este caso del 2019, se puede notar que el modelo obtenido con DINAMICA EGO se acerca más a la realidad que el obtenido con el software MOLUSCE, ya que visualmente aquellas áreas correspondientes a la categoría de zonas urbanas son mayormente cubiertas y son pocas las zonas generadas de esta misma categoría que no existen en la realidad, mientras que con MOLUSCE éstas manchas urbanas generadas son varias y abarca menor cantidad de las zonas urbanas existentes en la realidad. Es por ello que se ha elegido al software DINAMICA EGO para realizar la proyección del crecimiento urbano de la parroquia La Victoria al año 2030.

Adicionalmente bajo las prueba de similitud mediante ventanas múltiples realizado con DINÁMICA EGO, que presentó un valor del 70% lo cual indica que el modelo simulado es bastante aceptable de acuerdo con la dinámica del territorio presentada para el caso particular de la parroquia La Victoria. Es así que el resultado puede tomarse como el indicado para proyectar ahora el crecimiento urbano a 2030, y de esta manera obtener el modelo de simulación más cercano a la realidad de lo que acontecerá en los próximos 11 años en la parroquia La Victoria.

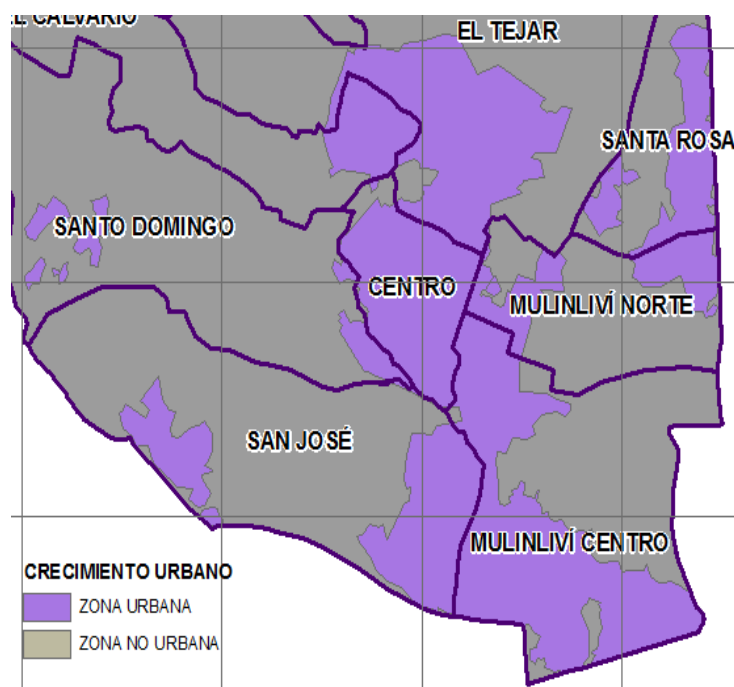


**Figura 48.** Comparación de modelos de simulación obtenidos con el mapa real (2019).  
a) DINAMICA EGO b) MOLUSCE c) Mapa real



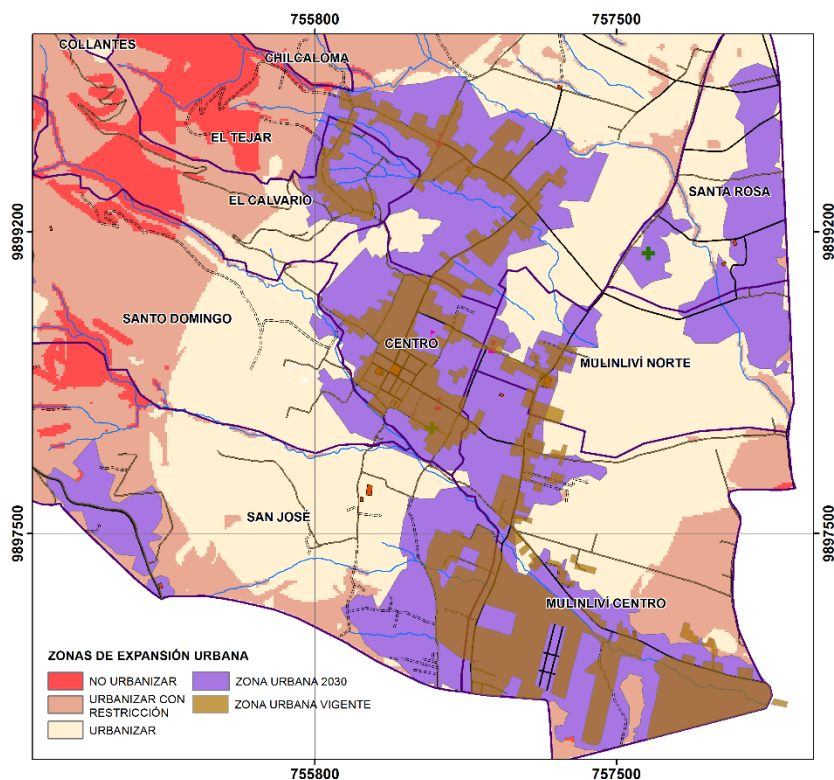
#### 6.2.4. Simulación del crecimiento urbano al año 2030

En la Figura 49 se puede observar el modelo de crecimiento urbano obtenido mediante la aplicación de autómatas celulares con el Software DINÁMICA EGO. Dentro de éste se establecieron aquellas zonas que no presentan aptitud a ser urbanizadas obtenidas de la evaluación multicriterio ya que sobre éstas no se puede dar el crecimiento, de manera que se obtuvo como resultado el crecimiento urbano proyectado a 2030 exceptuando sitios de restricción. Como se puede apreciar la mancha urbana va creciendo hacia las periferias del barrio Centro cubriéndolo casi en su totalidad, así como también ocupando zonas de comunidades como El Tejar, Santa Rosa Mulinlivi Centro y Norte. Por otra parte comparando el área de la zona urbana obtenidas en los años (2001, 2013,2019) con la resultante de la proyección al 2030 se tiene que la zona urbana crecerá a razón de aproximadamente 21 ha/año.



**Figura 49.** Crecimiento urbano de la parroquia La Victoria

### 6.3. Determinación de Zonas de Expansión Urbana

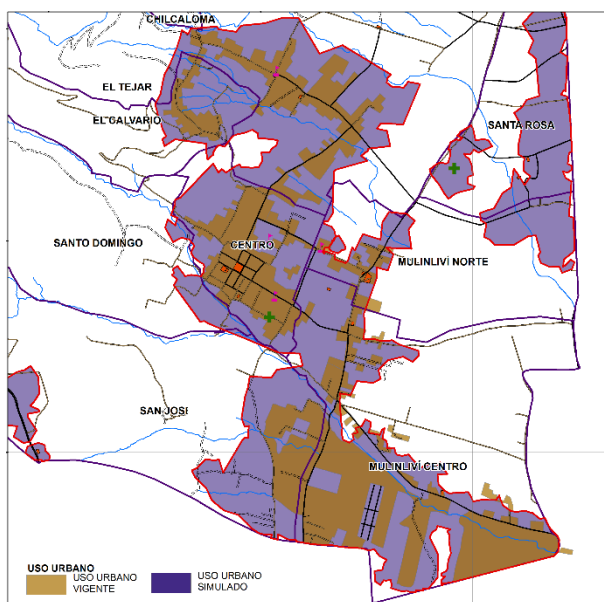


**Figura 50.** Zonas de expansión urbana y uso urbano vigente de la parroquia La Victoria.

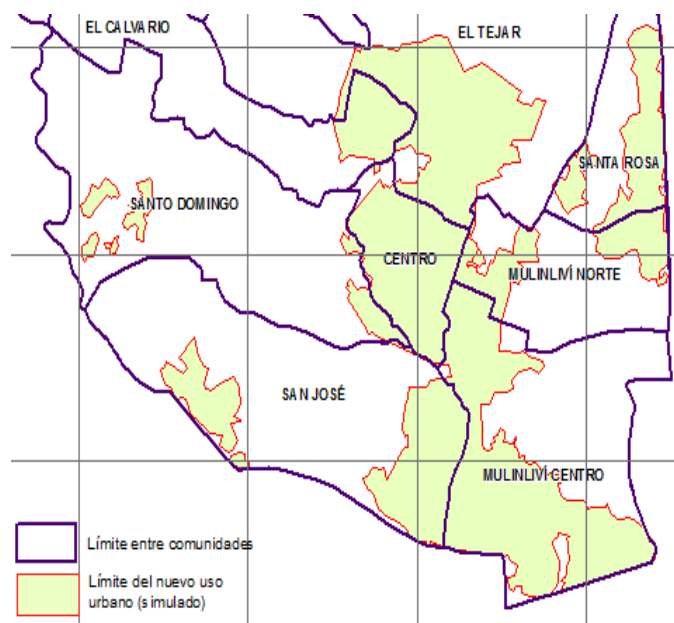
Tomando en cuenta el crecimiento urbano proyectado para el año 2030, se obtiene el mapa (Figura 50), donde se puede apreciar las zonas de expansión urbana aptas en tonalidad naranja claro, las zonas aptas para urbanizar pero con restricción en tonalidad naranja fuerte y las zonas no aptas de tonalidad roja. Es importante indicar que dentro de los próximos 11 años el crecimiento urbano se dará mayormente en aquellas áreas aptas para urbanización, sin embargo el uso urbano vigente (tonalidad café), está en ciertas zonas donde la urbanización es restringida. Por otro lado las zonas a descartar del uso urbano vigente se encuentran en El Tejar, Santo Domingo, Santa Rosa, San José, Mulinliví Norte y Centro.

En la Figura 51, que representa aquellas posibles zonas de expansión urbana tomando en cuenta criterios de sostenibilidad e indicadores dentro de las normas legales vigentes.

En la Figura 52 podemos observar el uso urbano óptimo propuesto, el cual ha sido obtenido como resultado de esta investigación.



**Figura 51.** Zonas de expansión urbana y uso urbano vigente de la parroquia La Victoria.



**Figura 52.** Mapa de uso urbano óptimo en la parroquia La Victoria

## **6.4. Formulación de escenarios prospectivos**

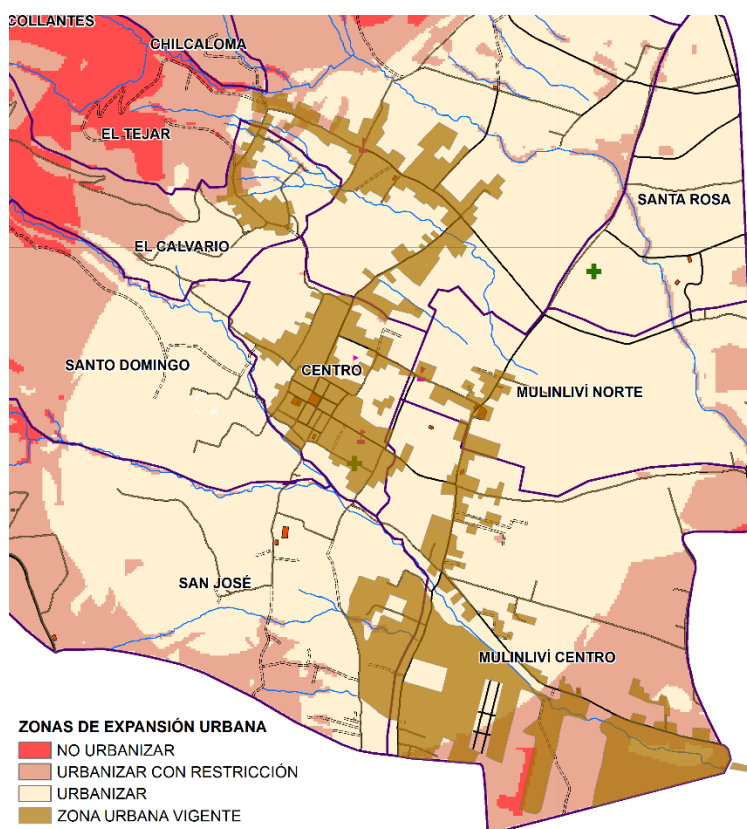
### **6.4.1. Escenario Tendencial**

Partiendo de los supuestos planteados en cuanto a crecimiento poblacional, disponibilidad de un PDOT adecuado, financiamiento para nuevos proyectos, desarrollo económico, crecimiento horizontal y organización institucional, se ha establecido el siguiente escenario:

El crecimiento poblacional continúa aumentando con una tasa de crecimiento anual de 0,82%, valor que no representa un crecimiento desmesurado con el paso del tiempo; como consecuencia del aumento demográfico, el crecimiento horizontal incrementa de la misma manera, es así que los habitantes continúan concentrándose mayormente en los centros urbanos ya existentes, sin embargo seguirá un patrón basado en el uso urbano vigente. En su gran mayoría estos asentamientos se darán en zonas aptas para urbanizar, pero igualmente se dará en ciertos lugares donde la urbanización es no apta o apta, pero con restricciones (Figura 53).

Bajo el supuesto que la situación dentro de la gestión y organización institucional se mantiene en cuanto a la asignación del personal capacitado a cada una de las áreas de los departamentos de planificación y catastro dentro del GAD así como también a la administración gubernamental local, en este caso el alcalde y el presidente de la junta parroquial, se espera la actualización adecuada del PDOT y su cumplimiento.

Lo anteriormente descrito va de manera conjunta con la búsqueda de financiamiento destinado para nuevos proyectos, lo cual tiende a mantenerse, de tal manera que se logrará cumplir con los objetivos en cuanto a la ejecución de proyectos para la parroquia descritos dentro del PDOT.



*Figura 53.* Escenario tendencial (2030) de uso urbano en la parroquia La Victoria

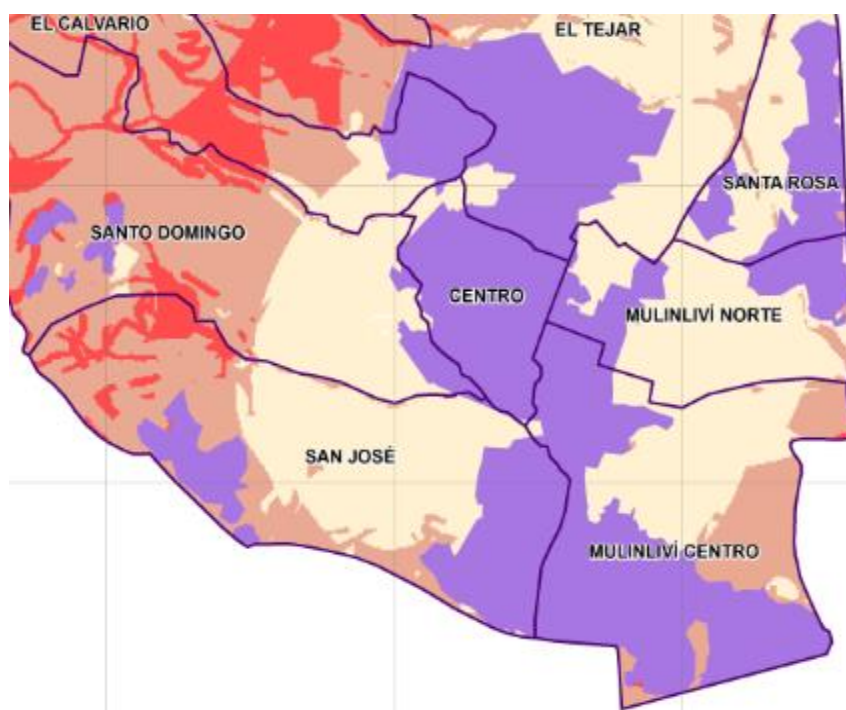
#### 6.4.2. Escenario Optimista

Partiendo de los supuestos planteados en cuanto a crecimiento poblacional, disponibilidad de un PDOT adecuado, financiamiento para nuevos proyectos, desarrollo económico, crecimiento horizontal y organización institucional, se ha establecido el siguiente escenario:

El crecimiento poblacional continúa aumentando con una tasa de crecimiento anual de 0,82%, valor que no representa un crecimiento desmesurado con el paso del tiempo; como consecuencia del aumento demográfico, el crecimiento horizontal incrementa de la misma manera, es así que los habitantes continúan concentrándose mayormente en los centros poblados ya existentes siguiendo el patrón de crecimiento presentado en años anteriores y a su vez en zonas donde las condiciones sean las de una ciudad o comunidad sostenible y alineadas a las leyes vigentes (Figura 54) por

ejemplo, que estén cercanas a servicios de salud, educación, recreación y de dotación de servicios básicos, que posean áreas verdes, igualdad urbana, economía competitiva, etc.

Bajo el supuesto de la correcta estructura organizacional dentro del GAD así como también a la administración gubernamental local, se espera la actualización del PDOT y su cumplimiento, con esto se prevé que a través de una estructura organizativa eficiente para procesos y toma de decisiones, se continúe con la gestión adecuada del territorio en el sentido de ejercer el control adecuado para no autorizar nuevos asentamientos en aquellos sitios de riesgo, de conservación del patrimonio cultural o de interés para producción, como agricultura o aprovechamiento forestal, ya sea por la aptitud del suelo o por circunstancias que permitan el desarrollo sostenible del territorio de la parroquia, lo que a su vez conlleva que se mantenga el desarrollo económico, ambiental y social para el sitio.



**Figura 54.** Escenario optimista de uso urbano en la parroquia La Victoria

En caso de que autoridades dentro de la administración local busquen establecer nuevas alianzas estratégicas a través de la incorporación de nuevos actores que representen fuentes de financiamiento para aumentar el presupuesto económico destinado a la ejecución de proyectos en la parroquia, ya sea de dotación de servicios o infraestructura, con esto, se logrará un mayor desarrollo económico, social y ambiental de manera conjunta entre autoridades y comunidades.

### **6.4.3. Escenario Pesimista**

Considerando las hipótesis planteadas para el escenario pesimista se describe el siguiente escenario:

El aumento poblacional presenta un notable incremento, ya sea por natalidad o por factores como la migración de personas hacia la parroquia, lo que desencadena que el crecimiento horizontal sea de manera desordenada, de forma que la mancha urbana no siga el patrón presentado en años anteriores.

La organización institucional se presenta de una manera deficiente, no existe el personal capacitado para cubrir las áreas de planificación y catastro, y a su vez existe despreocupación por parte del presidente de la junta parroquial así como del alcalde a cargo, lo cual provoca un incumplimiento de lo predispuesto en el PDOT, o el cumplimiento de éste pero con estrategias mal planteadas dentro del mismo, ocasionando así la una mala regulación en el uso de tierras, la autorización de nuevas zonas de expansión urbana en sitios de riesgo y de interés económico para la parroquia (zonas de aprovechamiento agrícola, forestal y de conservación natural y patrimonial), afectando de ésta forma no solo al desarrollo económico de la zona, sino también al ambiental y social.

Debido a las deficiencias en la gestión de actores gubernamentales, las alianzas estratégicas son pocas, por lo que al no existir recursos económicos suficientes, los proyectos a ejecutarse no se llevan a cabo, generando el descontento en las comunidades con la administración local. Prácticamente no existe un desarrollo sustentable ni se cuenta con las condiciones mínimas para asegurar una calidad de vida digna para los habitantes de la parroquia.



## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

Con el aumento de la población, la necesidad de territorio para expansión va en aumento, es así que en la búsqueda de espacios para albergar a la población la tendencia es ubicarlos en zonas rurales, sin embargo para autorizar estos nuevos sitios para expansión urbana no se consideran aspectos importantes como la dotación de servicios, riesgos y criterios para el desarrollo sostenible. El diseño de la metodología para el diseño de zonas de expansión urbana con criterios de sostenibilidad propuesta en el presente estudio constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del territorio.

La metodología para la delimitación de zonas de expansión urbana propuesta, comprende una selección de variables e indicadores acorde a los objetivos y metas propuestos para el logro de los ODS 2030, específicamente con el tema de ciudades y comunidades sostenibles; adicionalmente variables mínimas de acuerdo con las leyes vigentes relacionadas con el ordenamiento territorial, que son analizadas mediante evaluación multicriterio para determinar las zonas con aptitud para uso urbano, contrastando con la simulación del crecimiento urbano a futuro.

Las zonas apropiadas para expansión urbana están comprendidas principalmente por aquellas que no presenten ningún tipo de riesgo, que cuenten con los equipamientos y servicios básicos necesarios, además de infraestructura de salud y educación; en este sentido se considera que el riesgo es el factor más importante que condiciona en gran magnitud la disponibilidad de suelo para expansión, ya que frente a cualquier tipo de circunstancia las zonas con mayor riesgo no son aptas para urbanizar, mientras que otros factores como equipamientos o dotación de servicios pueden

convertir a zonas no aptas en aptas para urbanización al proveer de estos servicios al sitio, la única limitante sería la disponibilidad de recursos económicos, lo cual puede ser solucionado mediante la gestión de las autoridades de la administración local.

El patrón de crecimiento urbano actual tiende a presentarse hacia el territorio rural, donde existe una gran diversidad de factores a ser tomados en cuenta para la no afectación a sitios de valor agrícola, aprovechamiento forestal y principalmente al patrimonio cultural, es así que los métodos de evaluación multicriterio en conjunto con los SIG constituyen una herramienta apropiada para determinar los sitios con aptitud para expansión urbana integrando todos los aspectos y variables necesarias.

La presente investigación sirve como herramienta para la gestión territorial sostenible, ya que mediante ésta se puede prever medidas a adoptar dentro del territorio conociendo los escenarios más probables a acontecer.

DINÁMICA EGO y MOLUSCE, siendo ambos métodos basados en autómatas celulares, el primero presentó mejores resultados frente al segundo, además de su flexibilidad y posibilidad de adecuación con otras herramientas, sin embargo es importante señalar que la aplicación de cualquier método dependerá de las necesidades, condiciones y dinámica del territorio.

El modelo obtenido con DINÁMICA EGO a pesar de haber sido analizado con una cantidad mínima de 6 variables presentó un ajuste con el modelo real bastante bueno, por lo que puede inferir que no es importante realizar la simulación con una gran cantidad de variables, más bien es indispensable incluir aquellas que describan de mejor manera la dinámica del territorio.

La implementación de la metodología propuesta en la parroquia La Victoria del cantón Pujilí, permitió verificar la validez del método y a su vez comprobar su aplicabilidad a pequeña escala (ciudad pequeña), es así que se puede emplear en cualquier otra ciudad a ser objeto de estudio. Cabe recalcar que se ejecutó la metodología únicamente con los insumos cartográficos existentes en la parroquia en mención.

El crecimiento urbano hasta el 2030 en la parroquia La Victoria se dará dentro de aquellas zonas aptas para crecimiento urbano sin embargo queda la incertidumbre de que sucederá en los siguientes años ya que con el patrón de crecimiento que presenta la mancha urbana lo más probable es que en años posteriores se den asentamientos en aquellas zonas no urbanizables o con restricción.

## **7.2. Recomendaciones**

Se recomienda que se implemente la metodología propuesta con una mayor cantidad de variables e indicadores cartográficos y en lo posible se trate de generarlas especialmente mediante encuestas y entrevistas a la población, ya que lo que se busca es el resultado más orientado a la realidad, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos representan probablemente una de las herramientas clave para la definición de suelo apropiado para expansión urbana.

Se recomienda que las autoridades pertinentes implementen políticas en la ordenanza de uso y gestión del suelo de la parroquia que orienten un desarrollo sostenible equilibrado dentro de los componentes social, económico y ambiental; también que se establezcan radios de influencia de zonas de salud, educación, recreación y aspectos para el desarrollo sostenible como lo es el área verde destinada a cada individuo, la capacidad máxima de habitantes por área, etc.

Se recomienda que dentro del GAD se maneje una base de datos con información geoespacial histórica y de ser posible que se implemente un geoportal para que ésta geoinformación pueda ser de libre acceso, ya que puede ser de mucha ayuda para el desarrollo no solo de estudios dentro de la gestión del territorio sino de muchas investigaciones más a favor de la parroquia y del cantón en general.

Las autoridades de la parroquia y del cantón deben tener en cuenta el patrón de crecimiento presentado como resultado de esta investigación para tomar medidas en la aprobación de nuevas zonas de asentamientos posteriores al 2030 y principalmente para elaborar una planificación anticipada en la gestión del territorio.

Adicionalmente a la propuesta metodológica presente, se recomienda contar con un Plan de Uso y Ocupación del suelo, para que de manera conjunta se fomente un modelo de ciudad sostenible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. Sangolquí, Ecuador.
- ASIA AIR SURVEY; NEXTGIS. (2014). Molusce. Modules for Land Use Change Evaluation.
- Asociación Amazónicas por la Amazonía (AMPA). (2010). Serie Manuales (N°8): Ordenamiento Territorial y Cambio Climático. Metodología para incorporar Cambio Climático y Gestión del Riesgo de Desastres en procesos de OT. Recuperado el Abril de 2019, de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/Manual\\_8-OTyCC.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/Manual_8-OTyCC.pdf)
- Banco Interamericano de desarrollo (BID). (2016). Guía metodológica del Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles: tercera edición. Tiempo Casa Editorial.
- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Revista Espacio Abierto*, 19(3), 475-503.
- Bedoya, D., Benavides, J., Caguana, E., Campaña, P., Flores, V., Llumiyinga, J., . . . Serrano, D. (2015). Diagnóstico Urbano de Pujilí.
- Cadena, M., & Rivera, M. (2014). Propuesta del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.
- CEPAL. (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe.
- Cheng, D. (2000). The Science of Smart Growth. *SCIENTIFIC AMERICAN*(283), 84-91.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (2017). Quito - Ecuador. Obtenido de <http://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/COOTAD.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Quito - Ecuador. Obtenido de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37), 39-67.
- De la Rosa, D. (1982). Rasgos metodológicos de un sistema de evaluación de tierras para regiones mediterráneas. *Sociedad Española de Ciencias del Suelo*.
- Díaz, J., & Hewitt, R. (2013). Modelado de cambios de usos de suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. Comparación con aplicaciones de software. *GeoFocus*(14), 1-22. Obtenido de [http://geofocus.rediris.es/2014/Articulo1\\_2014.pdf](http://geofocus.rediris.es/2014/Articulo1_2014.pdf)

Díaz, W., & Domínguez, C. (2013). Guía metodológica para la localización de suelos de expansión urbana con énfasis ambiental: estudio de caso Silvania Cundinamarca., 7, pág. 23. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/bsa/article/view/9492/10732>

Espinoza, V. (2016). Tasas de deforestación y modelamiento espacial para la generación de escenarios futuros al año 2030 sobre un gradiente de modificación humana de paisajes en Nicaragua. Costa Rica: CATIE. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11554/8917>

Espinoza, V. (2016). Dinámica Ego: Una herramienta gratuita para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS. National Scientific and Technical Research Council, 1-20.

FAO. (2000). Proyecto Regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible". El AHP y su aplicación para determinar los usos de las tierras, el caso de Brasil. Santiago de Chile.

FAO; MAGAP. (2014). Ordenamiento Territorial Rural. Conceptos, métodos y experiencias. Buenos Aires. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4195s.pdf>

Fernández, J. (2011). Recuperación de los estudios del futuro a través de la prospectiva territorial. Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales(167).

GAD Municipal de Pujilí. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Pujilí. Obtenido de <https://www.municipiopujili.gob.ec/pujili/images/2018/PDYOT.pdf>

GAD Parroquial Rural de La Victoria. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial La Victoria. Obtenido de <http://lavictoria.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2018/01/PDOT-2018-.pdf>

García, E. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación en el municipio de Juárez, Chihuahua. Tijuana - México: CICESE.

Godet, M. (2007). Prospectiva estratégica. Problemas y métodos. Cuaderno N° 20. Obtenido de <http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/Cajadeherramientas2007.pdf>.

Gómez, D. (2007). Ordenación Territorial. Mundi-Prensa Libros.

González, L. (2011). Gestión del territorio: un método para la intervención territorial. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120283/Gonzalez\\_Luis\\_Gestion\\_territorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120283/Gonzalez_Luis_Gestion_territorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. Computers & Geosciences, 32(9), 1283-1298.

Hermida, A., Orellana, D., Cabrera, N., Osorio, P., & Calee, C. (2015). La Ciudad es Esto. Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables. Cuenca: Ciudades Sustentables.

Hurtado, M. (2015). Identificación de zonas industriales en el cantón Cuenca mediante evaluación multicriterio. Cuenca, Ecuador.

INEC. (2010). Ecuador en cifras. Recuperado el Abril de 2019, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=poblaci%C3%B3n>

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (2017). Programa de cambio climático, desarrollo territorial y ambiente (PROTERRA). Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra, Distrito de Padre Abad, Departamento de Ucayalí, Perú. Perú: Iquitos.

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo. (2016). Quito - Ecuador. Obtenido de <https://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 Rurales y Territorios Ancestrales. (2018). Quito - Ecuador. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Ley-Organica-de-Tierras-Rurales-y-Territorios-Ancestrales.pdf>

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. (2010). Quito - Ecuador. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu88076.pdf>

López, I., & Fernández, S. (2001). Investigación, Medidas de concordancia: el Índice Kappa. CAD ATEN PRIMARIA, 169-171.

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York.

Mendoza, V. (2016). Dinámica Ego: una herramienta gratuita para brindar soporte en el análisis de CCUS. Costa Rica.

Minviele, S., & Zusman, P. (1995). Sociedades geográficas y delimitación del territorio en la construcción del estado-nación Argentina. Trabajo presentado en el V Encuentro de Geógrafos de América Latina.

Molina, M. (2014). Expansión Urbana y Cambio Climático. Ciencia, 10.

Orozco, O. (2010). Atlas Regional. B.1. Pendiente del terreno, (págs. 26-28).

Ortega, D. (2018). Transformación del paisaje natural del municipio de Villagarzón, Colombia, período 1985 a 2014, su proyección a futuro 2044 y ganadería actual. Putumayo - Colombia.

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. Revista Ciencias Espaciales., 5(1), 310.

Pijanowski, B., Pithandia, S., Shellito, B., & Alexandridis, K. (2005). Forecasting and assessing the impact of urban sprawl in coastal watersheds along eastern Lake Michigan. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 7, 271-285.

PNUD. (2015). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: Ciudades y comunidades sostenibles. Obtenido de <http://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-11.html>

RAE. (2019). Diccionario del español jurídico. Obtenido de <https://dej.rae.es/lema/administraci%C3%B3n-territorial>

Reglamento a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo. (2019). Quito - Ecuador. Obtenido de [http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/d\\_680\\_20190125155616.pdf](http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/d_680_20190125155616.pdf)

Reglamento a la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales. (2017). Quito - Ecuador. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/Reglamento-a-la-Ley-Organica-de-Tierras-Rurales-y-Territorios-Ancestrales.pdf>

Rocca, J., & Sgroi, A. (2012). Instrumentos normativos de la política de expansión urbana. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26730/97-INSTRUMENTOSNORMATIVOSDELAPOITICADEEXPANSINURBANA.pdf?sequence=1>

RSN. (2019). RSN-Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia/2504-cual-es-la-diferencia-entre-magnitud-e-intensidad>

Sachs, J. (2015). La Era del Desarrollo Sostenible. Nuestro futuro está en juego: incorporemos el desarrollo sostenible a la agenda política mundial. España: DEUSTO. Recuperado el Abril de 2019, de <https://www.primercapitulo.com/pdf/2016/515-la-era-del-desarrollo-sostenible.pdf>

Salas, M. (2013). Prospectiva Territorial: aproximación a una base conceptual y metodológica. Venezuela.

Santacruz, M. (2015). Metodología para la Determinación de Suelo de Expansión Urbana como Categoría de Ordenación Territorial. Cuenca - Ecuador.

Sapena, M., Ruiz, L., & Joó, K. (2017). Modelos de simulación de expansión urbana a partir de imágenes de satélite: Adecuación al análisis temporal de la fragmentación de los usos del suelo. Murcia.

SEGOB. (2016). Gobierno de México. Obtenido de Inundaciones Súbitas: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110289/308-INFOGRAFAINUNDACIONESSBITAS.PDF>

SENPLADES. (2010). Lineamientos para la planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial. Estrategias para el fortalecimiento del Sistema Nacional Descentralizado de Planificación Participativa. Quito: Soluciones Gráficas DYG. Obtenido de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/LINEAMIENTOS-PARA-LA-PLANIFICACI%C3%93N-DEL-DESARROLLO-Y-EL-ORDENAMIENTO-TERRITORIAL.pdf>



SENPLADES. (2011). Lineamientos generales para la planificación territorial descentralizada. Quito. Recuperado el abril de 2019, de <http://diccionario.administracionpublica.gob.ec/adjuntos/2lineamientos-generales-para.pdf>

SENPLADES. (2013). Portal SNI. Obtenido de Proyecciones referenciales de población a nivel cantonal - parroquial período 2010 - 2020: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones\\_y\\_estudios\\_demograficos/Proyecciones%202010/Proyecciones%20de%20poblaci%C3%B3n%20PARROQUIAL%202010-2020.xlsx](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones_y_estudios_demograficos/Proyecciones%202010/Proyecciones%20de%20poblaci%C3%B3n%20PARROQUIAL%202010-2020.xlsx)

SENPLADES. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021. Quito - Ecuador.

Soares, B., Rodrigues, H., & Costa, W. (2009). Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Dinamica EGO Guia Práctica.

Suárez, G., & Olaya, L. (2018). Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el municipio de Mosquera, Cundinamarca. Bogotá.

Wirth, L. (2005). El urbanismo como modo de vida. *Revista Bifurcaciones*(2).

Yerovi, C. (2016). Escenarios de crecimiento suburbano utilizando técnicas de evaluación multicriterio en la Administración zonal Tumbaco del Distrito Metropolitano de Quito. Quito.