

# UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Maestría en Ordenación del Territorio

**Escenarios de la ordenación territorial: modelos prospectivos del uso de suelo en el Cantón Cuenca**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Ordenación del Territorio

Autor:

Carlos Rodrigo Tenesaca Pacheco

CI: 0103657268

carlostenesaca.ct@gmail.com

Directora:

María Cristina Chuquiaguanga Auquilla

CI: 0103831483

**Cuenca, Ecuador**

15 de Septiembre del 2022

## RESUMEN

### **Escenarios de la ordenación territorial: modelos prospectivos del uso de suelo en el Cantón Cuenca**

La generación de escenarios para la ordenación territorial mediante modelos prospectivos de uso de suelo representa una oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar modalidades insostenibles de consumo y producción que tiene el desarrollo territorial. Esta investigación tiene por objeto contribuir a la generación de escenarios territoriales mediante la prospectiva de usos de suelo rural. La metodología se basó en la aplicación de prospectiva estratégica y el modelo CA\_Markov, mismo que se sintetiza en: a) generación de mapas de cobertura y uso de suelo de los años 2000, 2008 y 2018, a1) análisis de cambios de uso de suelo entre los diferentes periodos, a2) cálculo de áreas de probabilidad de transición (Markov Chain); b) generación de mapas de idoneidad de transición a través de: identificación de factores de cambio, restricciones, funciones de membresía difusa (Fuzzy), modelos de proceso de jerarquía analítica (AHP) y evaluación multicriterio (MCE); c) evaluación del poder predictivo del modelo a través del índice de Kappa y; d) simulación de escenarios al año 2030. Los resultados para el periodo 2000 – 2018 indican disminución de coberturas naturales e incremento de zonas antrópicas y tierras agropecuarias. Por su parte, en los escenarios proyectados al año 2030 esta tendencia se mantendrá. Se concluye que el análisis espacio temporal para la construcción de escenarios territoriales representa no solo una alternativa para comprender la dinámica territorial, sino que permite influir en él, a través de la toma de decisiones basado en los criterios técnicos, académicos, planificadores y sociedad civil, cuya visión permita alcanzar un desarrollo sostenible del cantón Cuenca a futuro.

**Palabras clave:** Modelos prospectivos. Ordenamiento territorial. Cambio de uso de suelo.

## ABSTRACT

### **Land management scenarios: Land Use Prospective Models in the Cuenca canton**

The generation of scenarios for territorial planning through prospective models of land use represents an opportunity to anticipate, prevent, and mitigate unsustainable patterns of consumption and production that territorial development has. This research aims to contribute to the generation of territorial scenarios through the prospective of rural land. The methodology was based on the application of strategic prospective and the CA\_Markov model, which is synthesized in a) generation of land cover and land use maps for the years 2000, 2008, and 2018, a1) analysis of changes in land use between the different periods, a2) calculation of transition probability areas (Markov Chain); b) generation of transition suitability maps through identification of change factors, restrictions, fuzzy membership functions (Fuzzy), analytical hierarchy process (AHP) models and multi-criteria evaluation (MCE); c) evaluation of the predictive power of the model through the Kappa index and; d) simulation of scenarios to the year 2030. The 2000-2018 period results indicate a decrease in natural coverage and an increase in anthropic zones and agricultural land. In the scenarios projected for the year 2030, this trend will continue. It is concluded that the space-time analysis for the construction of territorial scenarios represents not only an alternative to understanding the territorial dynamics but also allows to influence it through decision-making based on the technical, academic, planner, and civil society criteria, whose vision allows for achieving sustainable development of the Cuenca canton in the future.

**Keywords:** Prospective models. Territorial planning. Land use change.

## Índice

<b>1. Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Materiales y métodos</b> .....	<b>8</b>
2.1. Área de estudio .....	8
2.2. Procesamiento de la información .....	8
2.2.1. Generación y análisis de la cobertura y uso del suelo .....	10
2.2.2. Generación de mapas de idoneidad de transición .....	11
2.2.3. Simulación y evaluación del poder predictivo del modelo .....	15
2.2.4. Simulación de tres escenarios de cambio de cobertura y uso de suelo al año 2030 .....	15
<b>3. Resultados</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Discusiones</b> .....	<b>21</b>
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>22</b>
<b>6. Bibliografía</b> .....	<b>24</b>

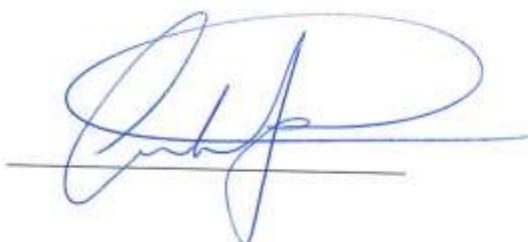
## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Carlos Rodrigo Tenesaca Pacheco en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Escenarios de la ordenación territorial: modelos prospectivos del uso de suelo en el Cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de Septiembre del 2022



Carlos Rodrigo Tenesaca Pacheco

C.I: 0103657268

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Carlos Rodrigo Tenesaca Pacheco, autor/a del trabajo de titulación "Escenarios de la ordenación territorial: modelos prospectivos del uso de suelo en el Cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 15 de septiembre del 2022



---

Carlos Rodrigo Tenesaca Pacheco

C.I: 0103657268

## 1. Introducción

Actualmente el cambio en el uso del suelo es un problema que alarma a nivel mundial debido al impacto, influencia e implicaciones que el desarrollo territorial demanda sobre el sistema terrestre y la biodiversidad (Hyandye y Martz, 2017; Keshtkar y Voigt, 2016). Estos cambios se consideran procesos complejos causados por factores ambientales y socioeconómicos atribuidos principalmente al aumento de la población como el conductor antropogénico que transforma hábitats naturales en tierras productivas y áreas urbanizables (Gidey et al., 2017; Hamad et al., 2018; Rimal et al., 2017).

En Ecuador, el cantón Cuenca no está exento de esta realidad, puesto que ha experimentado cambios acelerados de usos de suelo relacionado con: pérdida de áreas naturales, deterioro del suelo por expansión urbana y actividades agropecuarias, degradación del paisaje, carencia de planificación en áreas urbanas y rurales, asentamientos irregulares en márgenes de protección de ríos y quebradas, conflictos socio-ambientales por actividades mineras, transformación y destrucción del páramo y bosques naturales, e incumplimiento de la normativa de usos y ocupación del suelo, entre otras (GAD Municipal Cuenca, 2021, Capítulo 2).

En el año 2008, la aprobación de la nueva Constitución de la República del Ecuador considera al ser humano como el centro del desarrollo territorial, con el objetivo de alcanzar el Buen Vivir o Sumak Kawsay. Para ello, el gobierno central instaura el Ordenamiento Territorial como política de Estado e inician las primeras experiencias en la elaboración de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial en adelante PDOT, siendo estos procesos dinámicos basados en estrategias, metodologías y herramientas para lograr la articulación entre la población y su territorio. Sin embargo, la falta de visión prospectiva que direcciona, guíe e incorpore las políticas y apuestas del

territorio a mediano y largo plazo en la planificación territorial, se evidenció en los primeros PDOT a nivel nacional por la falta de metodologías prospectivas que guíen esta visión de futuro (Sánchez, 2018, p. 90). En este sentido, los escenarios territoriales son representaciones hipotéticas del futuro, formuladas de un posible proceso causal en la interrelación de variables territoriales para un tiempo y espacio dado. Estos escenarios territoriales pueden ser dos tipos, exploratorios o normativos. El primero se construye a partir de las tendencias históricas y presentes que conducen a futuros verosímiles y los normativos se construyen a partir de imágenes alternativas positivas o negativas pudiendo llegar a ser deseables o no deseables (Godet et al., 2000, p. 17).

En los últimos años autores como (Astigarraga, 2016; Sánchez, 2018) han aplicado, adaptado y contextualizado metodologías prospectivas en el campo del ordenamiento territorial, llegando a considerar este proceso como multisectorial que requiere del análisis completo del sistema territorial entre el ser humano y su entorno. Por su parte, las tecnologías de la información geográfica mediante la teledetección han permitido el manejo de información digital para comprender las relaciones espacio temporales del territorio. Autores como (Das y Sarkar, 2019; Gidey et al., 2017; Hyandye y Martz, 2017; Keshtkar y Voigt, 2016) han considerado el modelo de Cadenas de Markov y Autómatas Celulares denominado CA\_Markov como un modelo integrador, universal y efectivo para predecir y simular procesos espacio temporales de usos de suelo a partir de un conjunto de reglas. En Ecuador esta metodología ha sido poco o escasamente relacionada en la planificación y ordenamiento territorial para mejorar las decisiones y políticas de uso de suelo.

En este artículo se genera una alternativa metodológica en base a propuestas existentes de planificación prospectiva<sup>1</sup> a través de escenarios<sup>2</sup> (Astigarraga, 2016; Secretaria Técnica Planifica Ecuador, 2019) como base para la toma de decisiones; y la prospectiva de uso de suelo mediante CA\_Markov para el modelamiento<sup>3</sup> de escenarios a futuro. En este sentido, el artículo tiene por objeto contribuir a la generación de escenarios territoriales mediante la prospectiva de usos de suelo rural del cantón Cuenca al año 2030, con la finalidad que se pueda incluir en los procesos de ordenación territorial como un nuevo marco de la planificación territorial.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en el cantón Cuenca perteneciente a la provincia del Azuay, localizada en la región centro sur de Ecuador, entre la latitud 2° 50'00 S y longitud 79° 10'W. El cantón Cuenca posee 21 parroquias rurales y 15 parroquias urbanas que en conjunto comprenden un área territorial de 3.195 km<sup>2</sup>. Su cota varía desde los 300 hasta los 4.398 m.s.n.m, con pendientes desde los 0° hasta más 58° grados consideradas muy escarpadas.

### 2.2. Procesamiento de la información

Para el procesamiento de información cartográfica se utilizó el software QGIS Hannover en su versión 3.16. 5; mientras que, para el modelamiento y simulación de usos de suelo se utilizó la metodología basada en Autómatas Celulares y Cadenas de Márkov, denominada CA\_Markov a través de la

---

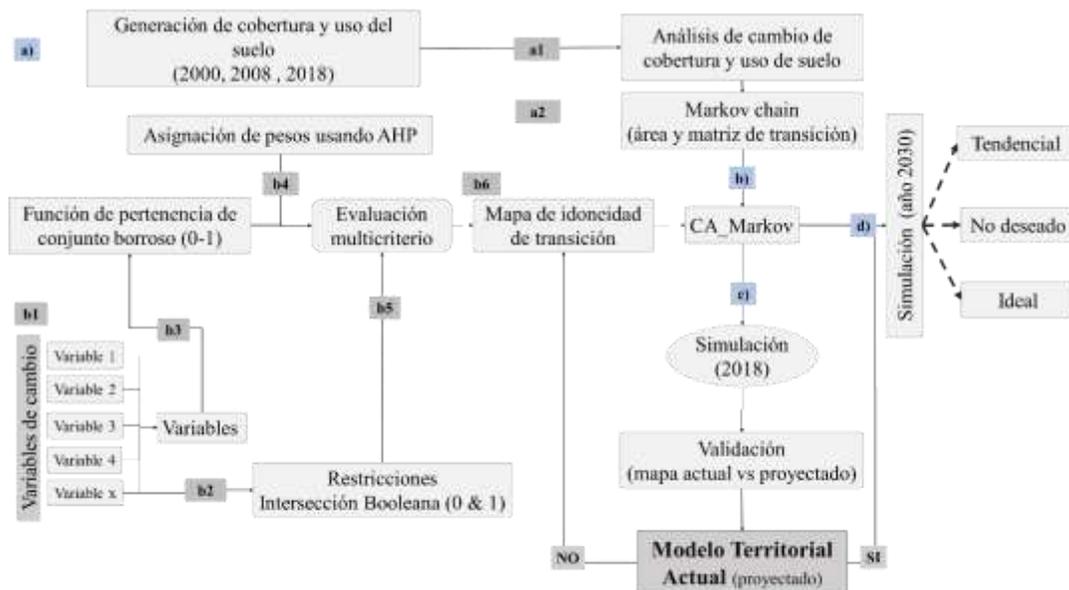
<sup>1</sup> La prospectiva se define como un proceso sistemático, participativo, de construcción de una visión a largo plazo para la toma de decisiones en la actualidad y para la movilización de acciones conjuntas. Los métodos prospectivos se pueden considerar como una plataforma para la planeación estratégica, tratando de establecer las orientaciones y el conjunto de decisiones que se deben desarrollar para alcanzar el futuro deseado (Astigarraga, 2016, p. 7).

<sup>2</sup> Son un método de prospectiva que tiene como finalidad definir los posibles caminos de futuro con probabilidad de ocurrencia. Se definen como: "Un conjunto formado por la descripción de una situación futura y un camino de acontecimientos que permiten pasar de una situación original a otra futura" (Astigarraga, 2016, p. 17).

<sup>3</sup> El modelamiento es una representación abstracta/conceptual del sistema territorial; por su parte, la simulación es la imitación del sistema a través del tiempo, cuyo objetivo es predecir y describir comportamientos futuros.

herramienta Land Chance Modeler for Ecological Sustainability del software TerrSet Geospatial Modeling and Monitoring System developed by Clark Labs en su versión 18.2.

**Figura 1.** Diagrama esquemático para simular el cambio uso de suelo<sup>4</sup> a futuro usando el modelo CA\_Markov.



\*\* Variables de cambio: (1) adjudicaciones de agua, (2) centros poblados, (3) clases agroológicas, (4) Modelo Digital de Terreno, (5) equipamientos, (6) movimientos en masa, (7) áreas protegidas (PSB Individual y colectivo, AICAS, BVP), (8) medidores eléctricos, (9) ríos principales, (10) ríos secundarios, (11) pendiente en grados, (12) vías, (13) Restricción: Restricción: Parque Nacional Cajas y Quimsacocha

**Fuente:** (Das y Sarkar, 2019, fig. 3; Gidey et al., 2017, fig. 2; Hyandy y Martz, 2017, fig. 3; Keshtkar y Voigt, 2016, pp. 2-6)

La metodología de CA\_Markov se sintetiza en: a) generación de mapas de cobertura y uso de suelo de los años 2000, 2008 y 2018, a1) análisis de cambios de uso de suelo entre los diferentes periodos, a2) cálculo de áreas de probabilidad de transición (Markov Chain); b) generación de mapas de idoneidad de transición a través de: cadenas de Markov, identificación de

<sup>4</sup> El modelo territorial es una representación espacial del estilo de desarrollo de la sociedad en un territorio, en un tiempo determinado; este modelo se conforma por la interacción de varios subsistemas (biofísico, económico productivo, político institucional, etc.). Este estudio, tomó como base la cobertura y uso de suelo y sus interrelaciones con las variables (figura 1) para conformar el subsistema biofísico y desarrollar el modelo territorial actual proyectado.

factores de cambio, restricciones, funciones de membresía difusa (Fuzzy), modelos de proceso de jerarquía analítica (AHP) y evaluación multicriterio (MCE); c) evaluación del poder predictivo del modelo CA\_Markov (modelo actual versus escenario proyectado y; d) simulación mediante de tres escenarios de cambio de cobertura y uso de suelo al año 2030, como se observa en la Figura 1.

## 2.2.1. Generación y análisis de la cobertura y uso del suelo

Para la generación de los mapas de cobertura y uso de suelo cantonal de los años 2000, 2008 y 2018, se tomó como base la cartografía histórica del Ministerio del Ambiente a través de su página web <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>, para posteriormente mediante cinco imágenes satelitales Landsat Thematic Mapper<sup>5</sup> (TM) y Operational Land Imager<sup>6</sup> (OLI) proceder a comparar, validar, editar y estandarizar la información de la cobertura y uso de suelo a nivel cantonal. Se determinó ocho tipos de cobertura<sup>7</sup>, ver figura 2.

a1) Posteriormente, se analiza los cambios ocurridos en los diferentes periodos (2000 – 2008; 2008 - 2018), para comprender las ganancias y pérdidas de las coberturas, evaluando la situación pasada y presente de las coberturas a nivel cantonal. El cálculo del área de cambio está en función de: (# de pixeles que cambian por cada clase/ superficie total de la cobertura vegetal) \*100. Y el cálculo de la tasa anual de cambio, se calcula en función de:  $R = (A1 - A2) / (t2 - t1)$ . Donde: R: Deforestación total anual promedio para un período determinado, A1: Área de cobertura inicial (ha), A2: Área de cobertura final (ha), t1: Año inicial y t2: Año final.

---

<sup>5</sup> Imágenes disponibles: 3 de noviembre de 2001, 9 de noviembre del 2009 y 31 de julio de 2007

<sup>6</sup> Imágenes disponibles: 20 de noviembre del 2016 y 7 septiembre de 2018

<sup>7</sup> Bosque nativo (BN), cuerpos de agua (CA), Sin cobertura vegetal o erial (SC), páramo (PA), plantación forestal (PF), tierra agropecuaria (TA), vegetación, arbustiva y herbácea (VAH) y zona antrópica (ZA)

b2) A partir del análisis (a1), se aplica el modelo Markov Chain, para ello, se define como línea base inicial el año (t1=2000) y (t2=2008) y se establece el número de períodos de tiempo entre ambas coberturas (8 años) y el número de períodos de tiempo (10 años) a proyectar hacia adelante a partir de la segunda imagen (t2=2008) para proyectar el escenario tendencial 2018 de cambio de uso de suelo; se ingresó el valor 0.0 como opción de celda de fondo y un error proporcional de 0,15 para así obtener la matriz de probabilidad transición<sup>8</sup> y área de transición de cambio de uso.

Posteriormente, estas matrices y áreas de transición, servirán para proyectar mediante CA\_Markov la cobertura y uso de suelo a futuro al año 2030, horizonte de los ODS. La matriz de probabilidad de transición se expresa mediante:  $X = \sum \left( \frac{(O-E)^2}{E} \right)$ . Donde X= matriz de probabilidad de transición, O = número observado de transiciones, E= número esperado de transiciones. Para controlar el cambio y uso de suelo, los mapas proyectados se basaron en los criterios de los mapas de idoneidad de transición.

## 2.2.2. Generación de mapas de idoneidad de transición

Los mapas de idoneidad<sup>9</sup> de transición se prepararon al establecer reglas de transición de un estado de cobertura y uso de suelo a otro estado. Para ello, se identificó los factores de cambio, restricciones, conjuntos difusos (Fuzzy), asignación de pesos mediante el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y aplicación de Evaluación de Multi-Criterio (MCE) (Gidey et al., 2017, pp. 4-9; Hamad et al., 2018, pp. 5-8).

---

<sup>8</sup> La matriz de probabilidad de transición es un archivo de texto que consta de la probabilidad de cada cambio de tipo LULC, que se obtiene mediante la tabulación cruzada de dos imágenes de diferentes períodos de tiempo para determinar la probabilidad de que un píxel en una clase de uso de la tierra cambie a otra clase (Eastman, 2016; Subedi et al., 2013).

<sup>9</sup> Los procedimientos para robustecer y validar los escenarios en la ordenación territorial fueron llevados a juicio de expertos por el grupo de investigación UDA - IERSE, mismos que seleccionaron los factores de cambio, restricciones, conjuntos difusos y los valores de ponderación.

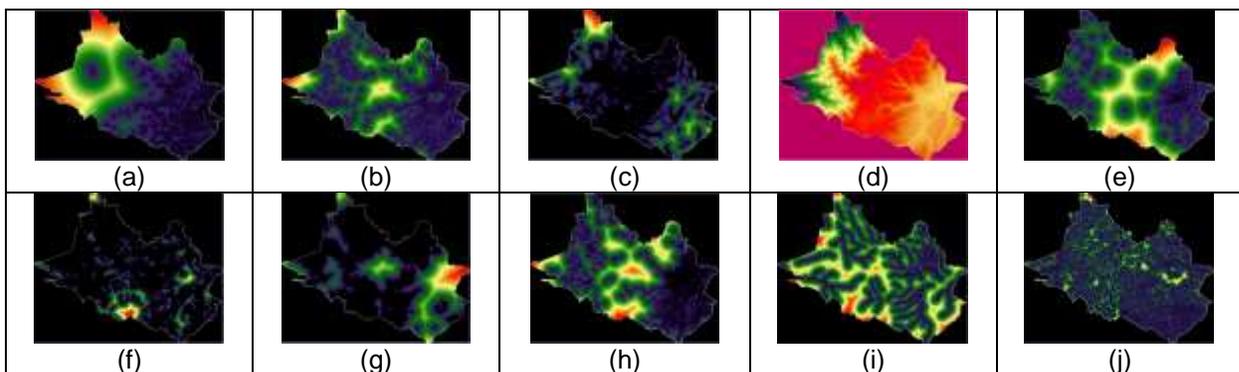
## 2.2.2.1. Identificación de variables de cambio y restricciones

De acuerdo con Eastman JR (2012, como se citó en Gidey et al., 2017), menciona que, uno de los factores básicos que pueden desencadenar la dinámica de los eventos de cambio de cobertura y uso de suelo es la proximidad a elementos biofísicos, mismos que condicionan la variabilidad espacial en términos de distancia y dirección (pp. 6). Por su parte, autores como Gidey et al., (2017); Hyandye y Martz, (2017); Rimal et al., (2017) consideran elementos detonantes de cambio a los factores socioeconómicos.

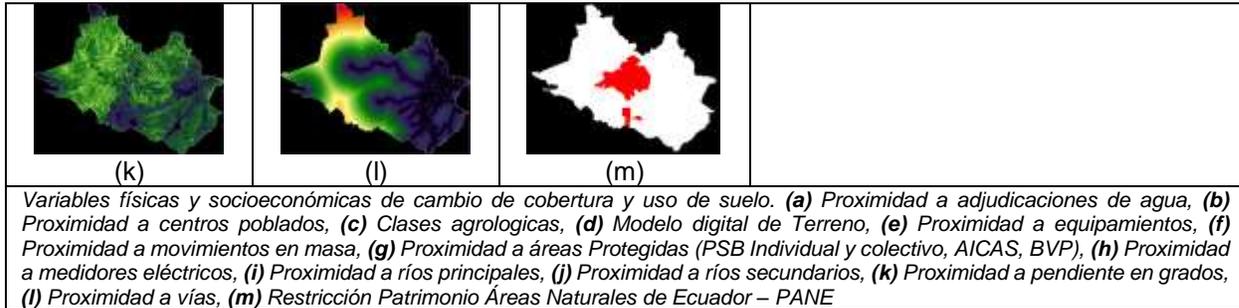
## 2.2.2.2. Funciones de pertenencia difusa (Fuzzy)

Para estandarizar las puntuaciones de criterio de los conjuntos difusos, se partió con el cálculo de proximidad utilizando la función de distancia euclidiana que mide la distancia entre cada celda de los variables seleccionadas, como se observa en la Tabla 1. Posteriormente, con base en conocimiento y juicio de expertos se asignó el tipo y función de membresía<sup>10</sup> que se utilizará para cada criterio, ver tabla 2.

**Tabla 1.** Proximidad a variables biofísicas y socio económicas



<sup>10</sup> Tipo de función: Sigmoidal, J-Shaped, Linear. Forma de función: Curvas de membresía simétricas, monótonicamente crecientes y monótonamente decrecientes (Eastman, 2016, n. TerrSet Help System)



Fuente: Autor, 2021

**Tabla 2.** Criterios generales para determinar factores, tipos / formas de funciones de membresía, puntos de control y escenarios utilizados para el desarrollo del mapa de idoneidad.

Factor	Tipo de función de membresía	Forma de función de membresía	Puntos de control (distancia en metros)
a	Linear	Monotonically increasing	(1) a= 50, b= 100 (2) a= 0, b= 50 (3) a= 100 b= 150
b	Linear	Monotonically decreasing	(1) c= 1000 d= 2200 (2) c= 1200 d= 2500 (3) c= 250 d=1000
c	Linear	Monotonically increasing	(1) a= 100, b= 5000 (3) a= 1000, b= 5000
d	Sigmoidal	Monotonically symmetric	(1,3) a=0 b=1500 c=2500 d=3300 (2) a=0 b=1500 c=2800 d=3400
e	Linear	Monotonically decreasing	(1) c= 1000 d= 1500 (2) c=1500 d=3000 (3) c=300 d= 1000
f	Linear	Monotonically increasing	(1) a= 100 b= 5000 (3) a= 1000 b=5000
g	Linear	Monotonically decreasing	(1) c= 500 d= 1500 (3) c= 1000 d= 1500
h	Linear	Monotonically decreasing	(1) c= 300 d= 1000 (2) c= 150 d=2000 (3) c= 100 d=500
i	Linear	Monotonically increasing	(1) a= 50 b= 100 (2) a= 0 b= 50 (3) a= 100 b= 150
j	Linear	Monotonically increasing	(1) a= 100 b= 1500 (2) a= 50 c=1000 (3) a= 200 b= 1500
k	Sigmoidal	Monotonically decreasing	(1) c= 0 d= 30 (2) c= 0 d= 35 (3) c= 0 d= 25
l	Linear	Monotonically symmetric	(1) a=0 b=30 c=50 d=100 (2) a=0 b=50 c=100 d=150 (3) a=0 b=30 c=50 d=90
m		Restricción	

\*\* Escenario: (1) Tendencial, (2) No deseado, (3) concertado/ideal. Fuente: Elaboración propia. Los puntos de control representan los valores (distancia metros), que determinan la probabilidad de cambio en función del tipo y forma de membresía según el escenario generado.

El tipo y función de membresía se determina en una escala de idoneidad de probabilidad o posibilidad de cambio continua que varía entre “0.0 y 1.0”, lo que indica un aumento continuo desde la no membresía hasta la membresía completa, siendo “0” menos adecuado y “1” más adecuado; mientras que las restricciones se estandarizaron en un carácter booleano de “0 y 1”, siendo “0” no idóneo y “1” idóneo (Eastman, 2016; Gidey et al., 2017; Omar et al., 2014; Rimal et al., 2017).

### **2.2.2.3. Asignación y ponderación de variables**

Para la asignación y ponderación de las variables, se utilizó el método del Proceso de Análisis Jerárquico - AHP de Saaty<sup>11</sup>. Dado que esta matriz evalúa la importancia relativa de los criterios, es posible determinar el grado de coherencia que se ha utilizado para desarrollar estas las calificaciones; por ello, Saaty incorpora un índice de consistencia (CR), el cual indica la probabilidad de que las calificaciones de la matriz se generen al azar; en este sentido, la matriz con calificaciones CR inferior a “0,1” se consideran aceptables, mientras que, superiores a “0,1” se considera que deben ser reevaluadas (Eastman, 2016, n. TerrSet Help System).

La aplicación de la Evaluación Multicriterio EMC como herramienta de ayuda en la toma de decisiones, combina los conjuntos de criterios resultante de los pasos anteriores (identificación de factores de cambio y restricciones, funciones de pertenencia difusa y la asignación y ponderación de las variables), generando una única base compuesta (transition suitability image) en función de las decisiones tomadas por cada escenario.

---

11 La asignación de pesos se realiza de manera indirecta usando juicios informales basado en la matriz de comparaciones por pares de los criterios para evaluarlas de manera jerárquica, este método permite ponderar el potencial de transición de la cobertura y uso de suelo sobre la base de un conjunto de mapas potenciales e incorpora restricciones de crecimiento (Eastman, 2016; Hyandy y Martz, 2017; Keshkar y Voigt, 2016)

### 2.2.3. Simulación y evaluación del poder predictivo del modelo

Una forma de cuantificar y validar el poder predictivo del modelo generado, (escenario proyectado 2018) a partir de CA\_Markov y de los mapas de idoneidad, es comparar y evaluar la similitud con el mapa del año 2018 (Das y Sarkar, 2019). Esta validación se hace a través de estadísticas del Índice Kappa de Concordancia (KIA)<sup>12</sup>, la cual evalúa la precisión del modelo en términos de la cantidad y ubicación de celdas clasificadas correctamente (Keshtkar & Voigt, 2016). Se considera que si Kappa es mayor a “0.8” el modelo es válido para las proyecciones a futuro.

### 2.2.4. Simulación de tres escenarios de cambio de cobertura y uso de suelo al año 2030

La línea base para la simulación de escenarios, partió de las coberturas de uso suelo 2000, 2008 y 2018, siendo el escenario proyectado 2018 el punto de partida que permitió desarrollar construcciones teóricas e hipotéticas al recalibrar los datos auxiliares de partida (mapas de idoneidad de transición), bajo consideraciones y juicios de expertos para ser proyectado al 2030 como año horizonte para la simulación de los escenarios tendencial, no deseado e ideal del cantón Cuenca.

## 3. Resultados

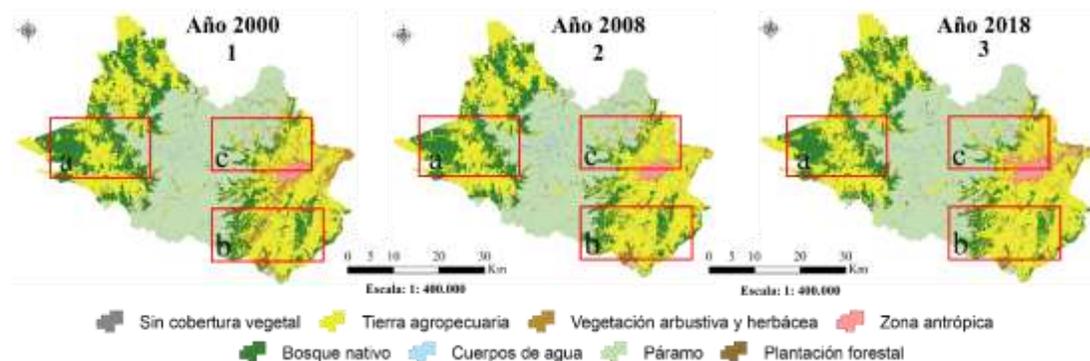
Los resultados del análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en el periodo 2000 - 2018 del cantón Cuenca, muestran que en varias zonas se han modificado y reemplazado áreas de bosques nativos, páramo y vegetación

---

<sup>12</sup> Kappa tradicional (Kstandard) es una medida de la capacidad de las capas simuladas para lograr una clasificación perfecta, una estadística general modificada sobre Kstandard (Kno) que muestra la proporción de píxeles clasificados correctamente en relación con la proporción esperada clasificado correctamente sin capacidad para especificar la cantidad o la ubicación, y un índice de ubicación que es capaz de distinguir la precisión de ubicación de los píxeles en la simulación. Su rango es de 0 (ubicación aleatoria) a 1 (especificación de ubicación perfecta)(Eastman, 2016, n. TerrSet Help System)

arbustiva, por tierras agropecuarias y zonas antrópicas principalmente (figura 4). En la zona (a) los poblados de Santa María, San Pedro de Yumate, Bella Unión, San Jacinto y Miguir cercanos a la vía estatal E582 Cuenca – Naranjal y vías secundarias, han experimentado cambios de cobertura, siendo evidente el cambio entre bosques nativos a tierras agropecuarias; en la zona (b), las parroquias de Tarqui, Cumbe, Victoria del Portete y Quingeo que han sido consideradas históricamente como ganaderas, se hace evidente la disminución de varios ecosistemas frágiles, principalmente en la cercanía de las vías estatales E35 y E59 y sus ramificaciones; mientras que en la zona (c), en la cabecera cantonal y sus alrededores como San Joaquín, Baños, Sinincay y Ricaurte, han experimentado un cambio de uso de suelo de áreas agropecuarias y ecosistemas frágiles por área urbana, como se observa en la Figura 2.

**Figura 2.** Mapas de cobertura y uso de suelo del cantón Cuenca



Parroquias Rurales: Zona (a) Chaucha y Molleturo, Zona (b) Tarqui, Cumbe, Victoria del Portete y Quingeo y Zona (c) Sayausi, Sinincay, San Joaquín y Cuenca (urbano)

**Fuente:** Autor, 2021

En la tabla 3 se presenta el historial y la tasa anual de cambios ocurridos por cada clase entre los diferentes periodos 2000 – 2018, las clases con mayor pérdida son los bosques nativos (-496 ha/año), cuerpos de agua (-19,28 ha/año), páramo (-99,86 ha/año) y vegetación arbustiva (-342,08 ha/año),

siendo estas clases consideradas como ecosistemas frágiles; mientras que la tierra agropecuaria y las zonas antrópicas han aumentado +723,08 y +226,22 ha/anual respectivamente, durante el periodo de 18 años.

**Tabla 3.** Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en el periodo 2000 - 2018

<b>Cobertura vegetal y uso de suelo</b>	<b>2000</b>	<b>2008</b>	<b>2018</b>	<b>TCA (ha)</b>
Bosque nativo	65.442,51	62.630,60	56.509,22	-496,29
Cuerpos de agua	2.311,59	2.315,54	1.964,63	-19,28
Páramo	116.984,17	115.803,45	115.186,63	-99,86
Plantación forestal	3.499,01	2755,51	2.933,45	-31,42
Sin cobertura vegetal	397,53	206,64	1.110,78	39,62
Tierra agropecuaria	113.303,59	123.729,38	126.319,06	723,08
Vegetación arbustiva y herbácea	14.261,56	8.516,19	8.104,14	-342,08
Zona antrópica	3.318,84	3.561,48	7.390,88	226,22

**Fuente:** Autor, 2021. TCA: Tasa de Cambio Anual

El proceso de análisis jerárquico – AHP de los modelos prospectivos al año 2030 presentó una alta confiabilidad en los tres modelos, siendo el radio de consistencia 0,09 para el escenario tendencial e ideal y 0,07 para el escenario no deseado. Por su parte, el índice kappa presentó valores  $K_{no} = 0,9277$ ;  $K_{location} = 0,9227$ ,  $K_{locationStrata} = 0,9227$ ,  $K_{standard} = 0,9020$ , demostrando que el modelo proyectado al 2018 versus el mapa actual se clasificó correctamente en relación con la proporción esperada. A partir de ello, se proyectaron los escenarios al 2030, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 4.** Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en el periodo 2018 - 2030

<b>Cobertura vegetal y uso de suelo 2018</b>	<b>Modelos prospectivos</b>			
	<b>Tendencial</b>	<b>No deseado</b>	<b>Ideal</b>	
Bosque nativo	56.509,22	48.819,80	46.081,55	57.855,75
Cuerpos de agua	1.964,63	1.531,15	1.545,39	1.350,71
Páramo	115.186,63	114.459,28	113.488,51	116.444,35
Plantación forestal	2.933,45	1.347,28	1.180,39	777,59
Sin cobertura vegetal	1.110,78	1.832,36	521,91	73,71
Tierra agropecuaria	126.319,06	134.569,58	137.119,81	123.479,76
Vegetación arbustiva y herbácea	8.104,14	5.386,54	5.154,78	12.127,53

---

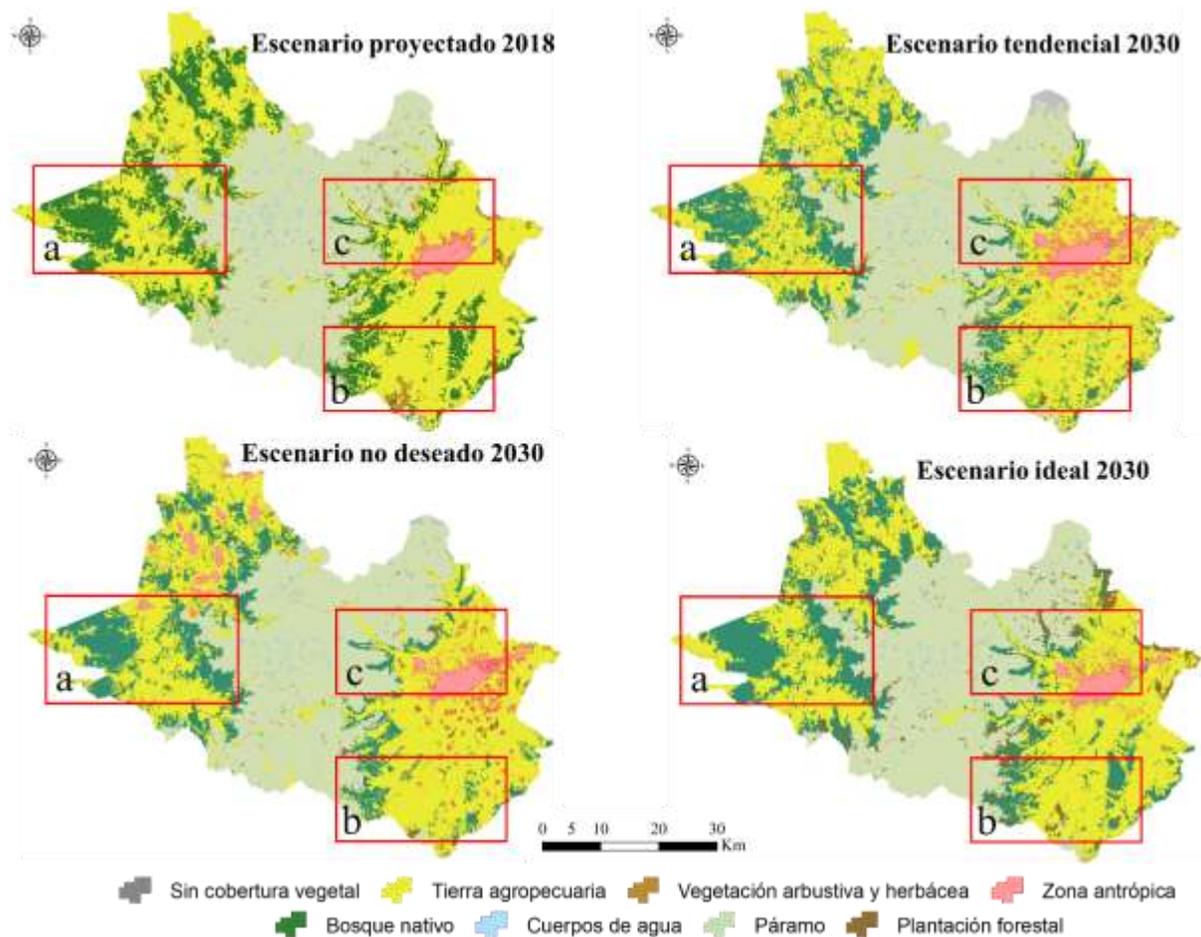
Zona antrópica	7.390,88	11.572,79	14.426,41	7.409,37
----------------	----------	-----------	-----------	----------

---

**Fuente:** Autor, 2021. \*\* Escenario 1 (Tendencial), 2 (No deseado), 3 (Concertado/ideal), (ha) área en hectáreas.

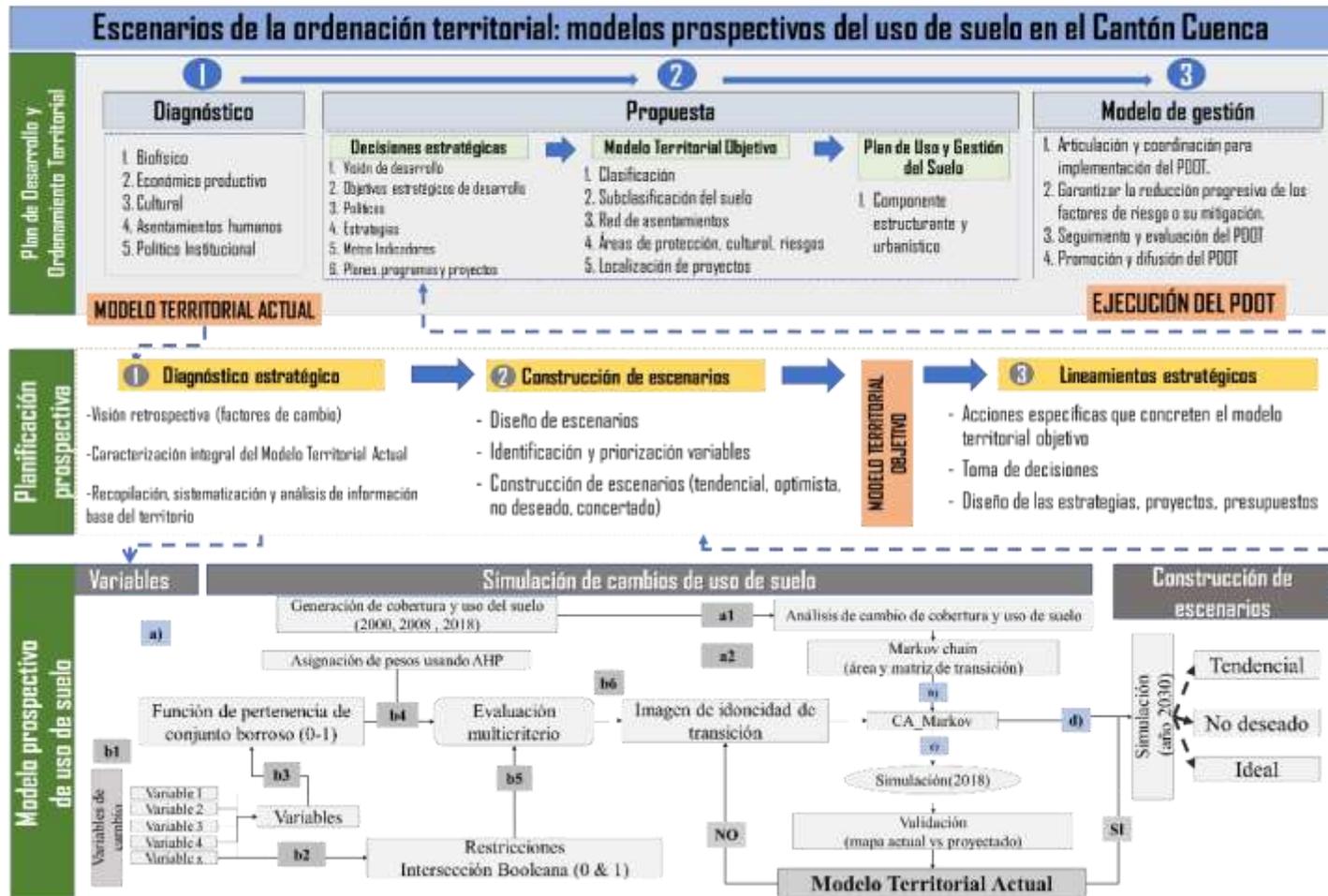
Al igual que el análisis 2000 – 2018 (Figura 3), los cambios proyectados al 2030 en los diferentes escenarios muestran que, en un periodo de 12 años, en la zona (a) las diferencias en los modelos prospectivos (tendencial y no deseado) se dará un avance en la frontera agrícola y disminuirá los bosques nativos y páramo; mientras que en el modelo ideal los parches de tierra agropecuaria irán cambiando de uso de suelo hacia coberturas naturales. Por otra parte, en el modelo no deseado, en la parroquia Molleturo se evidencia un crecimiento de los centros poblados, principalmente los que se asientan cerca a la vía E582 Cuenca – Naranjal (San Felipe de Molleturo, Cruz Pamba, Luz María, Villanueva y Corona de Oro); en la zona (b), siendo áreas históricamente dedicadas a la ganadería se hace evidente la tendencia hacia la disminución de coberturas naturales en ambos escenarios (tendencial y no deseado), principalmente la disminución de bosque naturales; mientras que en el escenario ideal, la cobertura arbustiva y herbácea empieza a recuperarse; en la zona (c), en los escenarios tendencial y no deseado prevalece el crecimiento de la mancha urbana, ocupando grandes espacios y reemplazando el uso de suelo principalmente a tierra agropecuaria, como se observa en la Figura 3.

**Figura 3.** Modelos prospectivos del uso de suelo en el cantón Cuenca al 2030



**Fuente:** Autor, 2021. Parroquias Rurales: Zona (a) Chaucha y Molleturo, Zona (b) Tarqui, Cumbe, Victoria del Portete y Quingeo y Zona (c) Sayausi, Sinincay

Figura 4. Articulación entre la prospectiva estratégica y CA-Markov



Fuente: Autor, 2021

## 4. Discusiones

El análisis de cambio de usos de suelo mediante de CA\_Markov se han aplicado dentro de la planificación territorial principalmente para determinar zonas de expansión urbana (Avalos et al., 2019; Barreira y Barros, 2017; Rimal et al., 2017) y ampliamente utilizadas para estudios ambientales sin implicación para la planificación (Hamad et al., 2018; Hyandye y Martz, 2017). Sin embargo, estudios como los de Gidey et al (2017); Pinos (2016) se han aplicado para fomentar la toma de decisiones y mejorar las políticas en el uso sostenible del suelo. En este sentido, generar tres escenarios para la ordenación territorial mediante modelos prospectivos es sustentar las decisiones para la planificación mediante alternativas cuya visión permita alcanzar las metas propuestas para el desarrollo sostenible del cantón Cuenca al 2030.

El uso de metodologías prospectivas no se restringe únicamente a métodos cuantitativos ni cualitativos, sino que debe conjugar índices de deseabilidad y probabilidad para facilitar la generación de diversos futuros posibles (Miklos, 2002, p. 121). Por ello, Omar et al (2014, p. 14) reporta que la toma de decisiones basada en criterios técnicos de expertos, es una alternativa viable a corto, mediano y largo plazo en la planificación.

A partir de estos hallazgos, Hyandye y Martz (2017, p. 65) mencionan que, los factores socioeconómicos y biofísicos están estrechamente relacionados y son impulsores de cambio uso de suelo, lo que contrasta con Gidey et al (2017, pp. 1-11), ya que considera que utilizar únicamente factores físicos para predecir esta dinámica, no es adecuado; sino que el incorporar ambas factores mejora considerablemente la comprensión del cambio de uso de suelo (Omar et al., 2014). Por consecuencia, esta investigación incluyó factores socio económicas como la proximidad a equipamientos, centros poblados, medidores eléctricos y clases agrologicas; y variables físicas como vías, pendientes, altitud, ríos, quebradas, entre otras, lo que permitió robustecer los modelos prospectivos. Las condiciones geográficas “muy fuertes” que posee el cantón Cuenca, es una limitante natural para

la expansión de actividades antropogénicas. Sin embargo, Pinos (2016, pp. 17-18) menciona que, ciertas restricciones o aptitudes que presenta el territorio cantonal, no impide que el crecimiento urbano y agroproductivo siga presionando las coberturas naturales. Por lo tanto y de acuerdo con (Miklos, 2002; Pinos, 2016), el cambio de uso del suelo es un proceso complejo que depende del análisis de múltiples factores para llegar a comprender el sistema territorial por completo.

En este sentido, Pinos (2016, pp. 13-15) en su investigación analiza factores físicos y sociales e indica que las coberturas naturales disminuirán y las antrópicas irán incrementándose; corroborando así los resultados obtenidos de los escenarios proyectados al 2030. Es importante mencionar y recalcar que los cambios ocurridos en la investigación de Pinos, (2016, pp. 13-17) las áreas proyectadas espacialmente son diferentes, evidenciando un cambio sustancial en el ecosistema páramo, donde existe la presencia de pastos y cultivos al 2030, siendo contradictorio a los tres escenarios proyectados en esta investigación. Por otra parte, las áreas agropecuarias tienden a decrecer en la cercanía a la zona urbana de la cabecera cantonal, siendo predominante el tejido urbano discontinuo, mismo que se observa con las proyecciones de los escenarios tendencial y no deseado principalmente en las parroquias de Sayausi, Sinincay y San Joaquín, ocasionando fragmentación de hábitats y pérdida de recursos naturales.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

El modelo prospectivo de uso de suelo para la generación de escenarios en la ordenación territorial, es una representación hipotética para evaluar el potencial cambio de uso de suelo rural del cantón Cuenca al año 2030, en función de 12 variables condicionantes y una restrictiva como son las áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas – PANE (Parque Nacional Cajas y Quimsacocha), categorizadas como áreas naturales de máxima protección y conservación en el país.

Es fundamental y preponderante la selección de criterios, variables y asignación de pesos, puesto que de ello resultará las implicaciones de cada escenario y condicionará los escenarios a futuro. Este estudio, debido al alcance y recursos, se consideró únicamente criterios técnicos del grupo de investigación UDA – IERSE; sin embargo, se debe destacar la necesidad de integrar agentes y factores socioeconómicos, financieros, sociodemográficos, infraestructura, político institucional y la participación de actores públicos y privados del territorio, cuya finalidad permita robustecer y simular este tipo de escenarios y la toma de decisiones en la implementación de proyectos a futuro.

La cartografía de los tipos de cobertura y uso de suelo a pesar de haber sido depuradas y validadas con imágenes satelitales de los años en estudio, se evidenció cambios que deben ser corroborados mediante análisis detallados por cada clase de cobertura, principalmente cuerpos de agua y áreas sin cobertura vegetal.

Finalmente, la articulación entre la prospectiva estratégica y CA\_Markov para la planificación territorial mediante la generación de escenarios en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, permite sustentar el modelo territorial objetivo basado en los diferentes escenarios, ya que parte del diagnóstico estratégico y se complementa en la fase propuesta (Figura 4). En esta fase se refuerza el planteamiento de la visión de desarrollo, objetivos estratégicos y de manera particular en el enfoque que se deben dar a los programas y proyectos que tome el GAD, para no caer en una planificación inmediatista a corto y mediano plazo; por lo tanto, para que exista funcionalidad entre las diferentes metodologías prospectivas y sean eficientes en el territorio estas deben estar basadas en un diálogo permanente y continuo entre lo político y lo social, para permitir diseñar escenarios territoriales encaminados en un bien común, facilitando así la identificación de acciones desde lo normativo e inversión, hacia el uso y ocupación del suelo de los territorios en estudio.

## 6. Bibliografía

- Astigarraga, E. (2016). **Prospectiva estratégica: Orígenes, conceptos clave e introducción a su práctica.** *Revista Centroamericana de Administración Pública*, 71, 13-29. [https://doi.org/10.35485/rcap71\\_1](https://doi.org/10.35485/rcap71_1)
- Avalos, A., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., & Flores Vilchez, F. (2019). **Simulación del crecimiento urbano de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, México.** *Estudios Geográficos*, 80(287), 021. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201938.018>
- Barreira, P., & Barros, J. (2017). **Configuring the neighbourhood effect in irregular cellular automata based models.** *International Journal of Geographical Information Science*, 31(3), 617-636. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1219035>
- Das, S., & Sarkar, R. (2019). **Predicting the land use and land cover change using Markov model: A catchment level analysis of the Bhagirathi-Hugli River.** *Spatial Information Research*, 27(4), 439-452. <https://doi.org/10.1007/s41324-019-00251-7>
- Eastman, J. R. (2016). *TerrSet—Geospatial Monitoring and Modeling System Manual*. Clark University. <https://n9.cl/z4wdn>
- GAD Municipal Cuenca. (2021). **Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca—Actualización 2021.** *Plan de Uso y Gestión del Suelo del Cantón Cuenca*. <https://n9.cl/i4voj>
- Gidey, E., Dikinya, O., Sebego, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2017). **Cellular automata and Markov Chain (CA\_Markov) model-based predictions of future land use and land cover scenarios (2015–2033) in Raya, northern Ethiopia.** *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1245-1262. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0397-6>
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). **La caja de herramientas de la prospectiva estratégica.** 103.
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). **Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios.** *Sustainability*, 10(10), 3421. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- Hyandye, C., & Martz, L. W. (2017). **A Markovian and cellular automata land-use change predictive model of the Usangu Catchment.** *International Journal of Remote Sensing*, 38(1), 64-81. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1259675>
- Keshtkar, H., & Voigt, W. (2016). **Potential impacts of climate and landscape fragmentation changes on plant distributions: Coupling multi-temporal satellite imagery with GIS-based cellular automata model.** *Ecological Informatics*, 32, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.02.002>
- Miklos, T. (2002). **Planeación prospectiva y estratégica.** 10. <https://n9.cl/v2991>

Omar, N. Q., Sanusi, S. A. M., Hussin, W. M. W., Samat, N., & Mohammed, K. S. (2014). **Markov-CA model using analytical hierarchy process and multiregression technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 20, 012008.** <https://doi.org/10.1088/1755-1315/20/1/012008>

Pinos, N. (2016). **Prospective land use and vegetation cover on land management—Case canton Cuenca.** *Estoa*, 005(009), 7-19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>

Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Wang, N., & Lin, Y. (2017). **Monitoring and Modeling of Spatiotemporal Urban Expansion and Land-Use/Land-Cover Change Using Integrated Markov Chain Cellular Automata Model.** *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 288. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090288>

Sánchez, Á. C. (2018). **Planificación para el desarrollo con enfoque prospectivo en Bolivia, Ecuador, Guatemala y Perú.** *Pensamiento Crítico*, 22(2), 73. <https://doi.org/10.15381/pc.v22i2.14331>

Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2019). **Guía para la formulación/actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.** <https://n9.cl/uns4>