



Direccionalidad del crecimiento poblacional e identificación de sectores futuros desabastecidos de servicios básicos para la toma de decisiones en ordenamiento territorial

Maestría en Geomática con
mención en Ordenamiento
Territorial

Autor: Renzo Patricio Avila Abril

Directora: PhD Daniela Ballari

Co-director: Msc. Omar Delgado I.

Cuenca – Ecuador

2014

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios por darme la fortaleza de ante las adversidades me ha permitido seguir adelante, a mi madre Olimpia y a mi hermana Gabriela que son las personas que siempre han estado a mi lado y me han brindado el apoyo necesario para continuar adelante no solo en este trabajo sino en todo lo realizado en mi vida y por ellas sigo luchando.

Gracias por estar a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi directora Daniela Ballari por todo su apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo, el conocimiento compartido y por el apoyo moral brindado en los momentos difíciles presentados en el transcurso de la elaboración del mismo.

A Omar Delgado co-director de este trabajo que me brindó el apoyo necesario con sus conocimientos para poder resolver algunas dudas y seguir adelante. Ante todo en este documento quisiera agradecerle la oportunidad que me brindó permitiéndome seguir esta maestría y el apoyo brindado en el transcurso de la misma.

A mis compañeros y amigos de la maestría que en todo momento me apoyaron tanto en el transcurso de la maestría como en la elaboración de este trabajo, no quisiera olvidarme de nadie y por eso no coloco todos los nombres, pero quiero dar un especial agradecimiento a Xavier, Martín, Federico y Diego por la amistad brindada en todo el transcurso dentro y fuera de la maestría.

Al Ing. Victor Iglesias por el apoyo brindado siempre con los conocimientos necesarios para poder continuar en el desarrollo del trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Jardín Azuayo, en especial a la Ing. Com. Graciela Quezada por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gran familia y permitirme continuar con mi desarrollo profesional.

A la Municipalidad de Cuenca, a la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca – ETAPA EP, a la Secretaria Nacional del Agua – SENAGUA, a la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo – SENPLADES, al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC, a la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, por la información brindada para la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

El crecimiento desordenado de la población, asociado a las condiciones geográficas características de la región andina, han dificultado la prestación de servicios básicos en la ciudad de Cuenca. Se plantea dos objetivos: 1) Proyectar hacia donde se dirigirá el crecimiento poblacional de la ciudad en 2015 y 2030, utilizando el método de cadenas Markov combinado con autómatas celulares; esto sirve de base para determinar los futuros sectores desabastecidos de servicios de agua potable y alcantarillado. 2) Implementar una herramienta que permita visualizar de manera integrada la dotación de servicios básicos de agua potable y alcantarillado actual y a futuro.

Palabras clave

Cadenas Markov, CA_Markov, autómatas celulares, visor de mapas, opengeo, población Cuenca Ecuador.

ABSTRACT

The uncontrolled growth of population associated with geographical conditions, characteristics of the Andean region, has hampered the offer of basic services in the city of Cuenca. Two objectives are targeted: 1) Project where the population growth of the city will go in 2015 and 2030, using the Markov chains method combined with cellular automata. This provides a basis for determining future undersupplied areas of drinking water and sewerage. 2) Implement a tool to visualize an integrated manner to provide basic water services and sewerage at the present and in the future.

Keywords: Markov Chains, CA_Markov, cellular automata, map viewer, OpenGeo, population, Cuenca.



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Keywords

Markov Chains, CA_Markov, celular autómatas, map viewer, OpenGeo, population, Cuenca

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
Palabras clave.....	iv
ABSTRACT.....	iv
Keywords.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Materiales.....	2
1.1. Área de estudio.....	2
1.2. Datos Base.....	4
1.3. Datos de apoyo.....	9
1.4. Herramientas de software.....	10
2. Métodos.....	10
2.1. Identificación de sectores actuales desabastecidos de servicios básicos.....	11
2.2. Direccionalidad del crecimiento poblacional.....	11
2.2.1. Cadenas de Markov.....	11
2.2.2. Elaboración de escenarios.....	13
2.1. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos.....	14
2.2. Visor de información.....	14
3. Implementación.....	15
3.1. Identificación de sectores actuales desabastecidos de servicios básicos.....	15
3.2. Direccionalidad del crecimiento poblacional.....	16
3.2.1. Direccionalidad del crecimiento poblacional.....	26
3.1. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos.....	27
3.2. Visor de información.....	27
4. Resultados.....	28
4.1. Direccionalidad del crecimiento poblacional.....	28
4.1.1. Escenario límite sectores externos.....	28
4.1.2. Escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo	34
4.1.3. Escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo	40
4.1.4. Discusión.....	45
4.2. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos.....	46
4.2.1. Resultados zonas desabastecidas actuales.....	46

4.2.2.	Resultados zonas desabastecidas futuras	50
4.2.3.	Discusión	51
4.3.	Visor de información	52
5.	Conclusiones.....	55
6.	Referencias bibliográficas	56
7.	ANEXOS	59

Índice de mapas, tablas, imágenes, gráficos y anexos

Mapa 1.	Límite crecimiento población, límite de la ordenanza más sectores externos.	3
Mapa 2.	Límite crecimiento de población, urbano más parroquias aledañas.	4
Mapa 3.	Centroides de predios urbano de Cuenca, año 2009.	5
Mapa 4.	Centroides de predios urbano de Cuenca, año 2012.	5
Mapa 5.	Red de agua potable, año 2013.....	6
Mapa 6.	Red de alcantarillado, año 2013.	6
Mapa 7.	Zonas de riego del cantón Cuenca.	8
Mapa 8.	Zonas de protección del cantón Cuenca.	8
Mapa 9.	Manzanas INEC – SI_CUENCA.	9
Mapa 10.	Manzanas urbanas del cantón Cuenca, año 2009.	16
Mapa 11.	Manzanas urbanas del cantón Cuenca, año 2012.	17
Mapa 12.	Zona poblada urbana de Cuenca, año 2009.	18
Mapa 13.	Zona poblada urbana de Cuenca, año 2012.	18
Mapa 14.	Escenario límite sectores externos, raster reclasificado.....	21
Mapa 15.	Escenario límite parroquias aledañas, raster reclasificado.	22
Mapa 16.	Escenario límite parroquias aledañas sin considerar zonas de protección y de riesgo, raster reclasificado.	23
Mapa 17.	Resultados CA_Markov, escenario sectores externos.	29
Mapa 18.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de riesgo al año 2015 y 2030.	32
Mapa 19.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de protección al año 2015 y 2030.....	32
Mapa 20.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada al año 2015 y 2030.	33
Mapa 21.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada al año 2015 y 2030.	34
Mapa 22.	Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo.	35
Mapa 23.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de riesgo.	38
Mapa 24.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de protección al año 2015 y 2030.....	38
Mapa 25.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada al año 2015 y 2030.	39
Mapa 26.	Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada al año 2015 y 2030.	40
Mapa 27.	Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo.	41

Mapa 28. Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo, sobrepuesto sobre las zonas de riesgo del cantón Cuenca.	42
Mapa 29. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada.	44
Mapa 30. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada.	45
Mapa 31. Densidad de predios que no cuentan con servicio de agua potable por parroquia urbana.	47
Mapa 32. Densidad de predios que no cuentan con servicio de alcantarillado por parroquia urbana.	48
Mapa 33. Red existente del servicio de agua potable.	50
Mapa 34. Red existente del servicio de alcantarillado.	51
Mapa 35. Densidad poblacional del acuerdo a sectores censales.	60
Mapa 36. Categorías de ordenación PDOT Cuenca.	62
Tabla 1. Capas de información utilizadas.	7
Tabla 2. Márgenes de protección caudales de agua.	7
Tabla 3. Escenarios propuestos.	14
Tabla 4. Área de crecimiento, escenario límite sectores externos, año 2015 y 2030.	30
Tabla 5. Matriz de probabilidad de transición, escenario límites externos, año 2015 y 2030.	30
Tabla 6. Matriz de áreas de transición (en número de celdas), escenario límites externos, año 2015 y 2030.	31
Tabla 7. Área de crecimiento, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.	36
Tabla 8. Matriz de probabilidad de transición, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.	36
Tabla 9. Matriz de áreas de transición (en números de celdas), escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.	37
Tabla 10. Área de crecimiento, escenario límite parroquias aledañas, año 2015 y 2030.	42
Tabla 11. Matriz de probabilidad de transición, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.	43
Tabla 12. Matriz de áreas de transición, escenario límite parroquias aledañas, año 2015 y 2030.	43
Tabla 13. Densidad poblacional año 2015 y 2030.	61
Imagen 1. Imagen satelital IKONOS 2008 – 2009.	10
Imagen 2. Tipos de vecinos de un autómata celular.	12
Imagen 3. Esquema utilizado obtener la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población.	13
Imagen 4. Esquema de una aplicación web.	15
Imagen 5. Esquema del proceso para la obtención de la zona poblada.	19
Imagen 6. Esquema del proceso para la elaboración de los escenarios de entrada para el análisis de Markov considerando zonas de riesgo y zonas de protección.	24
Imagen 7. Esquema del proceso para la elaboración del escenario de entrada para el análisis de Markov sin zonas de riesgo y zonas de protección.	25
Imagen 8. Esquema del método de cadenas de Markov.	26
Imagen 9. Esquema plataforma OpenGeo suite.	28
Imagen 10. Capas disponibles en el visor de información.	52
Imagen 11. Capas disponibles en el visor de información.	53
Imagen 12. Ejemplo visor de información.	54
Imagen 13. Ejemplo visor de información.	54
Imagen 14. Ejemplo visor de información.	55

Gráfico 1. Predios con servicio de agua potable.	46
Gráfico 2. Predios con servicio de alcantarillado.	47
Gráfico 3. Porcentaje de predios con servicio de agua potable por parroquia.	49
Gráfico 4. Porcentaje de predios con servicio de agua potable por parroquia.	49
Anexo N° 1: Diferencia existente entre el número de predios de los años base utilizados – 2009 y 2012 – y el área que representan estos centroides	59
Anexo N° 2: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento de la población cotejado con la densidad de población en sectores censales	59
Anexo N° 3: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento cotejado con el número de habitantes proyectado para los años – 2015 y 2030 –	60
Anexo N° 4: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento cotejado con las categorías de ordenación y políticas establecidas en ordenanza por PDOT de Cuenca	61

Renzo Patricio Avila Abril

Trabajo de graduación

Daniela Ballari - Omar Delgado

Febrero, 2014

Direccionalidad del crecimiento poblacional e identificación de sectores futuros desabastecidos de servicios básicos para la toma de decisiones en ordenamiento territorial

INTRODUCCIÓN

Debido a que se ha presentado un crecimiento desordenado de la población de la ciudad de Cuenca, asociado a las condiciones topográficas y morfológicas, se ha dificultado la prestación de los servicios básicos y se ha producido un elevado índice de desabastecimiento de los mismos. Los servicios básicos que requieren los habitantes de los diferentes sectores de la ciudad están relacionados entre sí. Un ejemplo de esto es que para brindar el servicio eléctrico se debe considerar la existencia de una red vial; de igual manera en los sectores donde se dote de servicio de agua, es necesario considerar una alternativa óptima de saneamiento (sistemas de alcantarillado), para lo cual se requiere la planificación vial. Es decir, los servicios siempre se encuentran asociados. Sin embargo, dado las necesidades latentes y el crecimiento desordenado de la población, los servicios antes mencionados han sido brindados a la colectividad de forma individual teniendo sectores que no cuentan con todos los servicios.

Por lo antes expuesto, se debe asociar la prestación de servicios con la planificación y el ordenamiento del territorio. Para poder realizar esto, se evidencia la necesidad de contar primero con una proyección hacia donde se dirigirá el crecimiento poblacional. La determinación de la proyección direccional del crecimiento poblacional se basa en modelos predictivos. Un modelo predictivo, que permite la generación de escenarios futuros, es de gran utilidad en el contexto de la planificación ya que permite organizar de mejor manera la prestación de los servicios básicos. El método de cadenas de Markov es ampliamente utilizado como herramienta para la elaboración de modelos predictivos, principalmente para determinar el cambio del uso del suelo. Ejemplos del uso de cadenas de Markov se encuentran en: Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo (García Rubio, Schmook, & Espejel Carvajal, 2005) que utiliza este método para conocer la dirección de los cambios en el uso de suelo y las tendencias; Análisis del proceso de cambio de uso y categoría de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros (Sandoval Verdugo,

2009) en el cual se utiliza este método para determinar la probabilidad de cambio de uso de suelo; Dinámica de crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos en el gran Buenos Aires (Argentina), 1869-2011. Análisis espacial basado en sistemas de información geográfica (Baxendalle & Buzai, 2011) en el cual se utiliza el método en la predicción de la evolución espacial del uso del suelo urbano.

En particular, el método de cadenas de Markov simula la predicción de un área en un tiempo determinado a partir de dos estados precedentes. Este método utiliza los cambios ocurridos para calcular la probabilidad de cambio en un periodo de tiempo. El algoritmo utilizado compara dos mapas o imágenes que se suceden cronológicamente y estima y configura una matriz de probabilidad. Este método no tiene en cuenta las variables explicativas y descriptivas, sino que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema (Paegelow, Camacho Olmedo, & Toribio, 2003). Las cadenas de Markov se combinan con modelos de autómatas celulares para considerar explícitamente la naturaleza espacial del análisis. Así se asume que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Henríquez, Azócar, & Aguayo, 2006)

Esta tesis presenta dos objetivos principales. El primer objetivo es determinar la proyección hacia donde se dirigirá el crecimiento poblacional de la ciudad de Cuenca a los años 2015 y 2030, utilizando para esto el método de cadenas Markov combinado con autómatas celulares. Esto servirá de base para determinar los futuros sectores desabastecidos de servicios básicos de agua potable y alcantarillado. El segundo objetivo es implementar una herramienta, que basada en servicios de mapas en la web, permita visualizar de manera integrada la dotación de servicios básicos de agua potable y alcantarillado existentes así como los lugares dentro de la ciudad de Cuenca que carecen actualmente y a futuro de estos servicios.

1. Materiales

1.1. Área de estudio

El área estudio para esta tesis será el área urbana del cantón Cuenca, el cantón Cuenca es uno de los 15 cantones de la Provincia del Azuay, se encuentra ubicado en la región Centro Sur de la República del Ecuador. Su capital es la Ciudad de Santa Ana de los Ríos de Cuenca, altura promedio es de 2.560 metros sobre el nivel del mar y su población es de 505.585 habitantes, de los cuales 331.888 se localizan en el área urbana y 173.697 personas viven en el sector rural (INEC, 2010).

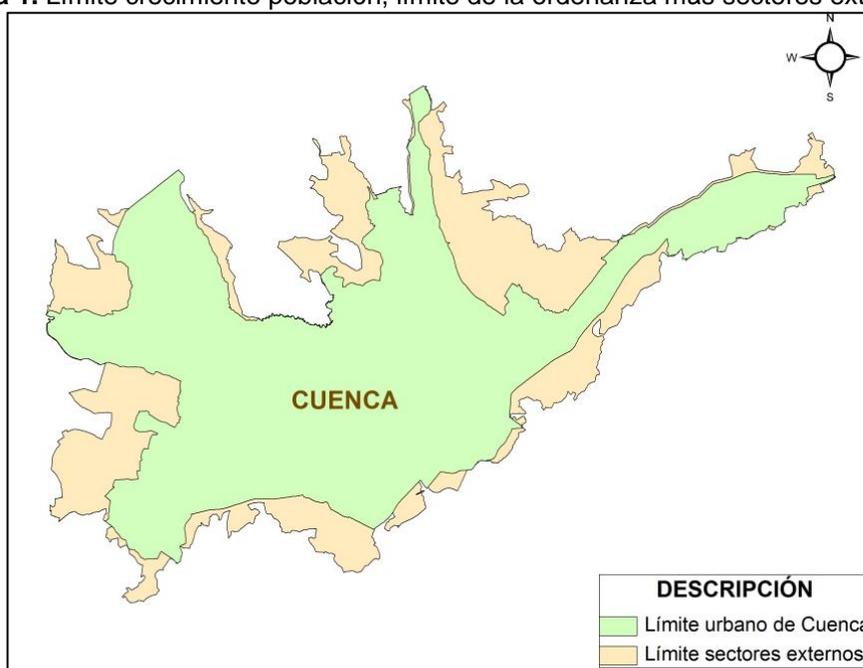
El territorio rural del Cantón se encuentra dividido en 21 Parroquias, que son: Baños, Chaucha, Checa, Chiquintad, Cumbe, El Valle, Llacao, Molleturo, Nulti, Octavio Cordero Palacios, Paccha,

Quingeo, Ricaurte, San Joaquín, Santa Ana, Sayausí, Sidcay, Sinincay, Tarqui, Turi y Victoria del Portete.

El sector Urbano está formado por las parroquias de: Bellavista, Cañaribamba, El Batán, El Sagrario, El Vecino, Gil Ramírez Dávalos, Hermano Miguel, Huayna Cápac, Machángara, Monay, San Blas, San Sebastián, Sucre, Totoracocha, Yanuncay.

Para el desarrollo del análisis de Markov se tomaron en cuenta dos límites de posible crecimiento de la población. El primero fue facilitado por el Municipio de Cuenca, el cual consiste en el límite de la ordenanza más sectores externos a la misma (Mapa 1). Los sectores externos que se han agregado son debidos a la presencia de poblados en los mismos. El segundo límite está conformado por las parroquias aledañas a la cabecera cantonal incluyendo la misma. Para la elaboración de este límite se utilizó la capa de la división político administrativa del 2011 elaborada por el INEC (Mapa 2).

Mapa 1. Límite crecimiento población, límite de la ordenanza más sectores externos.



Elaborado por: Elaboración propia.
Fuente: Municipalidad de Cuenca. INEC 2011.

Mapa 2. Límite crecimiento de población, urbano más parroquias aledañas.

Elaborado por: Elaboración propia.

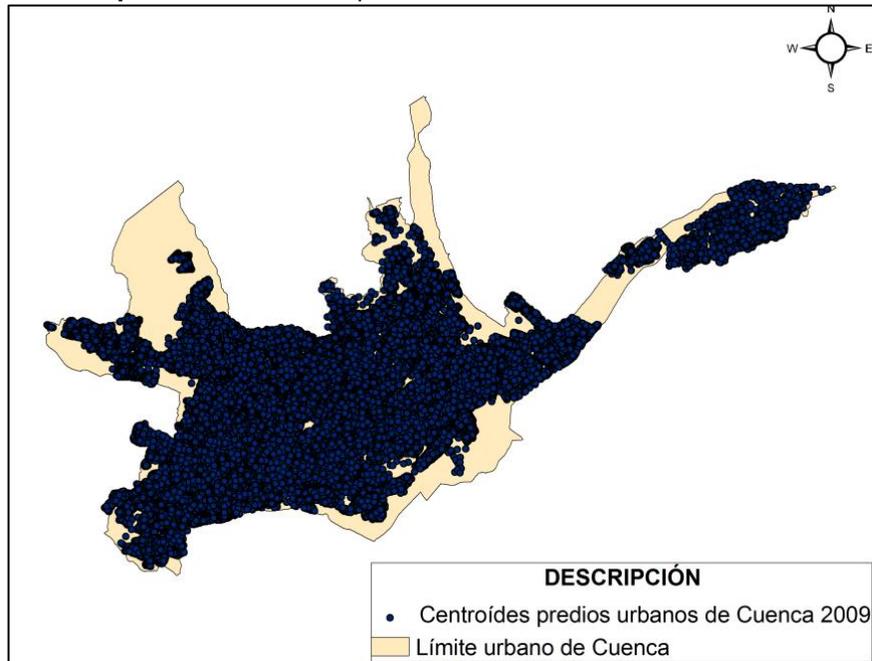
Fuente: Municipalidad de Cuenca. INEC 2011.

1.2. Datos Base

La información base para los análisis realizados se detalla a continuación:

- Centroides predios años 2009 y 2012: A la Municipalidad de Cuenca se solicitó la información de los predios de la Ciudad, a través de su departamento de avalúos y catastros. Esta institución brindó los centroides levantados de los predios a corte del año 2009 y del año 2012, estos datos corresponden únicamente a la zona urbana de la Ciudad (Mapas 3 y 4).

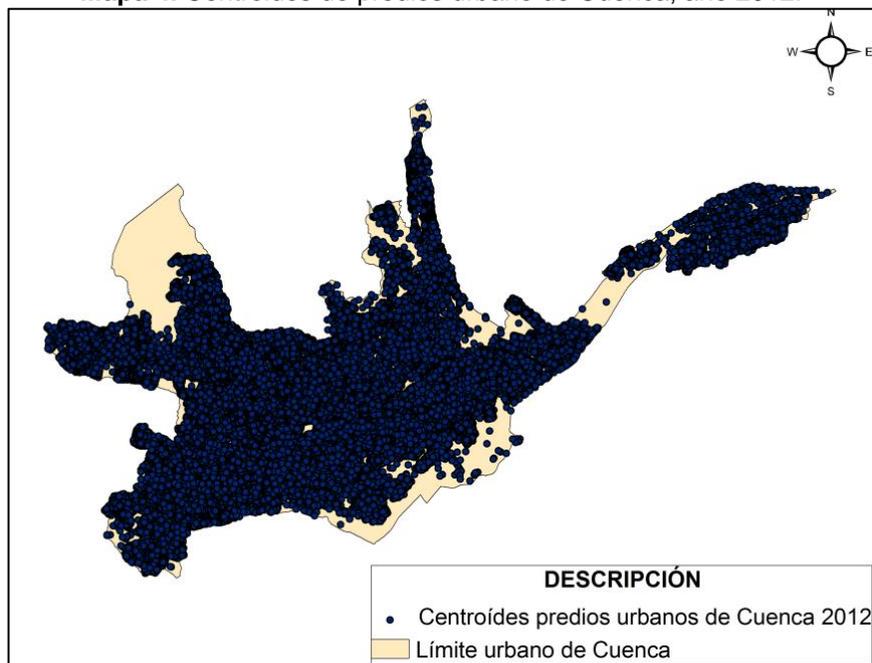
Mapa 3. Centroides de predios urbano de Cuenca, año 2009.



Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: Municipalidad de Cuenca.

Mapa 4. Centroides de predios urbano de Cuenca, año 2012.



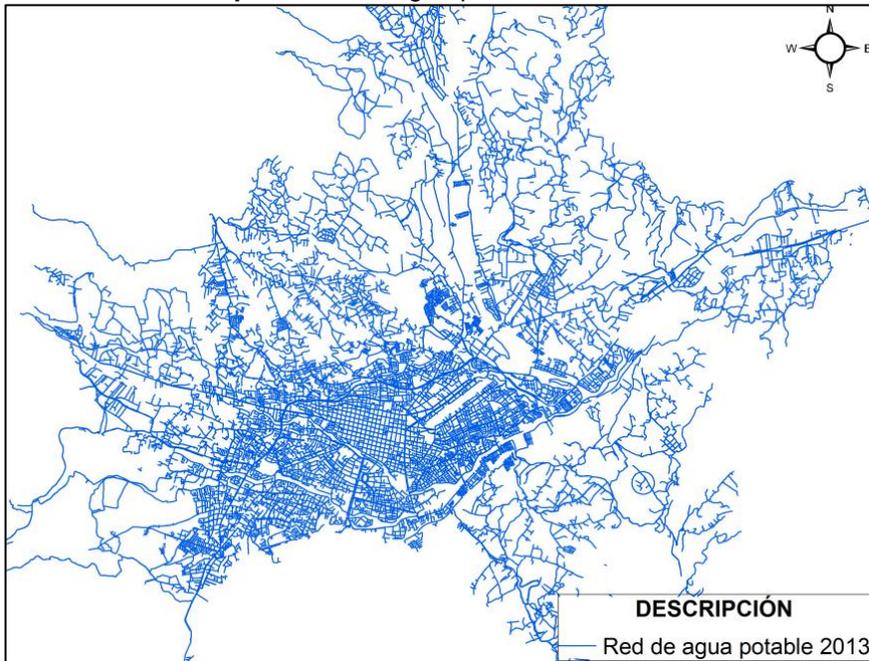
Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: Municipalidad de Cuenca.

- Redes de servicios de agua potable y alcantarillado: A la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA -

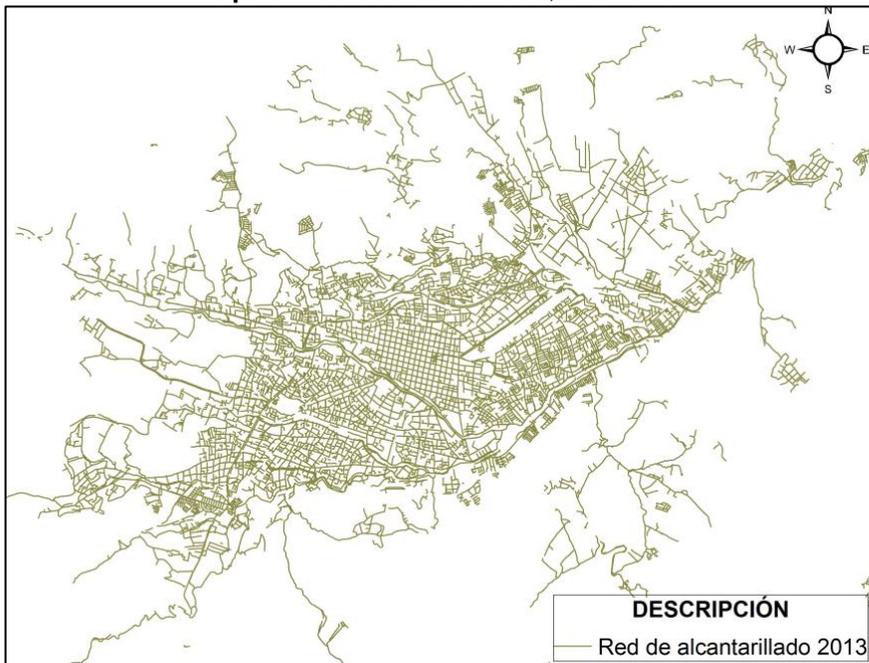
EP) se solicitó las redes de servicios de agua potable y alcantarillado con las que cuenta actualmente la empresa, la información brindada por la ETAPA - EP esta con corte a enero del 2013 (Mapas 5 y 6).

Mapa 5. Red de agua potable, año 2013.



Elaborado por: Elaboración propia.
Fuente: ETAPA – EP.

Mapa 6. Red de alcantarillado, año 2013.



Elaborado por: Elaboración propia.
Fuente: ETAPA – EP.

- Datos riesgo y protección: Se procedió a solicitar la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) la información referente al Proyecto de Prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute 1998 (PRECUPA), además se solicitó a la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) la información referente a los riesgos existentes dentro del cantón Cuenca al igual que a la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), a esta última adicionalmente se solicitó la información referente a hidrografía y zonas de protección del Cantón. De la información brindada por parte de las instituciones mencionadas se utilizó para el análisis la detallada en la Tabla 1.

Tabla 1. Capas de información utilizadas.

Información	Escala	Fuente
Zonas de derrumbe	1:25.000	PRECUPA
Zonas de deslizamiento	1:25.000	PRECUPA
Zonas geológicamente inestables	1:25.000	PRECUPA
Zonas de inundación	1:25.000	PRECUPA
Zonas de alta intensidad sísmica	1:250.000	SENPLADES
SNAP	1:250.000	SENPLADES
Patrimonio de áreas naturales	1:250.000	SENPLADES
Hidrografía	1:50.000	SENPLADES

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: PRECUPA. SENPLADES.

A partir de la información de hidrografía del Cantón facilitada por SENPLADES se generaron los márgenes de protección a los caudales de agua, basándose en los tipos de caudal (Tabla 2).

Tabla 2. Márgenes de protección caudales de agua.

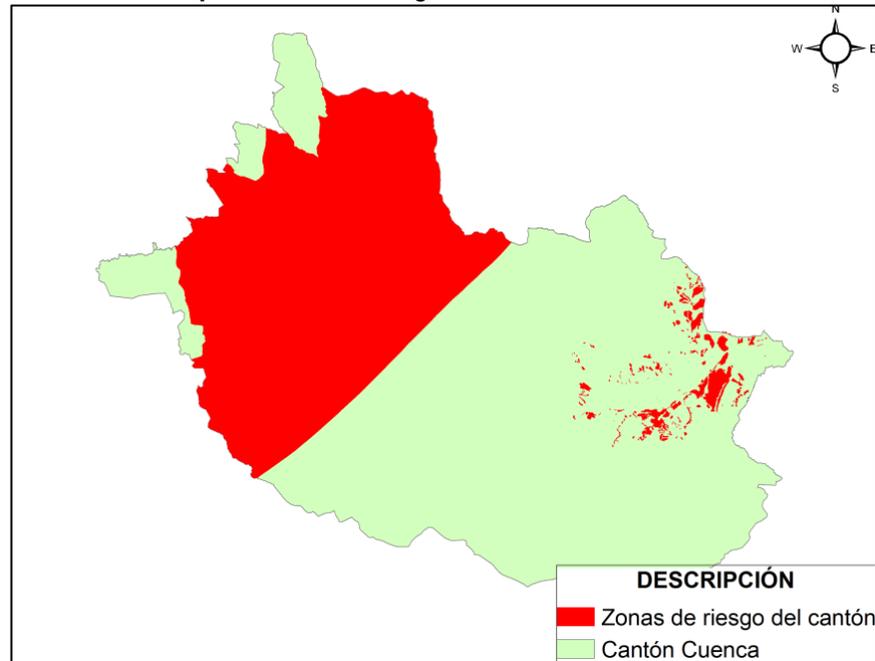
Tipo de caudal	Margen de protección
Acequia, Canal, Estero y Reservorio	20 m.
Quebradas	20 m.
Río Simple	40 m.
Río Doble	50 m.
Lagunas y Pantanos	50 m.

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: SENPLADES.

Las zonas de riesgo y de protección del Cantón utilizados en el análisis, se pueden observar en los Mapas 7 y 8 respectivamente.

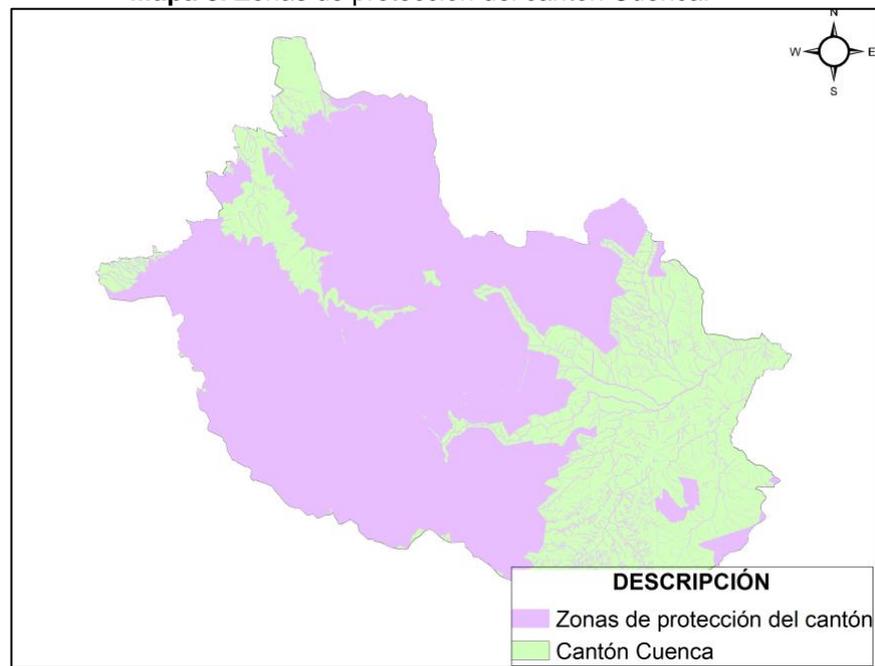
Mapa 7. Zonas de riego del cantón Cuenca.



Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: PRECUPA. SENPLADES.

Mapa 8. Zonas de protección del cantón Cuenca.



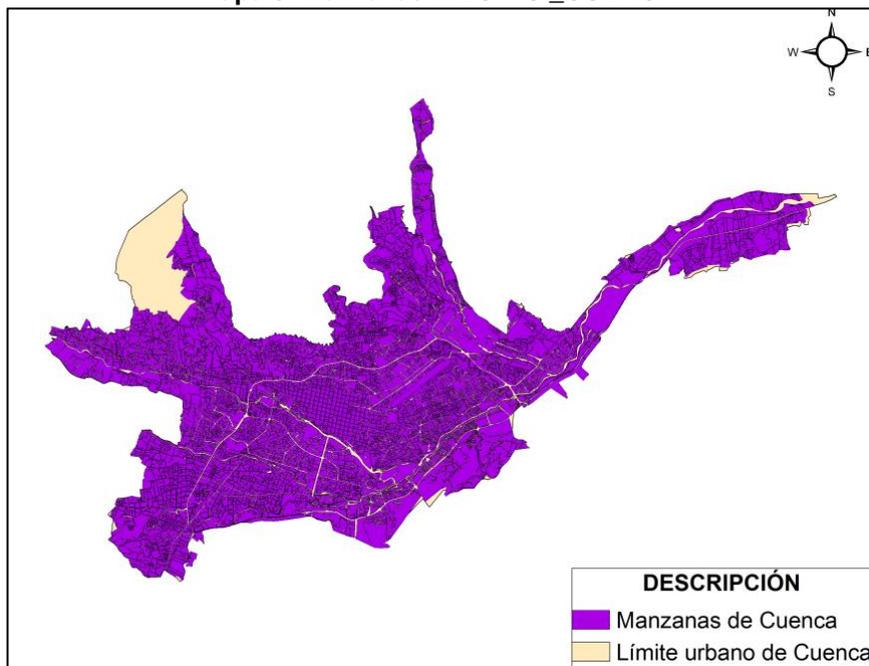
Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: SENPLADES.

1.3. Datos de apoyo

- Amanzanamiento: Al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) se solicitó las manzanas correspondientes a la ciudad de Cuenca, la información entregada por esta institución es con corte al año 2010, para complementar la información de las manzanas de Cuenca esta fue integrada con la información referente a las manzanas publicadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca por SI_CUENCA correspondiente al año 2008. Las manzanas consolidadas del INEC y SI_CUENCA son las presentadas en la Mapa 9.

Mapa 9. Manzanas INEC – SI_CUENCA.



Elaborado por: Elaboración propia.
Fuente: INEC 2011. SI_CUENCA 2008.

- Fotografía satelital: Para completar la información necesaria para algunos análisis se tomó como base la fotografía satelital IKONOS de Cuenca del año 2008 - 2009 revisada el sitio web <http://www.eltiempo10.com/ec/callejero-de-cuenca.html> (Imagen 1).

Imagen 1. Imagen satelital IKONOS 2008 – 2009.

Elaborado por: <http://www.eltiempo10.com/ec/callejero-de-cuenca.html>

Fuente: <http://www.eltiempo10.com/ec/callejero-de-cuenca.html>

1.4. Herramientas de software

- Preparación de la información: Software ArcGis Desktop 9.3, que es un conjunto de productos de software producido y comercializado por ESRI, en el que se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica, es una familia integrada de productos de software GIS que permiten la construcción completa de un SIG (ESRI, 2009).
- Análisis de cadenas de Markov: Software Idrisi Taiga, que es un programa de interface que cuenta con una colección aproximada de 300 módulos que proveen utilidades para la entrada, visualización y análisis de datos geográficos (Eastman, 2012).
- Herramientas para generación de visor de información: OpenGeo suite que es una plataforma potente que facilita las herramientas necesarias para la generación de una aplicación web de mapas. Este aplica una base de datos espacial, un servidor de aplicaciones y un cliente API (OpenGeo).

2. Métodos

El método consiste en cuatro fases, primero se identifican los sectores actualmente desabastecidos de servicios básicos, segundo se determina la direccionalidad del crecimiento poblacional utilizando cadenas de Markov, tercero se identificación de sectores que a futuro se

encontrarán desabastecidos de servicios básicos, y cuarto se implementa la herramienta de visualización de los resultados.

2.1. Identificación de sectores actuales desabastecidos de servicios básicos

Para la identificación de los sectores desabastecidos de servicios básicos, se determinan los predios que cuentan con los servicios básicos, en este caso agua potable y alcantarillado. Para realizar este análisis se toma en cuenta la presencia de una red de los servicios mencionados cercana al predio, asumiendo que los predios que están cercanos a una red de servicio poseen el mismo y por ende los predios que no tienen una red cercana no poseen este servicio.

2.2. Direccionalidad del crecimiento poblacional

2.2.1. Cadenas de Markov

Para la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población se utilizó el método de Markov. El crecimiento de la población se representa espacialmente a través de clases de uso del suelo, en particular el uso del suelo destinado a zonas pobladas. Este método predice el estado de una clase de uso del suelo en un momento determinado t_2 a partir de dos estados precedentes t_0 y t_1 . El método considera que los cambios observados en un periodo de tiempo tienen tendencia a repetirse en un periodo posterior (Paegelow, Camacho Olmedo, & Menor Toribio, 2002). Por ello se calcula la probabilidad de cambio de una clase de uso del suelo a otra con base en la matriz de transición de cambios de un cierto lapso de tiempo.

En este caso se utilizan como datos de entrada mapas de usos del suelo en los años 2009 y 2012, para realizar una proyección al año 2015 y 2030.

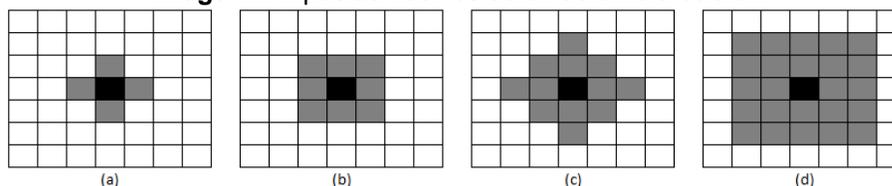
Para aplicar este método se debe calcular:

- Una matriz de probabilidad de transición, la que indica la probabilidad de que un pixel de una clase de uso del suelo cambie a cualquier otra clase (o permanezca en la misma clase) en el siguiente periodo de tiempo.
- Una matriz de áreas de transición, la que expresa el área total (en número de pixeles) que se espera que cambie en el próximo período de tiempo.
- Un grupo de imágenes de probabilidad condicional, una para cada clase de uso del suelo. Estos mapas expresan la probabilidad de que cada pixel pertenezca a la clase designada en el próximo período de tiempo. Éstos se llaman mapas de probabilidad condicional porque esta probabilidad es condicional en su estado actual.

Las cadenas de Markov también se combinan con modelos de autómatas celulares (AC). De esta forma se considera explícitamente la naturaleza espacial de los datos y asume que las

áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Henríquez, Azócar, & Aguayo, 2006). Cadenas de Markov con autómatas celulares consta de una matriz de células en las que cada célula puede asumir, en un momento dado, uno de los “n” estados discretos, es decir tipos de uso del suelo (Tobler, 1979; White & Engelen, 1997). El lapso de tiempo es discreto y en cada lapso todas las células pueden cambiar de valor dependiendo de las células existentes en la vecindad de cada una de ellas. La vecindad considerada puede estar formada por las celdas inmediatamente contiguas a la celda en cuestión, puede ser vecindad de Von Neumann o vecindad de Moore (Oñate Valdivieso, 2009). Para el caso del módulo CA_MARKOV de Idrisi se utiliza por defecto el tipo Von Neumann Extendido (c).

Imagen 2. Tipos de vecinos de un autómata celular.



(a) Von Neumann, (b) Moore, (c) Von Neumann Extendido, (d) Moore Extendido

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: (Oñate Valdivieso, 2009).

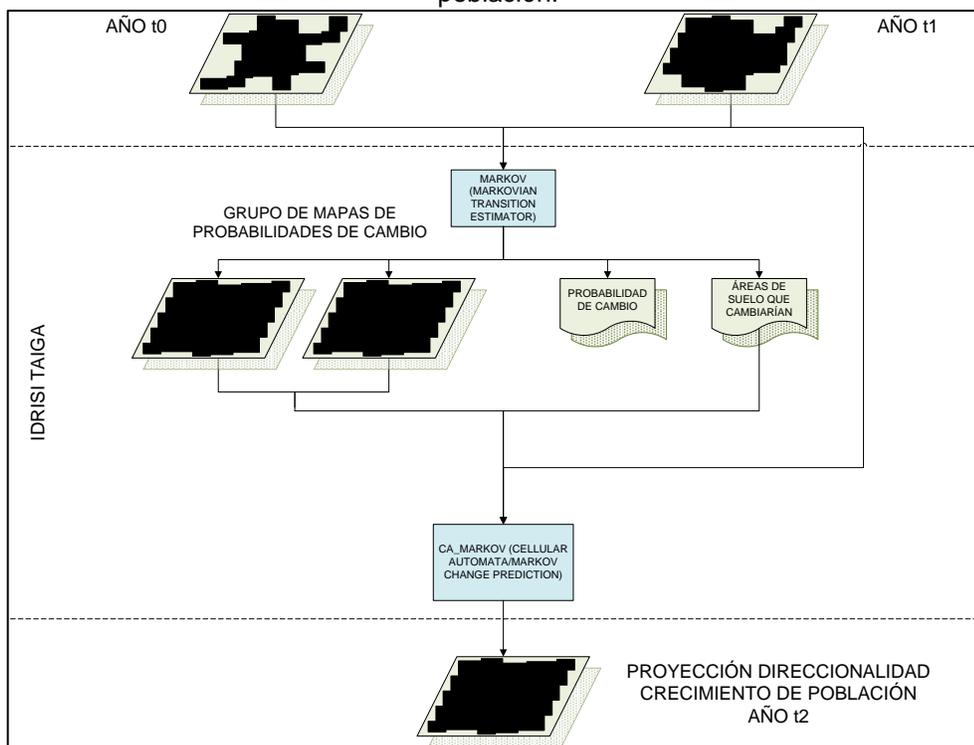
El valor de aptitud de una clase de una celda se puede incrementar en caso de que a su alrededor existan otras celdas con su mismo tipo, además el cambio debe darse en conformidad de un conjunto específico de reglas de transición (Engelen, White, Uljee, & Drazan, 1995). Para este caso las reglas consideradas son que el cambio que se puede dar es únicamente de zona no poblada a poblada, no puede existir ningún otro cambio entre categorías.

Como datos de entrada para aplicar el método de Cadenas de Markov con autómatas celulares se utilizan:

- El mapa de usos del suelo de referencia, sobre el cual se realizará la proyección (sistema en tiempo t_1).
- La matriz de áreas de transición calculadas con cadenas de Markov.
- Un grupo de imágenes de probabilidad condicional para cada una de las clases de uso del suelo, este insumo al igual que el anterior se obtiene de la aplicación del módulo cadenas de Markov.

La Imagen 3 muestra un esquema con la explicación paso a paso del método utilizado para el cálculo de la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población, o lo que es lo mismo para el crecimiento de la categoría de uso del suelo urbano.

Imagen 3. Esquema utilizado obtener la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población.



Elaborado por: Elaboración propia.

2.2.2. Elaboración de escenarios

Para la elaboración de escenarios de análisis, los usos del suelo en los años 2009 y 2012 (zona poblada y zona no poblada), se combinaron con las siguientes categorías:

- Límites de crecimiento de población (límite urbano más sectores externos y límite urbano más parroquias aledañas).
- Restricciones (sin restricciones o con restricciones de zonas de protección y zonas de riesgo).

Se elaboraron un total de 3 escenarios. Cada escenario propuesto se lo elaboró para las dos instancias de tiempo en los años 2009 y 2012, de acuerdo a los dos límites de crecimiento de población establecidos en la sección área de estudio, límite urbano municipal más sectores externos y límite urbano municipal más parroquias aledañas. Así mismo se consideró con y sin restricciones de zonas de protección y riesgo para el caso del límite urbano más parroquias

aledañas. Estas restricciones se mantuvieron como constantes en los dos años y en los dos límites establecidos (Tabla 3).

Tabla 3. Escenarios propuestos.

Escenario	Uso del suelo	Año	Restricciones de zonas de protección y riesgo	Limite
1	Zona poblada	2009	Con restricciones	Urbano más sectores externos
	Zona no poblada	2012	Con restricciones	Urbano más sectores externos
2	Zona poblada	2009	Con restricciones	Urbano más parroquias aledañas
	Zona no poblada	2012	Con restricciones	Urbano más parroquias aledañas
3	Zona poblada	2009	Sin restricciones	Urbano más parroquias aledañas
	Zona no poblada	2012	Sin restricciones	Urbano más parroquias aledañas

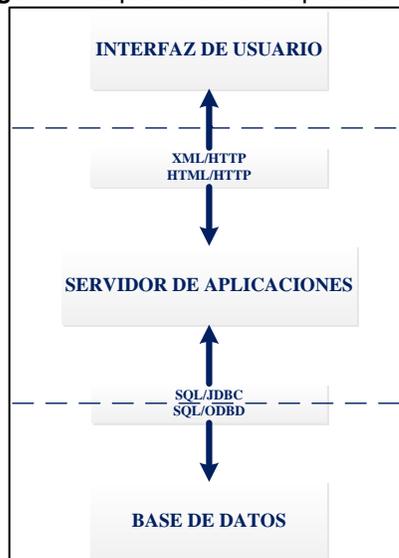
Elaborado por: Elaboración propia.

2.1. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos

Una vez obtenido los lugares hacia los cuales se produce la direccionalidad del crecimiento de la población, se procede a comparar esta información con las redes de los servicios de agua potable y alcantarillado para identificar cuáles son las zonas a futuro que no contarían con redes para la dotación de estos servicios.

2.2. Visor de información

El visor de información se basa en servidores de mapas en la web (en inglés WMS Web Map Service) que permiten visualizar, de forma estándar, información geográfica a través de la web. Los mapas generados por un WMS pueden visualizarse a través de un navegador web, también llamado cliente ligero, como son Mozilla, Chrome o Internet Explorer. La arquitectura manejada por estas aplicaciones web es la de cliente/servidor de 3 capas (Imagen 4). El cliente (navegador web) a través de una interfaz de usuario accede al servidor de aplicaciones a través de internet, el cual a su vez procesa las rutinas y consulta la información en la base de datos. La información es formateada por el servidor y devuelta al cliente para su visualización.

Imagen 4. Esquema de una aplicación web.

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: (OpenGeo).

3. Implementación

3.1. Identificación de sectores actuales desabastecidos de servicios básicos

Para identificar los predios que presentan servicios se utilizó la herramienta “Buffer” de ArcGis Desktop 9.3, generando un área de influencia, que para el caso del servicio de alcantarillado se procesó con una distancia de 20 metros a partir de la red y para el servicio de agua potable con una distancia de 50 metros a partir de las red, estos valores fueron impuestos para la elaboración de este análisis.

Luego se aplicó la herramienta “Select Layer By Location” de ArcGis Desktop 9.3, para seleccionar los centroides de los predios que se intersectaban con los buffer de las redes de agua potable y alcantarillado. Como resultado, los predios no seleccionados se encuentran desabastecidos de servicios.

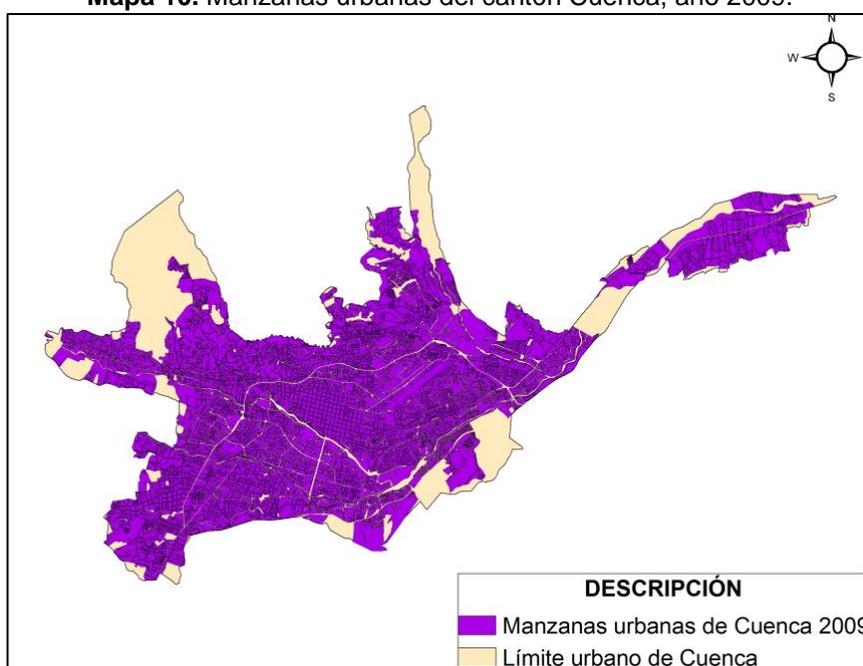
Existieron casos en los cuales debido a las grandes extensiones de algunos predios, los centroides entregados por el Municipio de Cuenca quedaron fuera del área de cobertura de las redes de servicios, pero esto no involucra necesariamente que estos predios no cuenten con el servicio debido a que no se está considerando la forma del mismo. Debido a esta circunstancia se realizó una revisión de estos casos particulares de forma manual con la ayuda de la fotografía satelital IKONOS 2008 – 2009 para determinar la dotación o no del servicio.

3.2. Direccionalidad del crecimiento poblacional

Zonas Pobladas de los años 2009 y 2012

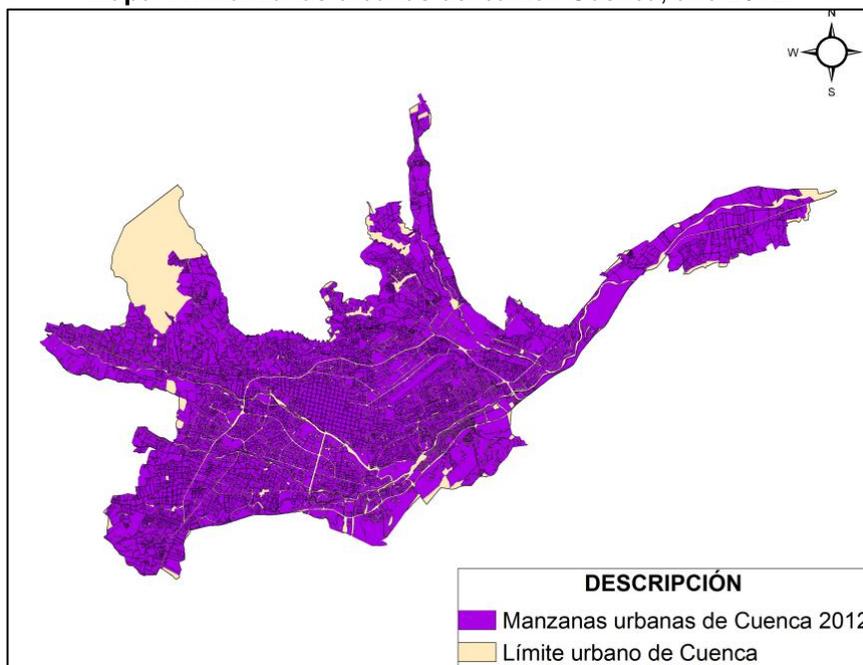
Se utilizó la información a las manzanas de la Ciudad (INEC y SI_CUENCA) y los centroides de los predios (Municipalidad de Cuenca), para obtener las manzanas correspondientes al año 2009 y 2012. Para ello se aplicó la herramienta "Intersect" de ArcGis Desktop 9.3 entre las capas de centroides de cada uno de los años y la capa de manzanas, devolviendo en este caso las manzanas que tienen centroides de predios en su interior para cada año. Las manzanas intersectadas correspondientes al año 2009 y 2012 se pueden ver en los Mapas 10 y 11 respectivamente.

Mapa 10. Manzanas urbanas del cantón Cuenca, año 2009.



Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: INEC 2011. SI_CUENCA 2008. Municipalidad de Cuenca.

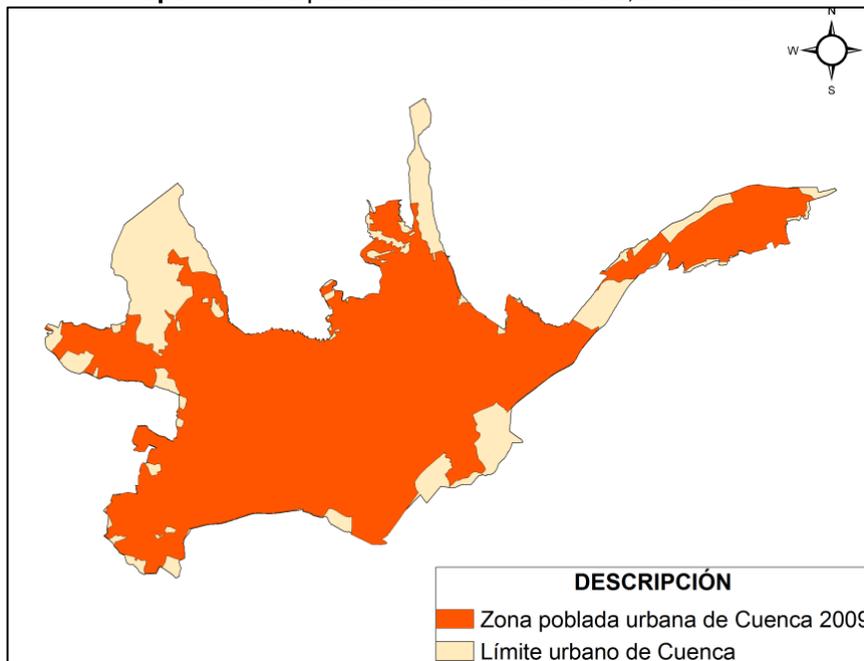
Mapa 11. Manzanas urbanas del cantón Cuenca, año 2012.

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: INEC 2011. SI_CUENCA 2008. Municipalidad de Cuenca.

Una vez que se obtuvo las manzanas correspondientes a los años utilizados para el estudio, se procedió a obtener la zona poblada de los dos años. Se creó un nuevo polígono que contenía a todos los polígonos de las manzanas utilizando herramienta "Auto-Complete Polygons" de ArcGis Desktop 9.3. Al realizar este proceso y debido a falta de centroides dentro de algunas manzanas, se presentaron algunos espacios en blanco en el polígono generado. Por tal motivo tomando como base la fotografía satelital IKONOS de Cuenca del año 2008 - 2009 se procedió a cerrar los espacios en blanco en los lugares que se pudo confirmar la existencia de población al año 2008. Las zonas pobladas resultantes de los dos años se pueden ver en los Mapas 12 y 13.

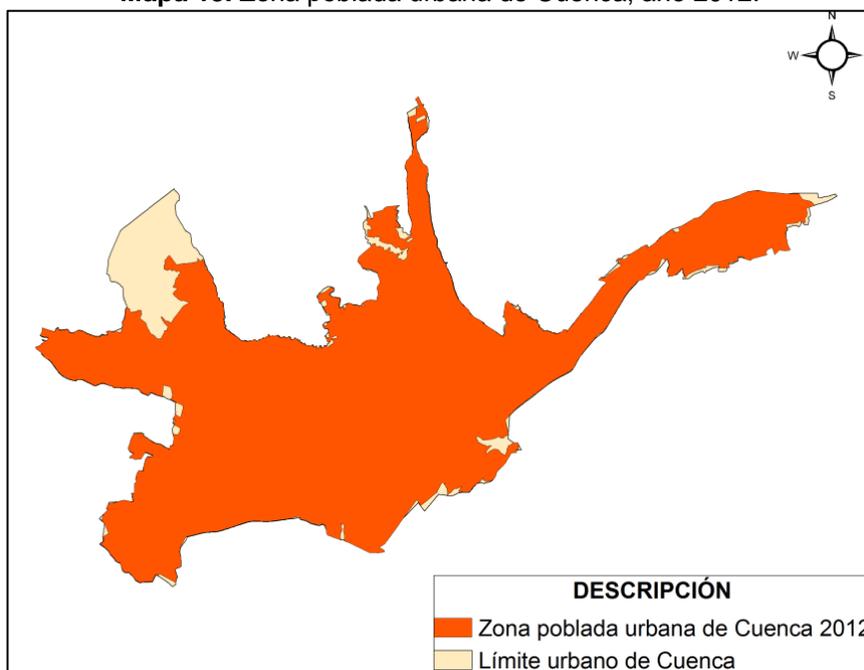
Mapa 12. Zona poblada urbana de Cuenca, año 2009.



Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: INEC 2011. SI_CUENCA 2008. Municipalidad de Cuenca.

Mapa 13. Zona poblada urbana de Cuenca, año 2012.

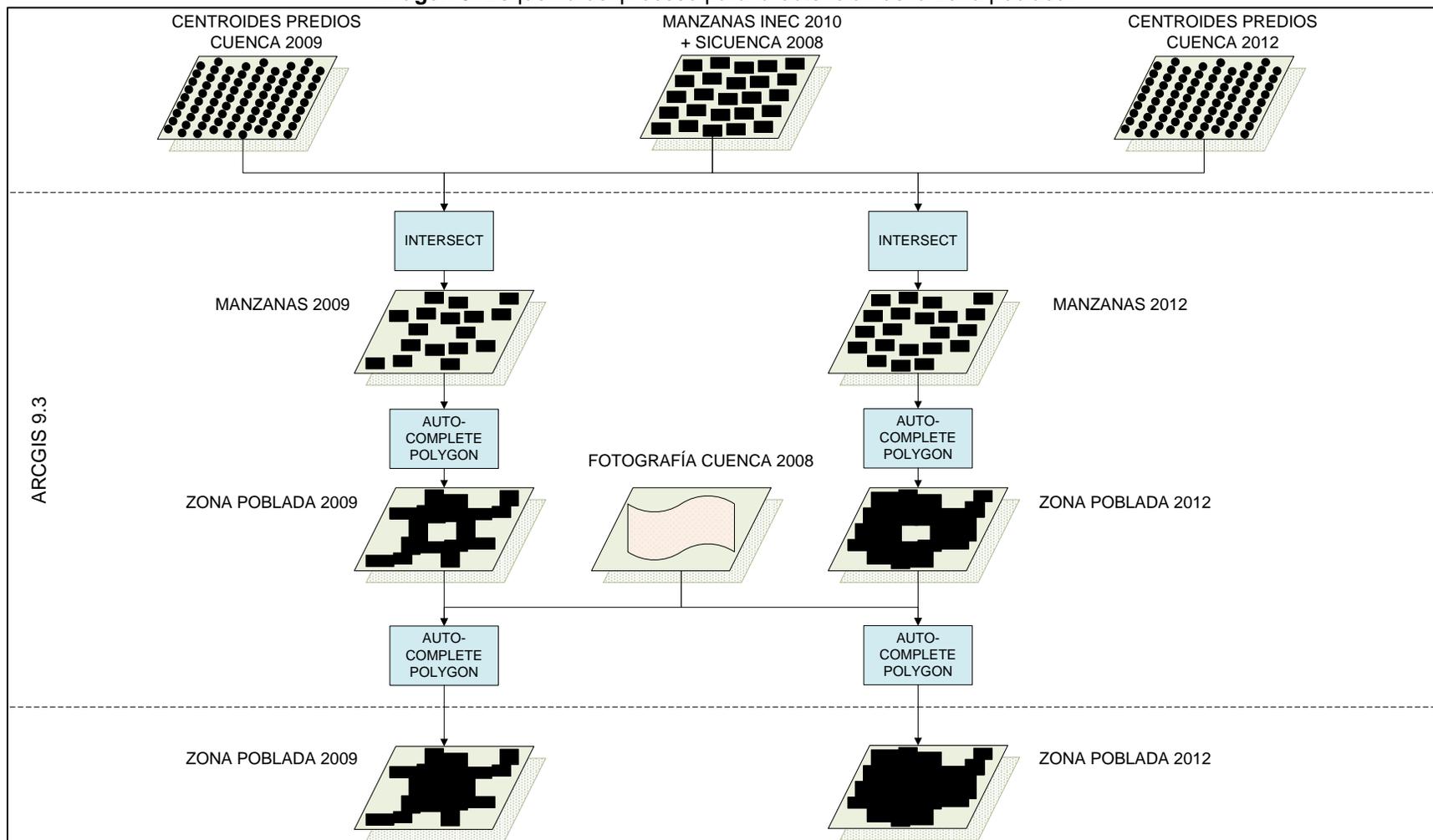


Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: INEC 2011. SI_CUENCA 2008. Municipalidad de Cuenca.

La Imagen 5 resume los tratamientos aplicados a los datos presentados en los párrafos anteriores.

Imagen 5. Esquema del proceso para la obtención de la zona poblada.



Elaborado por: Elaboración propia.

Zonas no pobladas de los años 2009 y 2012

Para obtener los sectores hacia los cuales se puede dar el crecimiento de la población, es decir zonas no poblada, año 2009 y año 2012, se suprimió de los dos límites de crecimiento población las zonas de riesgos (Mapa 7) y protección (Mapa 8) y así como las zonas pobladas ya calculadas (Mapas 12 y 13). Se utilizó la herramienta "Erase" de ArcGis Desktop 9.3. Existen zonas que coinciden, al mismo tiempo, como zonas de riesgo y protección, para estos casos se las definió como zona de riesgo debido a que las zonas de protección aunque son importantes pero debe prevalecer las zonas de riesgo en las cuales la zona poblada futura puede sufrir afecciones.

A continuación se procedió a obtener los sectores hacia los cuales se pudiese dar el crecimiento de la población (zona no poblada, año 2009 y año 2012), para lo cual del área comprendida dentro de los diferentes límites mediante la herramienta "Erase" de ArcGis Desktop 9.3, se suprimió todas las zonas de riesgos, protección y pobladas, obteniendo la zona no poblada del año 2009 y del año 2012.

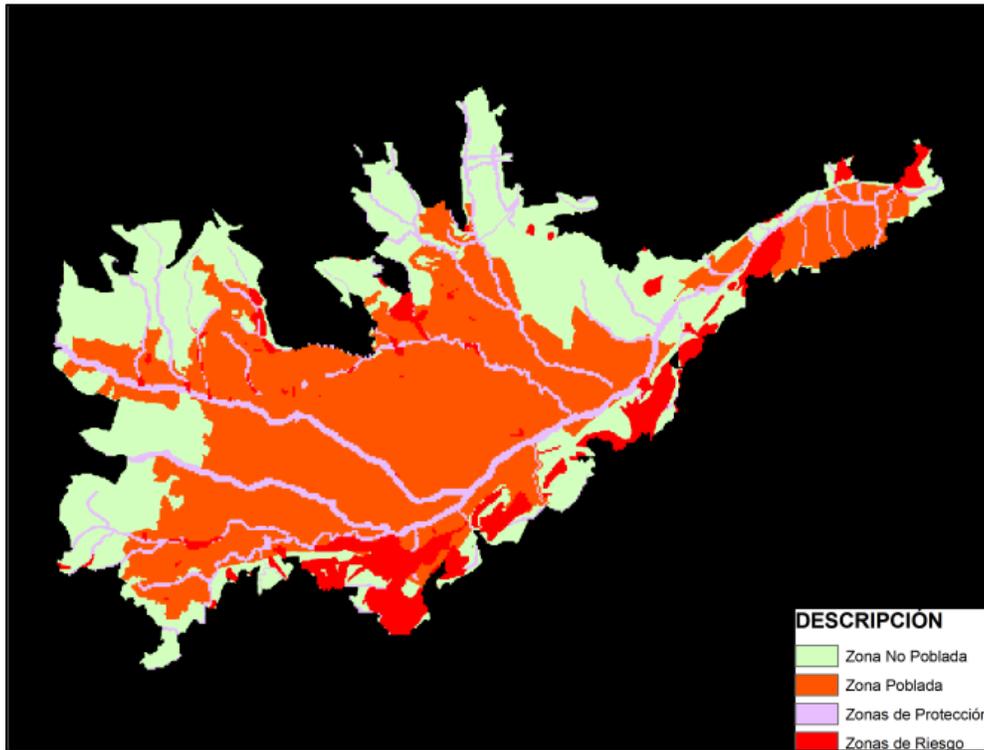
Escenarios

Para el análisis se plantearon tres escenarios, dos considerando zonas de protección y zonas de riesgo y un tercero sin considerar estas zonas, los límites que se utilizaron para los dos primeros escenarios son el límite con los sectores externos que se han agregado debido a la presencia de poblados en estos y el límite con las parroquias aledañas a la cabecera parroquial, para el tercer escenario se consideró el límite con las parroquias aledañas a la cabecera parroquial esto debido a que es más amplio que el primer límite propuesto.

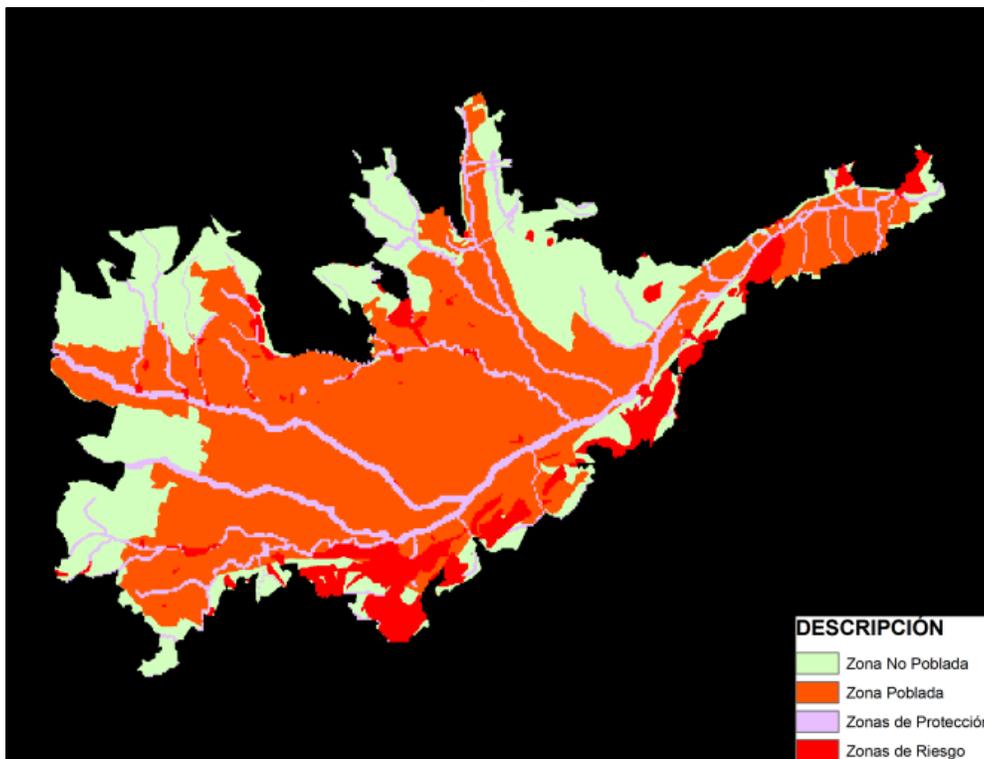
Una vez obtenidas las categorías necesarias para la elaboración de los escenarios propuestos, se procede mediante la herramienta "Union" de ArcGis Desktop 9.3, a la obtención de los escenarios a ser analizados según la Tabla 3. Estos procedimientos son presentados en la Imagen 6 para los escenarios 1 y 2 y en la Imagen 7 para el tercer escenario.

Previo a la ejecución del método de cadenas de Markov que se desarrolla dentro de Idrisi Taiga, se requiere que los datos de los escenarios estén en formato ASCII. A los escenarios obtenidos se los convirtió en primer lugar a Raster mediante la herramienta "Feature to Raster" de ArcGis Desktop 9.3 considerándose un tamaño de celda de 50 metros. Posteriormente se convirtió los raster a archivos ASCII mediante la herramienta "Raster to ASCII" del mismo software. De este proceso se obtienen los Mapas 14, 15 y 16 que se muestran a continuación.

Mapa 14. Escenario límite sectores externos, raster reclasificado.
AÑO 2009

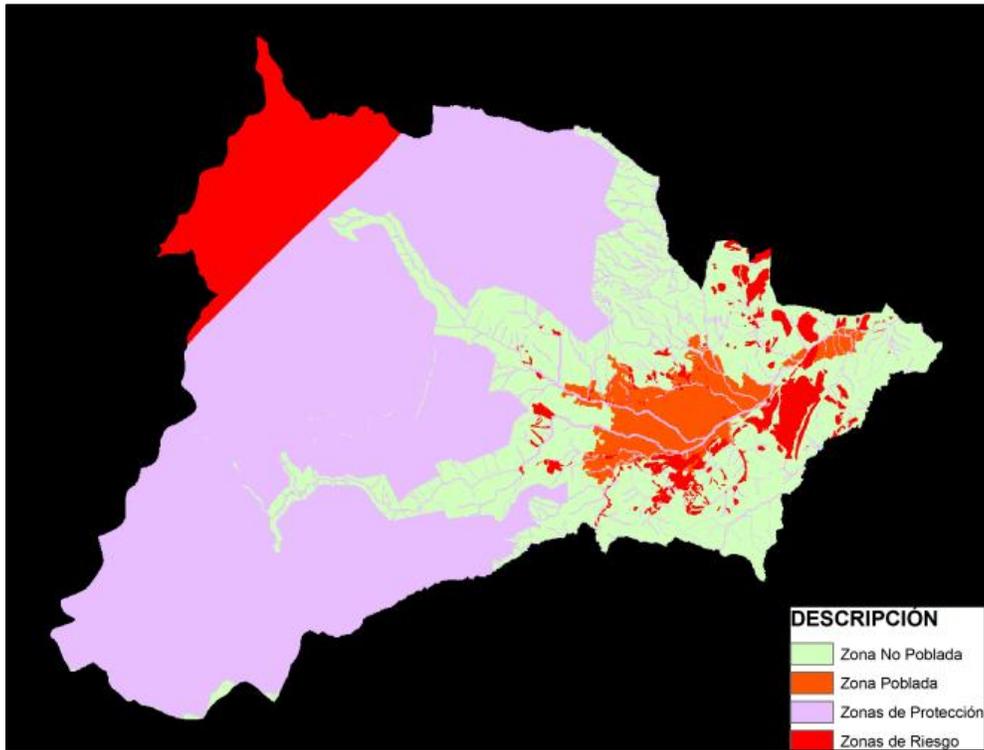


AÑO 2012

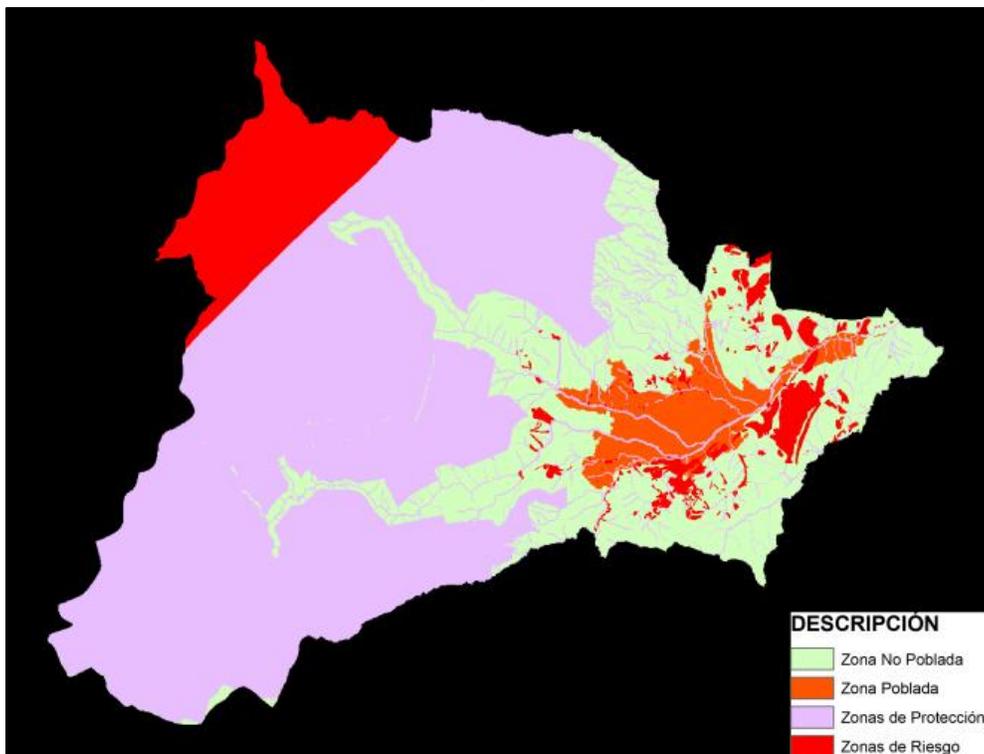


Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Mapa 15. Escenario limite parroquias aledañas, raster reclasificado.
AÑO 2009

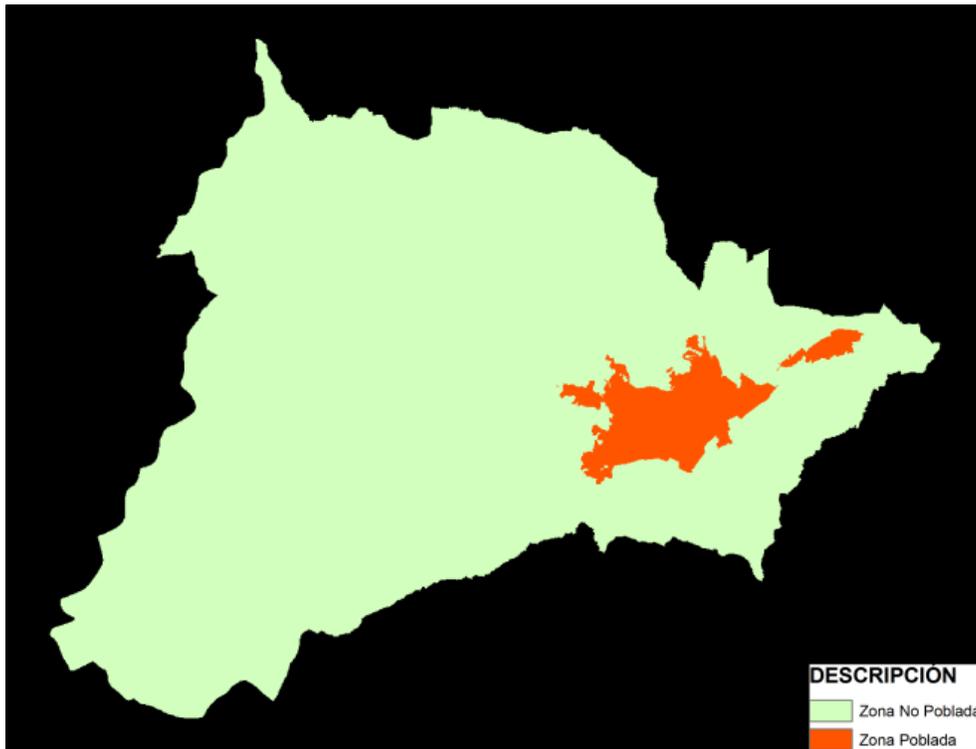


AÑO 2012

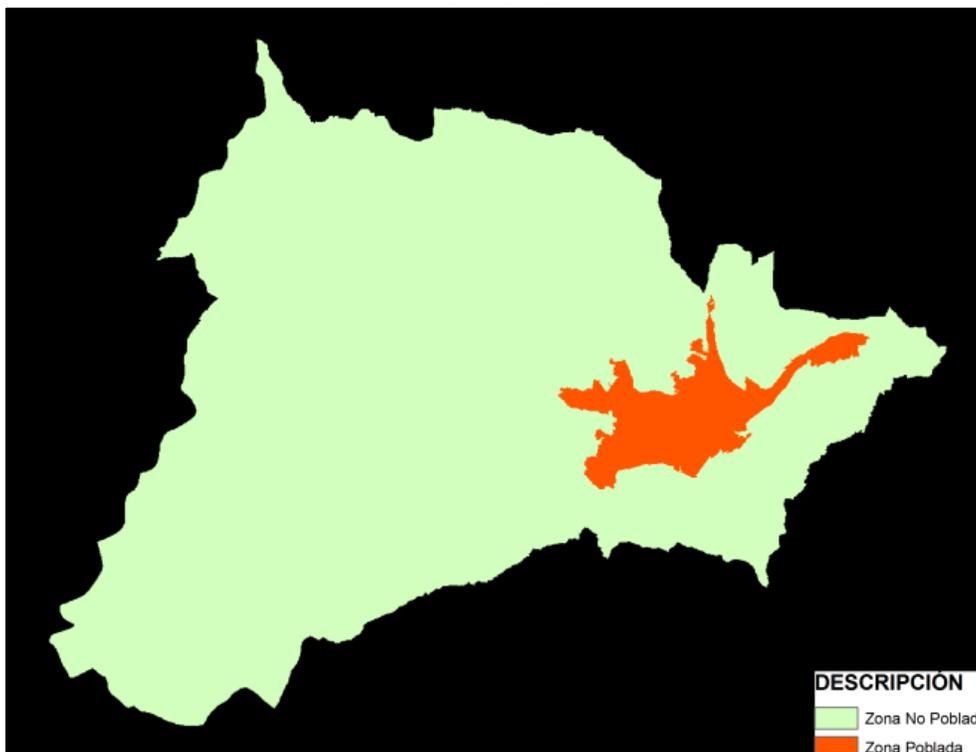


Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Mapa 16. Escenario límite parroquias aledañas sin considerar zonas de protección y de riesgo, raster reclasificado.
AÑO 2009

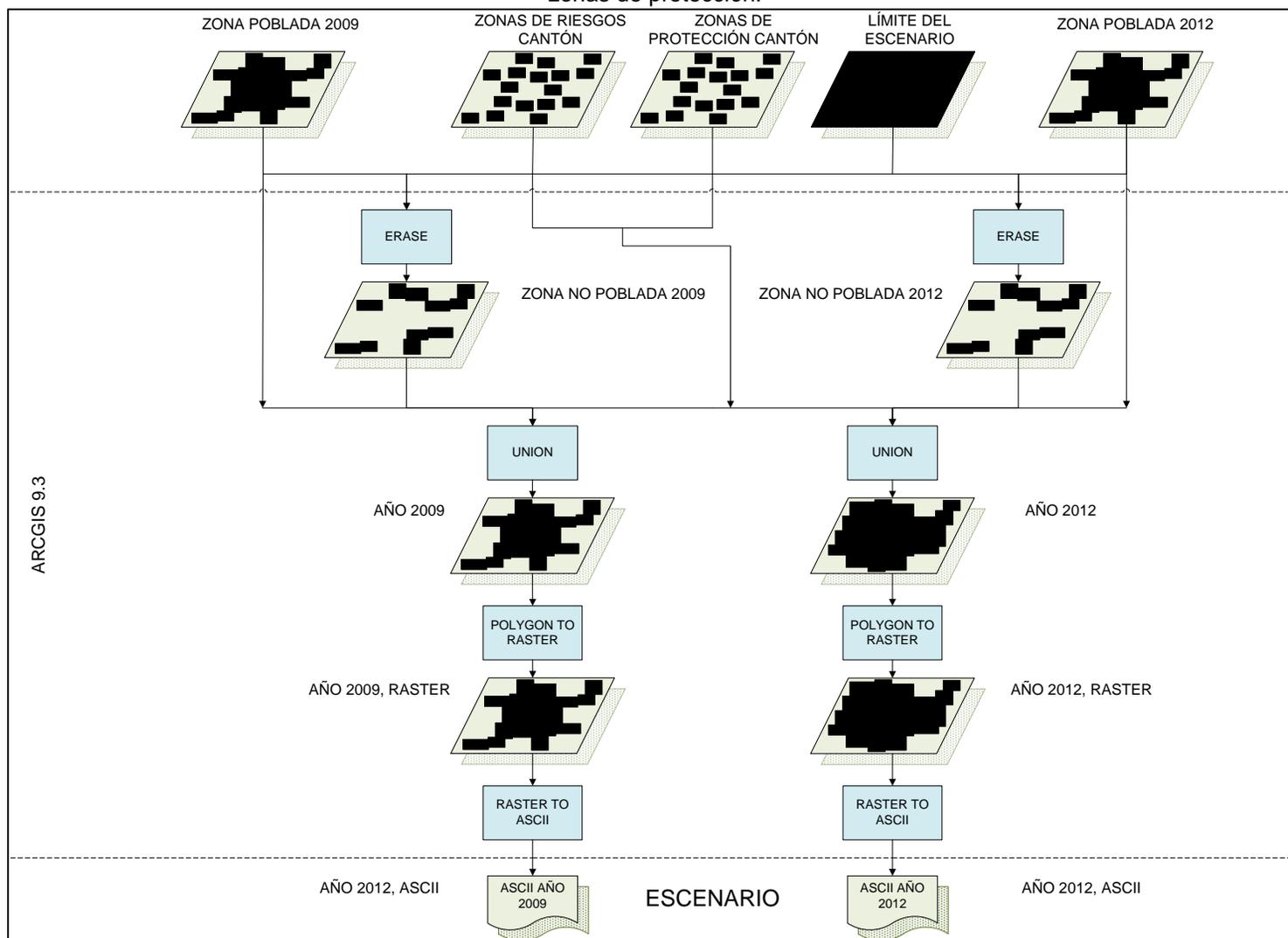


AÑO 2012



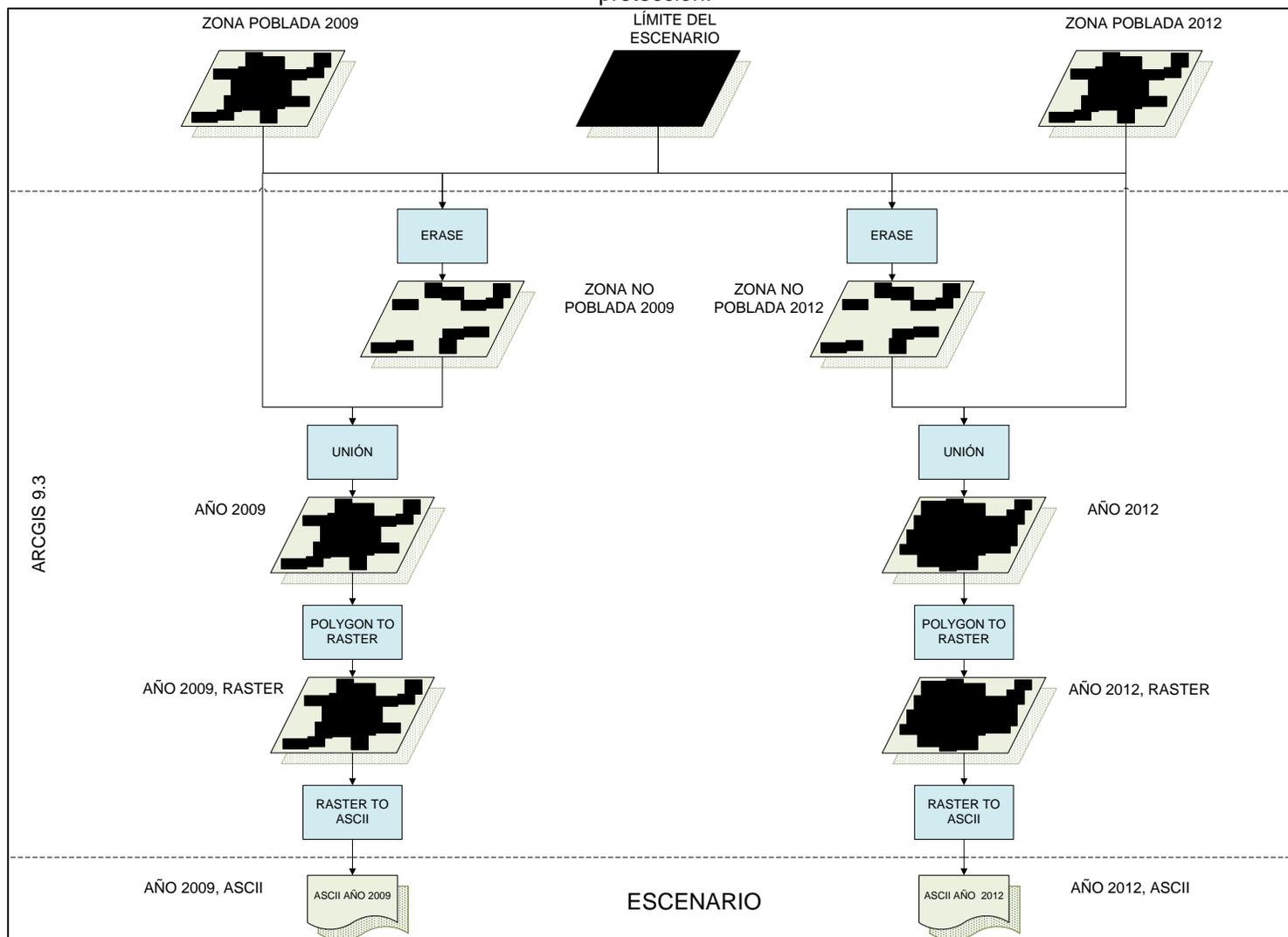
Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Imagen 6. Esquema del proceso para la elaboración de los escenarios de entrada para el análisis de Markov considerando zonas de riesgo y zonas de protección.



Elaborado por: Elaboración propia.

Imagen 7. Esquema del proceso para la elaboración del escenario de entrada para el análisis de Markov sin zonas de riesgo y zonas de protección.

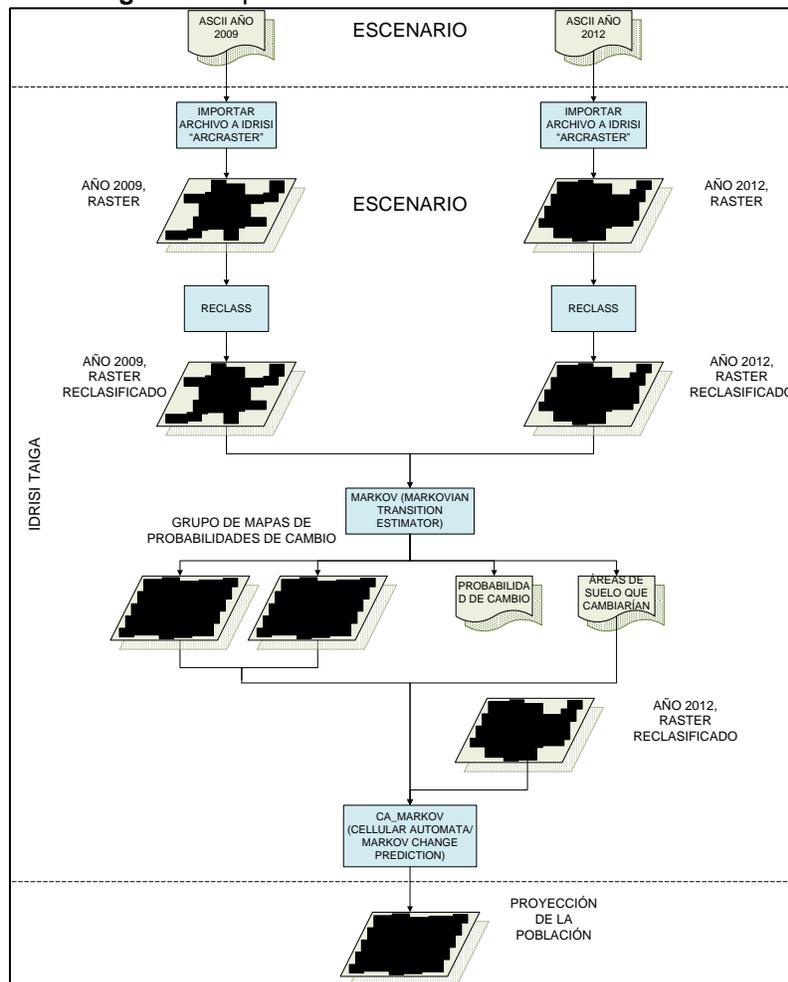


Elaborado por: Elaboración propia.

3.2.1. Direccionalidad del crecimiento poblacional

En primer lugar se procede a importar los raster ASCII de los escenarios elaborados a Idrisi Taiga en donde se ejecutará el análisis de cadenas de Markov. Luego se procede a realizar una reclasificación de los archivos generados para colocar en todos los pixeles que tienen el valor de -9999 (sin información) el valor de 0. A continuación para cada uno de los escenarios se aplica Markov con el objeto de determinar las proyecciones de la direccionalidad del crecimiento poblacional al año 2015 y 2030. Se obtienen la matriz de probabilidad de transición, matriz de áreas de transición y las imágenes de probabilidad condicional. Seguido se procedió, mediante la herramienta "CA_MARKOV" de Idrisi que combina cadenas de Markov con celular automático, a obtener la proyección de la direccionalidad del crecimiento poblacional. Para este método se toma como entrada la imagen de usos del suelo del año 2012 sobre la cual se deben proyectar los cambios, el archivo de áreas de transición, y el grupo de imágenes de probabilidad condicional producidas por Markov (Imagen 8).

Imagen 8. Esquema del método de cadenas de Markov.



Elaborado por: Elaboración propia.

3.1. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos

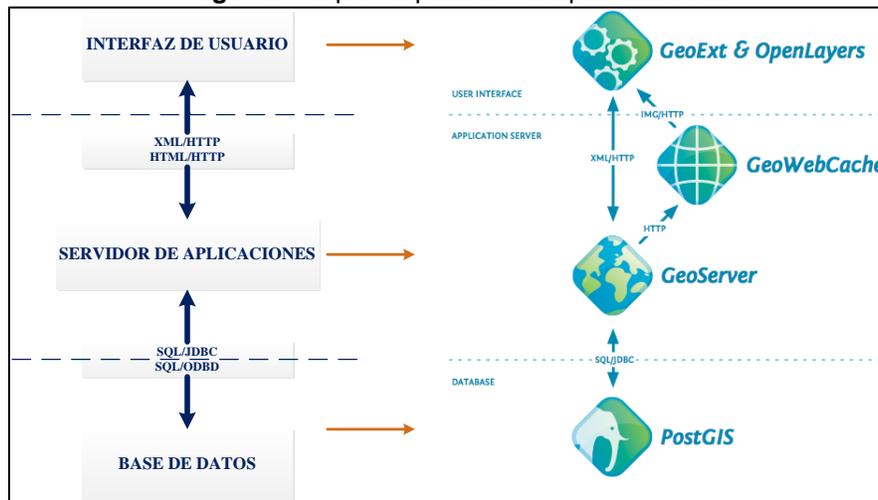
Una vez obtenido los lugares hacia los cuales se daría la direccionalidad del crecimiento de la población, se procedió a cargar las redes de los servicios de agua potable y alcantarillado para observar las zonas que no contarán con redes para la dotación de estos servicios. Esto se realizó con la herramienta ArcGis Desktop 9.3.

3.2. Visor de información

El visor de información se implementa con la plataforma OpenGeo suite. Sus herramientas se detallan a continuación:

- La base de datos espacial PostGIS, puede responder a las consultas, así como consultas de atributos estándar, es la herramienta para el almacenamiento de datos.
- El servidor de mapas GeoServer puede proporcionar acceso Web estándar para fuentes de datos GIS, es la herramienta que permite la carga y el intercambio de datos geoespaciales.
- GeoWebCache que es un servidor de cache, herramienta que permite acelerar de bloques que acelerar el acceso a los mapas.
- GeoExplorer interfaz gráfica que permite la generación y edición de mapas, se basa en GeoExt que incluye componentes de interfaz de usuario estándar y está basado en OpenLayers, esta permite componente que permite consumir mapas de múltiples fuentes y proporciona herramientas de captura y edición de datos.

La arquitectura manejada por la plataforma OpenGeo suite es similar a la de una aplicación web tradicional, estructurando las herramientas descritas con las que cuenta la plataforma se puede observar de mejor manera la relación existente entre esta y una arquitectura tradicional (OpenGeo).

Imagen 9. Esquema plataforma OpenGeo suite.

Elaborado por: Elaboración propia.

Fuente: (OpenGeo).

El sistema operativo utilizado para el desarrollo del visor de información es CentOS release 6.4., distribución de Linux de clase empresarial al que se puede acceder libremente, trabaja bajo Licencia Pública General de GNU. Además el servidor web utilizado es Apache Tomcat versión 7.0.142, que se trata de un servidor de aplicaciones contenedor de servlets que son mini aplicaciones para interpretar las peticiones de los usuarios y se interpretan en el navegador generando la página de forma dinámica. Como es escrito en java necesita que esté instalado el JDK en la máquina del servidor, para este caso se utilizó Jdk7.25 (Nexolinux, 2012).

4. Resultados

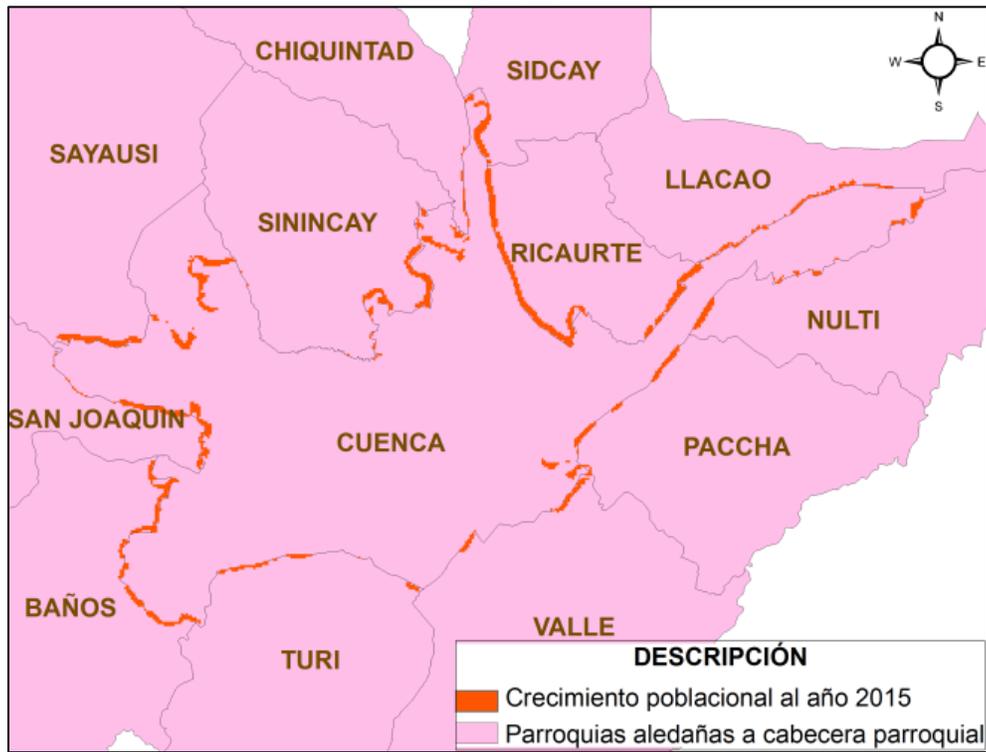
Los resultados se organizan en tres secciones. La primera respecto a la direccionalidad del crecimiento de la población a través de las Cadenas de Markov – CA_Markov, la segunda respecto a las zonas desabastecidas actuales y a futuro, y finalmente la tercera respecto al visor de información. Cada sección presenta una subsección con discusión.

4.1. Direccionalidad del crecimiento poblacional

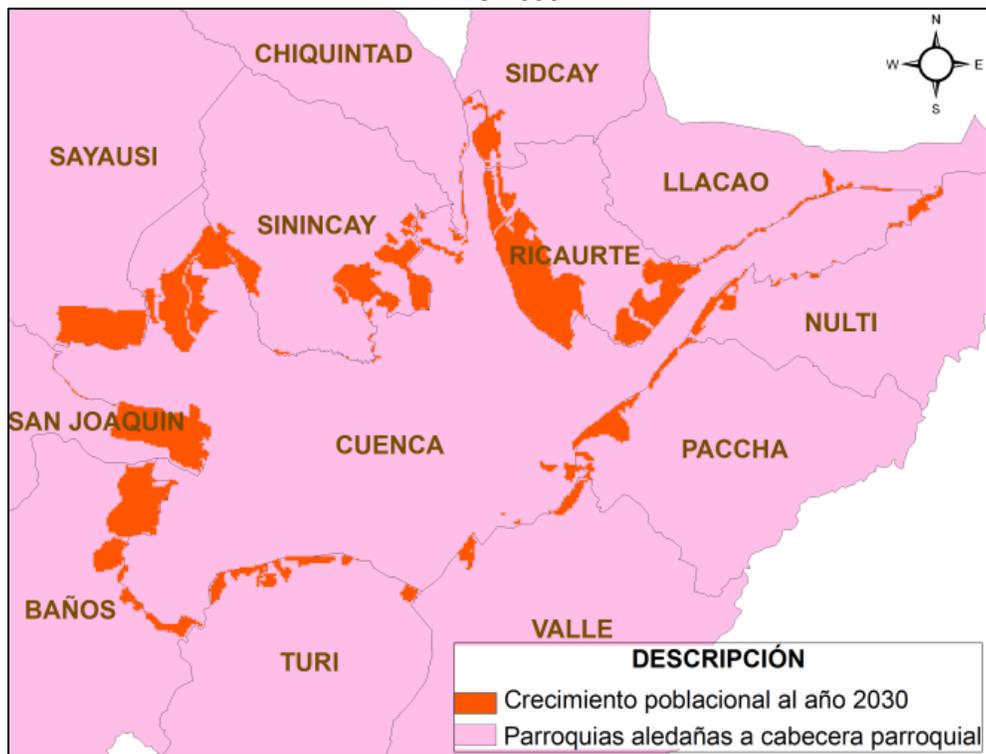
4.1.1. Escenario límite sectores externos

En el Mapa 17, para el escenario de límites con sectores externos, se pueden observar los resultados de la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población, luego de aplicar el método de cadenas de Markov y CA_Markov, para el año 2015 y 2030.

**Mapa 17. Resultados CA_Markov, escenario sectores externos.
AÑO 2015**



AÑO 2030



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

La tabla 4 muestra los valores de áreas crecimiento que se daría en el área poblada para el año 2015 y 2030. Para el año 2015 se presenta un crecimiento del 8,44% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 4,88km². Para el año 2030 se presenta un crecimiento del 34,76% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 20,07km².

Tabla 4. Área de crecimiento, escenario límite sectores externos, año 2015 y 2030.

ÁREA POBLADA 2012 (km ²)	CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2015		CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2030	
	57,73	4,88km ²	8,44%	20,07km ²

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Para la proyección de la direccionalidad se empleó el método de cadenas de Markov del cual se obtuvieron los resultados detallados a continuación:

Matriz de probabilidad de transición

La Tabla 5 muestra la matriz de probabilidad de transición, tomando como ingreso para el método de cadenas de Markov al escenario presentado en el Mapa 14. La matriz de probabilidad de transición muestra como su nombre lo indica la probabilidad de que una categoría se conserve como tal o pueda modificarse al año proyectado. Para el año 2015, las categorías zona poblada, zonas de protección y zonas de riesgo se estiman, que con un 100% de probabilidad, se conservarán como tal, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 15,35% y el resto se conservará en la misma categoría. Para el año 2030, para las categorías zona poblada, zonas de protección y zonas de riesgo se estima un 100% de probabilidad de que se conserven como tal al año proyectado, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 63.21% y el resto se conservará en la misma categoría

Tabla 5. Matriz de probabilidad de transición, escenario límites externos, año 2015 y 2030.

	PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2015			
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada	Zona de protección	Zona de riesgo
Zona no poblada	0,8465	0,1535	0	0
Zona poblada	0	1	0	0
Zona de protección	0	0	1	0
Zona de riesgo	0	0	0	1
	PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2030			
Zona no poblada	0,3679	0,6321	0	0
Zona poblada	0	1	0	0
Zona de protección	0	0	1	0
Zona de riesgo	0	0	0	1

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Matriz de áreas de transición

La Tabla 6 muestra la matriz de áreas de transición, en la que se indica el área total (en número de celdas) que se espera que cambie en el próximo período de tiempo. El área se puede determinar multiplicando el número de celdas por el tamaño de la celda 50m x 50m. Para el año 2015, se prevé que cambiarán 1.949 celdas (4,87km²) de tipo zona no poblada a zona poblada. Para el caso del año 2030, se prevé que cambiarán 8.023 celdas (20,06km²) de tipo zona no poblada a zona poblada.

Tabla 6. Matriz de áreas de transición (en número de celdas), escenario límites externos, año 2015 y 2030.

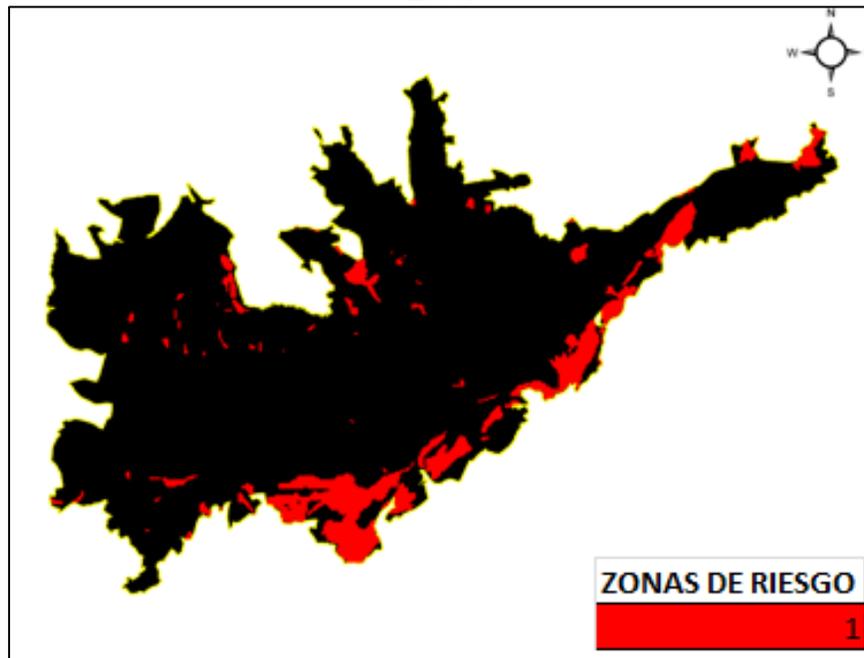
	SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2015			
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada	Zona de protección	Zona de riesgo
Zona no poblada	10744	1949	0	0
Zona poblada	0	23093	0	0
Zona de protección	0	0	4531	0
Zona de riesgo	0	0	0	3870
	SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2030			
Zona no poblada	4670	8023	0	0
Zona poblada	0	23093	0	0
Zona de protección	0	0	4531	0
Zona de riesgo	0	0	0	3870

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Imágenes de probabilidad condicional

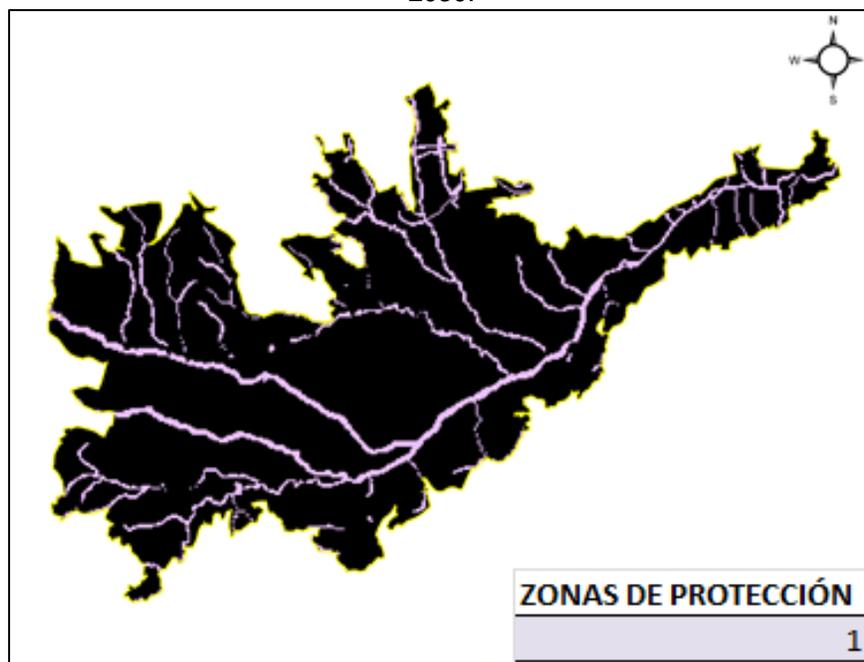
En los Mapas 18 y 19 se presentan las imágenes de probabilidad condicional para las zonas de riesgo y de protección generadas para los años 2015 y 2030. Estas imágenes expresan la probabilidad de que cada pixel pertenezca a la misma categoría designada en la actualidad en el año al que se está proyectando. Para las zonas mencionadas el valor de cada pixel es de 1, lo que indica que existe un 100% de probabilidad de que se mantengan las mismas zonas para los años venideros y que no sufrirán ninguna alteración, sin existir pixeles de otras categorías que podrían pertenecer a esta categoría en un futuro. Las imágenes de probabilidad condicional se crean a partir de la Tabla 5 de matriz de probabilidad de transición.

Mapa 18. Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de riesgo al año 2015 y 2030.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Mapa 19. Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de protección al año 2015 y 2030.

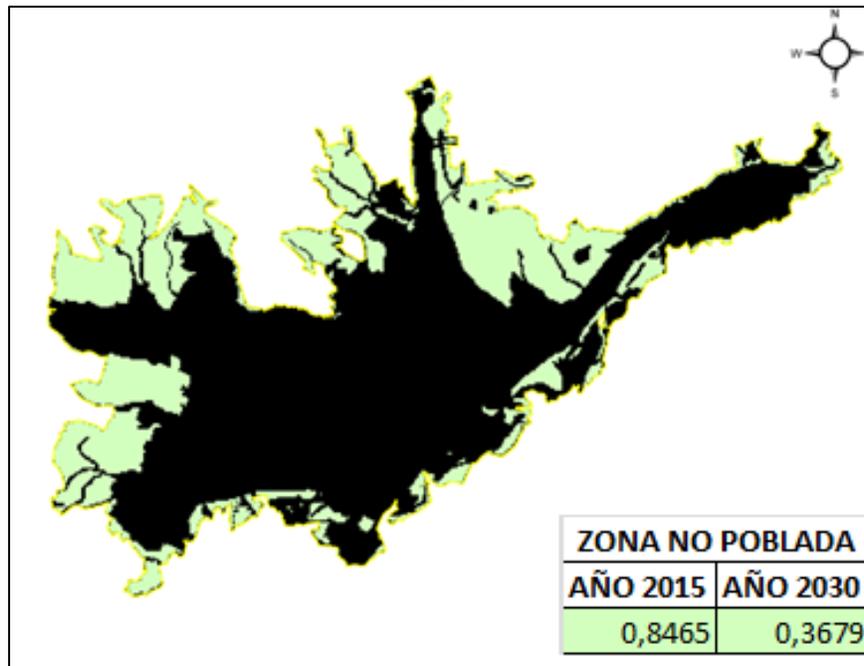


Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 20 se puede observar la imagen de probabilidad condicional generada para el caso de las zonas no pobladas para los años 2015 y para el 2030. Para los diferentes años lo que varía dentro de la imagen, es el valor del píxel. Es decir, para el año 2015 existe la probabilidad del

84.65% de que siga siendo zona no poblada y para el año 2030 existe la probabilidad del 36,78% de que siga siendo zona no poblada, sin existir píxeles de otras categorías que podrían pertenecer a esta categoría en un futuro.

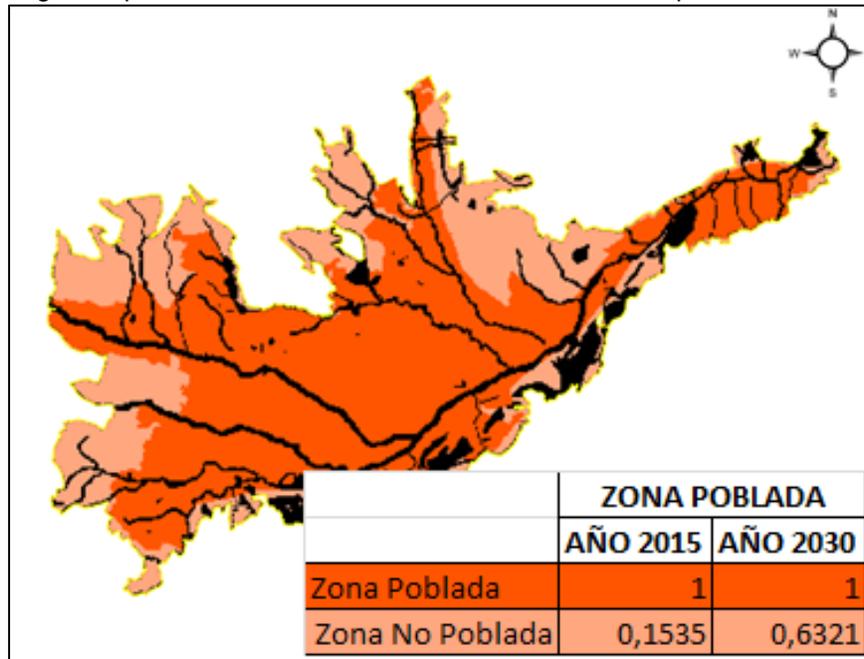
Mapa 20. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada al año 2015 y 2030.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 21 se presenta la imagen de probabilidad condicional para la zona poblada para los años 2015 y 2030. Para la zona mencionada el valor de cada pixel es de 1, lo que indica que existe un 100% de probabilidad de que se mantenga la misma zona para los años venideros y que no sufrirán ninguna alteración. A diferencia de las demás categorías para este caso si existen píxeles que corresponden a otras categorías que podrían pertenecer en un futuro a esta (en este caso desde la categoría zona no poblada). Lo que varía en los dos años a los que se proyecta la información es el valor de estos, es decir la probabilidad de cambio de la categoría zona no poblada a zona poblada. Así, para el caso del año 2015 existe la probabilidad del 15,35% de cambiarse de categoría y para el caso del año 2030 hay una probabilidad del 63,21% de cambiarse de categoría.

Mapa 21. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada al año 2015 y 2030.

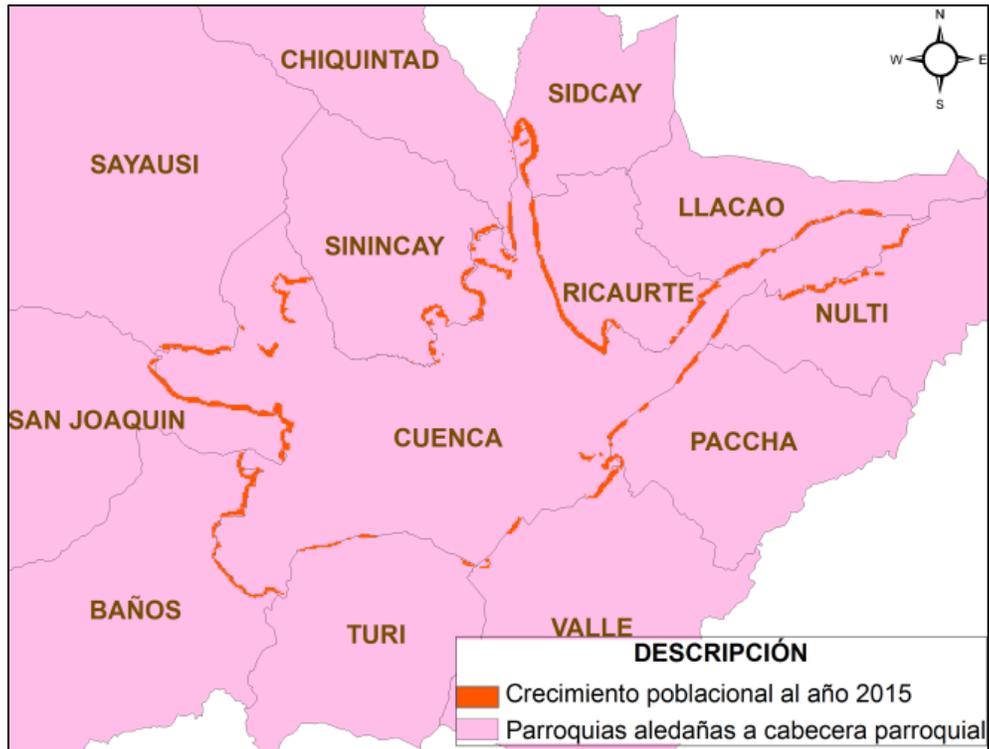


Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

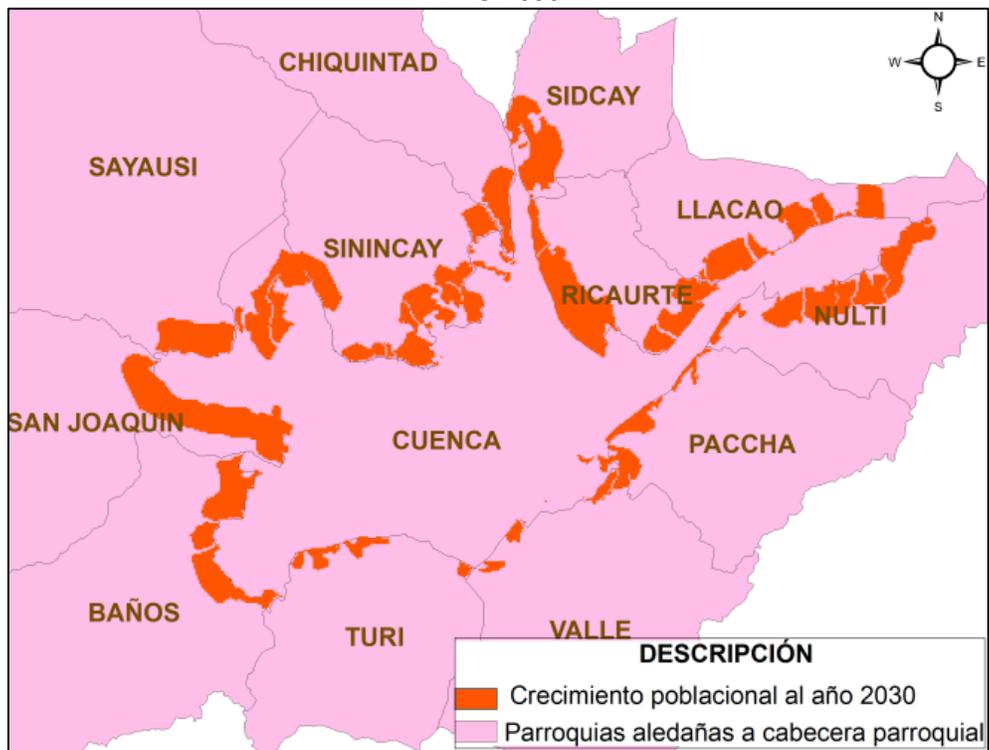
4.1.2. Escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo

En el Mapa 22, se pueden observar los resultados de la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población, para el escenario de parroquias aledañas con zonas de protección y de riesgo, luego de aplicar el método de cadenas de Markov y CA_Markov, para el año 2015 y 2030.

Mapa 22. Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo.
AÑO 2015



AÑO 2030



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

La Tabla 7 muestra los valores de crecimiento que se daría en el área poblada para el año 2015 y 2030. Para el año 2015 se presenta un crecimiento del 9,78% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 5,66km², y para el año 2030 como se puede observar se presenta un crecimiento del 56,04% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 32,45km².

Tabla 7. Área de crecimiento, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.

ÁREA POBLADA 2012 (km ²)	CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2015		CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2030	
57,90	5,66km ²	9,78%	32,45km ²	56,04%

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Matriz de probabilidad de transición

La Tabla 8 muestra matriz de probabilidad de transición, tomando como ingreso para el método de cadenas de Markov al escenario presentado en el Mapa 15. Para el año 2015, para las categorías zona poblada, zonas de protección y zonas de riesgo se estima un 100% de probabilidad de que se conserven como tal al año proyectado, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 1,85% y el resto se conservará en la misma categoría. Para el año 2030, para las categorías zona poblada, zonas de protección y zonas de riesgo se estima un 100% de probabilidad de que se conserven como tal al año proyectado, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 10,58% y el resto se conservará en la misma categoría.

Tabla 8. Matriz de probabilidad de transición, escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.

	PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2015			
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada	Zona de protección	Zona de riesgo
Zona no poblada	0,9815	0,0185	0	0
Zona poblada	0	1	0	0
Zona de protección	0	0	1	0
Zona de riesgo	0	0	0	1
	PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2030			
Zona no poblada	0,8942	0,1058	0	0
Zona poblada	0	1	0	0
Zona de protección	0	0	1	0
Zona de riesgo	0	0	0	1

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Matriz de áreas de transición

La Tabla 9 muestra la matriz de áreas de transición, en la que se indica el área total (en número de celdas) que se espera que cambie en el próximo período de tiempo. Para el año 2015, se prevé que cambiarán 2.264 celdas (5,66km²) de tipo zona no poblada a zona poblada. Para el caso del año 2030, se prevé que cambiarán 12.974 celdas (32,44km²) de tipo zona no poblada a zona poblada.

Tabla 9. Matriz de áreas de transición (en números de celdas), escenario límite parroquias aledañas, considerando zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.

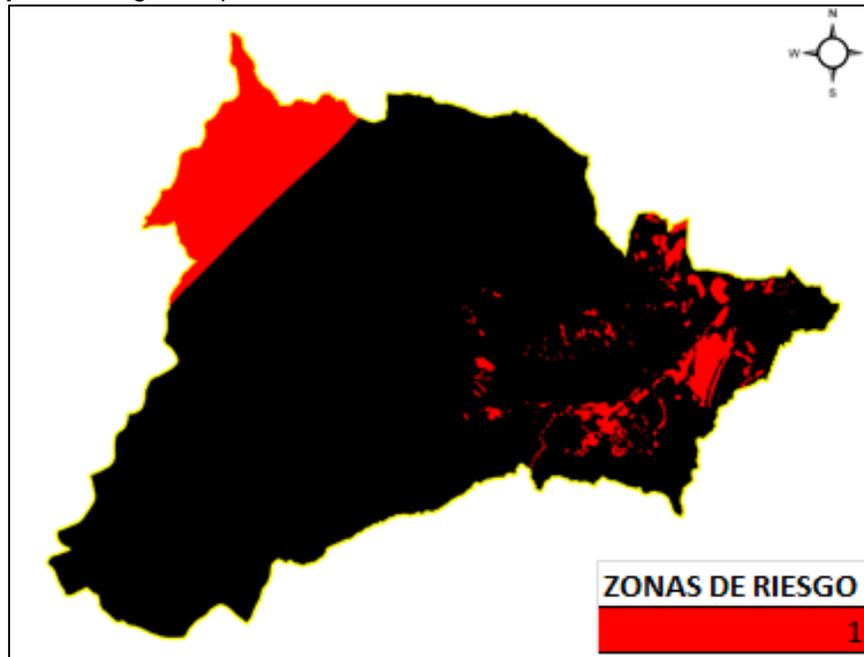
SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2015				
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada	Zona de protección	Zona de riesgo
Zona no poblada	120363	2264	0	0
Zona poblada	0	23160	0	0
Zona de protección	0	0	295959	0
Zona de riesgo	0	0	0	56317
SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2030				
Zona no poblada	109653	12974	0	0
Zona poblada	0	23160	0	0
Zona de protección	0	0	295959	0
Zona de riesgo	0	0	0	56317

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Imágenes de probabilidad condicional

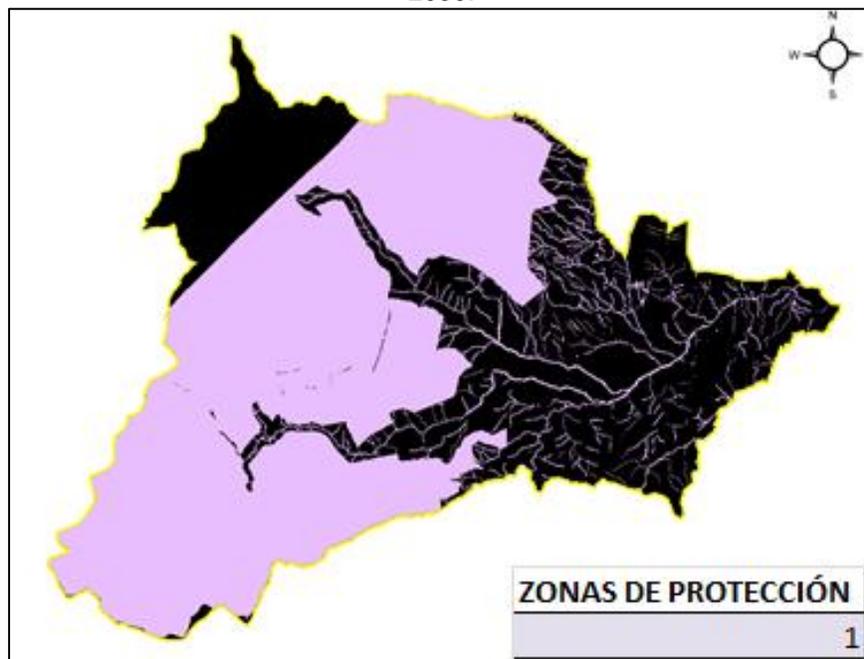
En los Mapas 23 y 24 se presentan las imágenes de probabilidad condicional para las zonas de riesgo y de protección generadas para los años 2015 y 2030. Para las zonas mencionadas el valor de cada pixel es de 1, lo que indica que existe un 100% de probabilidad de que se mantengan las mismas zonas para los años venideros y que no sufrirán ninguna alteración, sin existir pixeles de otras categorías que podrían pertenecer a esta categoría en un futuro.

Mapa 23. Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de riesgo.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Mapa 24. Imagen de probabilidad condicional de cambio de las zonas de protección al año 2015 y 2030.

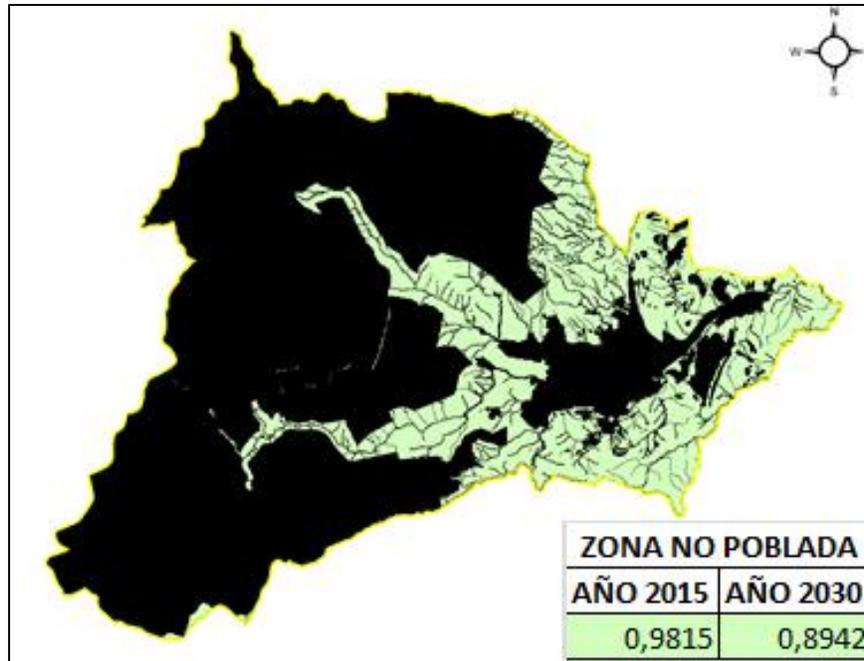


Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 25 se puede observar la imagen de probabilidad condicional generada para el caso de las zonas no pobladas para los años 2015 y para el 2030. Para el año 2015 existe la probabilidad del 98,15% de que siga siendo zona no poblada y para el año 2030 existe la probabilidad del

89,41% de que siga siendo zona no poblada, sin existir píxeles de otras categorías que podrían pertenecer a esta categoría en un futuro.

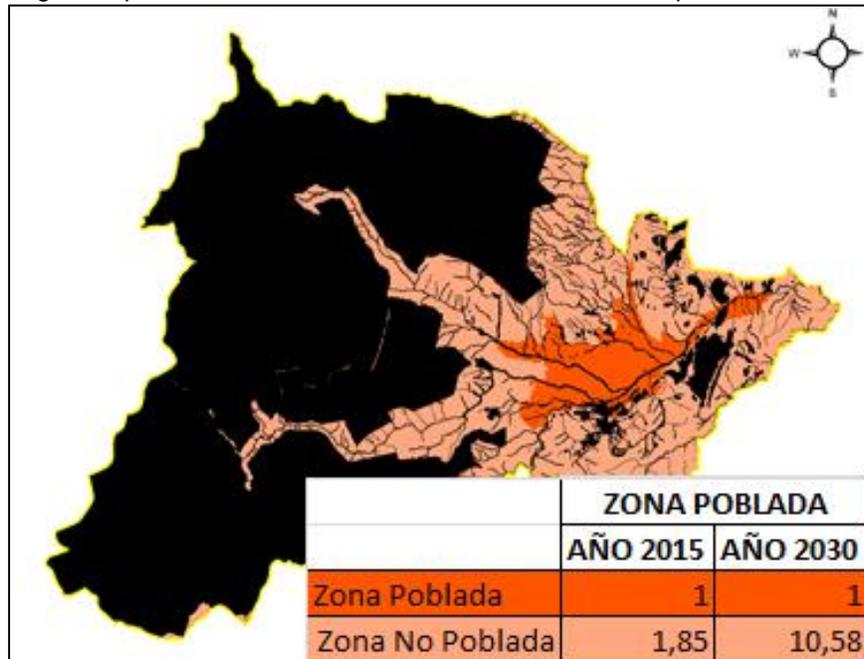
Mapa 25. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada al año 2015 y 2030.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 26 se presenta la imagen de probabilidad condicional para la zona poblada para los años 2015 y 2030. Para la zona mencionada el valor de cada píxel es de 1, lo que indica que existe un 100% de probabilidad de que se mantenga la misma zona para los años venideros y que no sufrirán ninguna alteración, a diferencia de las demás categorías para este caso si existen píxeles que corresponden a otras categorías que podrían pertenecer en un futuro a esta (en este caso desde la categoría zona no poblada), lo que varía en los dos años a los que se proyecta la información es el valor de estos, es decir la probabilidad de cambio de la categoría zona no poblada a zona poblada, para el caso del año 2015 existe la probabilidad del 1,85% de cambiarse de categoría y para el caso del año 2030 hay una probabilidad del 10,58% de cambiarse de categoría.

Mapa 26. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada al año 2015 y 2030.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

4.1.3. Escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo

En el Mapa 27, se pueden observar los resultados de la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población para el escarnio de parroquias aledañas sin considerar zonas de protección y riesgo, luego de aplicar el método de cadenas de Markov y CA_Markov, para el año 2015 y 2030.

Mapa 27. Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo.

AÑO 2015



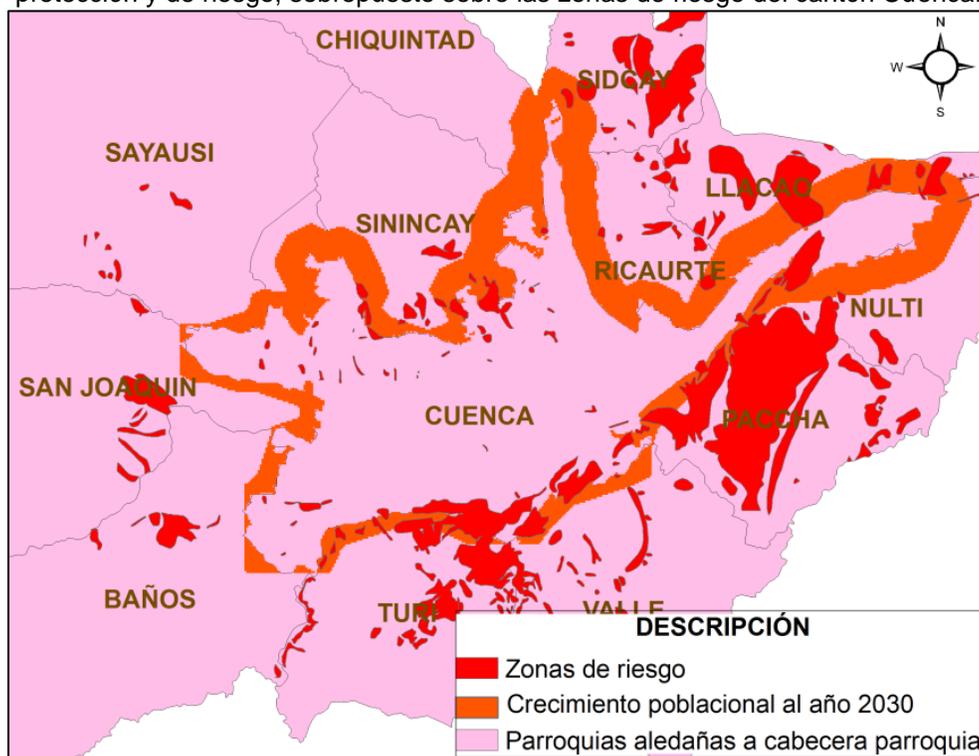
AÑO 2030



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 28, se puede observar que sobreponiendo el posible crecimiento dado sin ningún control de la población para el año 2030, este se podría producirse hacia zonas en las cuales los habitantes se encuentran en riesgo, principalmente en la zona sur de la cabecera parroquial.

Mapa 28. Resultados CA_Markov, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo, sobrepuesto sobre las zonas de riesgo del cantón Cuenca.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

La Tabla 10 muestra los valores de crecimiento que se daría en el área poblada para el año 2015 y 2030, para el año 2015 como se puede observar se presenta un crecimiento del 10,77% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 7,54km², y para el año 2030 como se puede observar se presenta un crecimiento del 63,60% con referencia al área actual, porcentaje que representa un área de 44,51km².

Tabla 10. Área de crecimiento, escenario límite parroquias aledañas, año 2015 y 2030.

ÁREA POBLADA 2012 (km ²)	CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2015		CRECIMIENTO ÁREA POBLADA AL 2030	
69,97	7,54km ²	10,77%	44,51 km ²	63,60%

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Matriz de probabilidad de transición

La Tabla 11 muestra matriz de probabilidad de transición, tomando como ingreso para el método de cadenas de Markov al escenario presentado en el Mapa 16. Para el año 2015, para la categoría zona poblada se estima un 100% de probabilidad de que se conserve como tal al año

proyectado, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 0,64% y el resto se conservará en la misma categoría. Para el año 2030, para la categoría zona poblada se estima un 100% de probabilidad de que se conserven como tal al año proyectado, mientras que para la categoría zona no poblada se convertirá en zona poblada con una probabilidad de 3,79% y el resto se conservará en la misma categoría.

Tabla 11. Matriz de probabilidad de transición, escenario límite parroquias aledañas, sin considerar zonas de protección y de riesgo, año 2015 y 2030.

PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2015		
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada
Zona no poblada	0,9936	0,0064
Zona poblada	0	1
PROBABILIDAD DE CAMBIO AL 2030		
Zona no poblada	0,9621	0,0379
Zona poblada	0	1

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Matriz de áreas de transición

La Tabla 12 muestra la matriz de áreas de transición, en la que se indica el área total (en número de celdas) que se espera que cambie en el próximo período de tiempo. Para el año 2015, se prevé que cambiarán 2.264 celdas (5,66km²) de tipo zona no poblada a zona poblada. Y para el caso del año 2030, se prevé que cambiarán 12.974 celdas (32,45km²) de tipo zona no poblada a zona poblada.

Tabla 12. Matriz de áreas de transición, escenario límite parroquias aledañas, año 2015 y 2030.

SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2015				
ACTUALMENTE ES	Zona no poblada	Zona poblada	Zona de protección	Zona de riesgo
Zona no poblada	120363	2264	0	0
Zona poblada	0	23160	0	0
Zona de protección	0	0	295959	0
Zona de riesgo	0	0	0	56317
SE ESPERA QUE EXISTA UN CAMBIO DE... AL 2030				
Zona no poblada	109653	12974	0	0
Zona poblada	0	23160	0	0
Zona de protección	0	0	295959	0
Zona de riesgo	0	0	0	56317

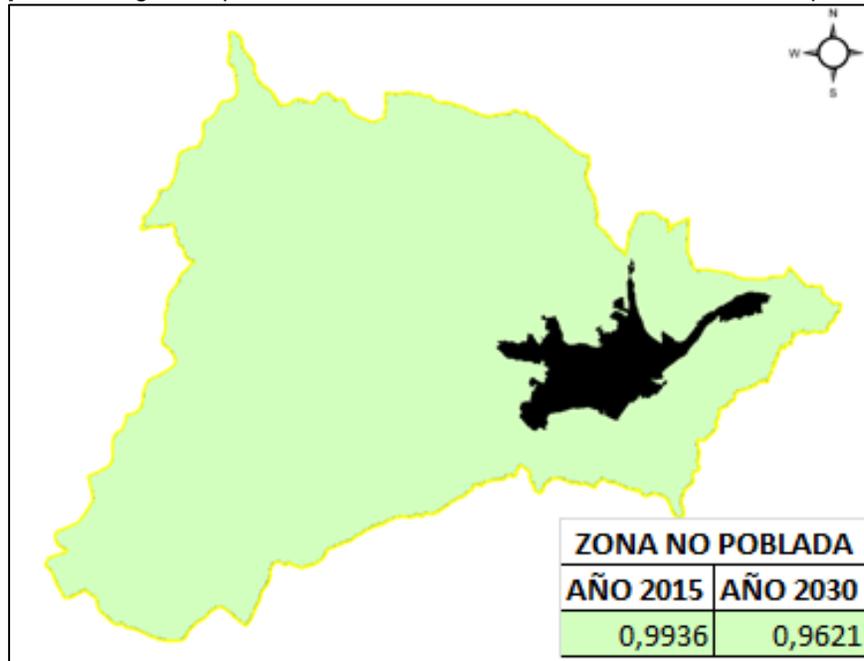
Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

Imágenes de probabilidad condicional

En el Mapa 29 se presenta la imagen de probabilidad condicional generada para el caso de las zonas no pobladas para los años 2015 y para el 2030. Para los diferentes años lo que varía

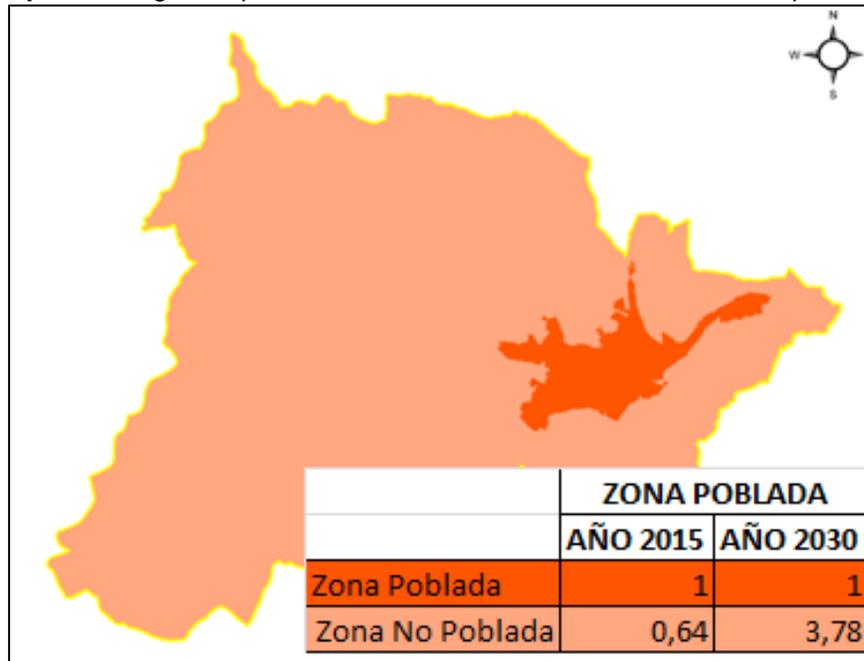
dentro de la imagen, es el valor del píxel, es decir la probabilidad de cambio de categoría, para el año 2015 existe la probabilidad del 99,35% de que siga siendo zona no poblada y para el año 2030 existe la probabilidad del 96,21% de que siga siendo zona no poblada, sin existir píxeles de otras categorías que podrían pertenecer a esta categoría en un futuro.

Mapa 29. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona no poblada.



Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

En el Mapa 30 se presenta la imagen de probabilidad condicional para la zona poblada para los años 2015 y 2030. Para la zona mencionada el valor de cada píxel es de 1, lo que indica que existe un 100% de probabilidad de que se mantenga la misma zona para los años venideros y que no sufrirán ninguna alteración, a diferencia de las demás categorías para este caso si existen píxeles que corresponden a otras categorías que podrían pertenecer en un futuro a esta (en este caso desde la categoría zona no poblada), lo que varía en los dos años a los que se proyecta la información es el valor de estos, es decir la probabilidad de cambio de la categoría zona no poblada a zona poblada, para el caso del año 2015 existe la probabilidad del 0,64% de cambiarse de categoría y para el caso del año 2030 hay una probabilidad del 3,78% de cambiarse de categoría.

Mapa 30. Imagen de probabilidad condicional de cambio de la zona poblada.

Elaborado por: Elaboración propia con IDRISI Taiga.

4.1.4. Discusión

De acuerdo a lo presentado en los resultados de la proyección de la direccionalidad del crecimiento de la población, para los dos escenarios en los que se considera las zonas de protección y de riesgo, para el año 2015, se puede visualizar una tendencia de crecimiento regular hacia las parroquias colindantes con la cabecera parroquial de Cuenca, principalmente hacia las parroquias de San Joaquín, Sayausí, Sidcay, Sinincay y Ricaurte, todas estas ubicadas en la parte norte y oeste de esta, y en menor cantidad un crecimiento hacia las parroquias ubicadas al sur de la misma. Para el año 2030, se puede ratificar este crecimiento debido a que se puede ver de mejor manera esta tendencia de crecimiento, modificándose de año a año la cantidad de celdas de crecimiento hacia estas zonas. Estos escenarios se plantearon modificando el área hacia la cual se podría expandir la población para verificar el comportamiento del método usado, dando como resultado el mismo comportamiento en la direccionalidad del crecimiento para los dos casos.

Para el tercer escenario, que no considera zonas de protección y de riesgo, para el año 2015, se puede visualizar una tendencia de crecimiento regular hacia las parroquias colindantes con la cabecera parroquial de Cuenca principalmente hacia el norte de la cabecera, a las parroquias de Sayausí, Sidcay, Sinincay, Ricaurte y Llacao, y las parroquias de Nulti y Paccha hacia el este de la cabecera y San Joaquín. Sin embargo, esta tendencia no se presenta hacia las ubicadas al sur de esta cabecera, Para este año de acuerdo a la proyección realizada no existirían inconvenientes con las zonas de riesgo presentes en el cantón. Para el año 2030 que no presenta problemas a las parroquias mencionadas, pero si para la direccionalidad de crecimiento presente hacia las

parroquias de Turi y el Valle ubicadas al sur de la cabecera parroquial (Mapa 28). Este escenario fue planteado para verificar que zonas podrían ser afectadas si no existiera un control por parte de un organismo dentro de la ciudad, principalmente para prevenir daños futuros a las personas y al medio ambiente.

Respecto al método utilizado, el método de cadenas de Markov y CA_Markov es muy utilizado para análisis de cambios de categorías de suelo a futuro convirtiéndose así en una herramienta de gran ayuda para la toma de decisiones. Las restricciones se consideraron en la formación del escenario y se aplicaron previo a la proyección. Esto debido a que si primero se realizaba la proyección y luego se retiraba las zonas en las que no se podría dar el crecimiento, se hubiese borrado información reduciéndose la tendencia del crecimiento de la ciudad.

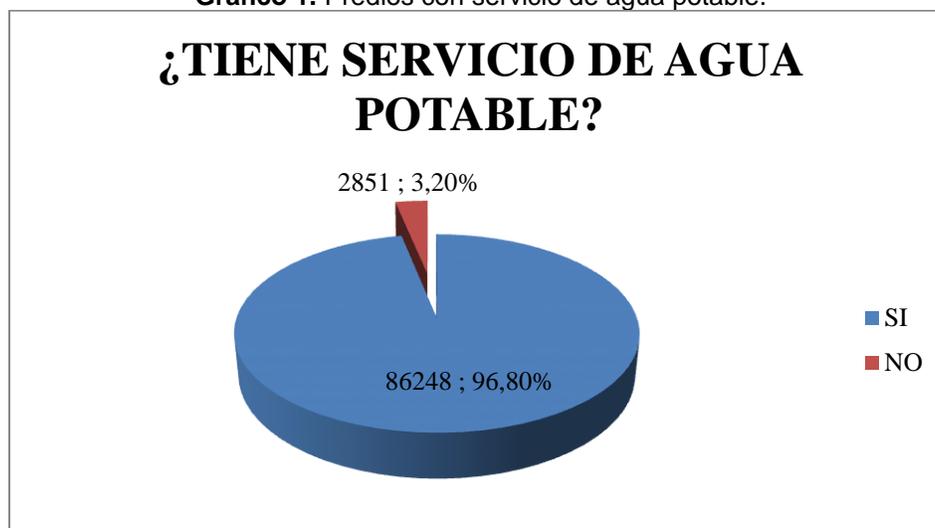
Para la complementar este proceso se podría realizar el mismo con la inclusión de los predios rurales del Cantón. También sería conveniente información de zonas de riesgo y de protección con mejor escala.

4.2. Identificación de futuros sectores desabastecidos de servicios básicos

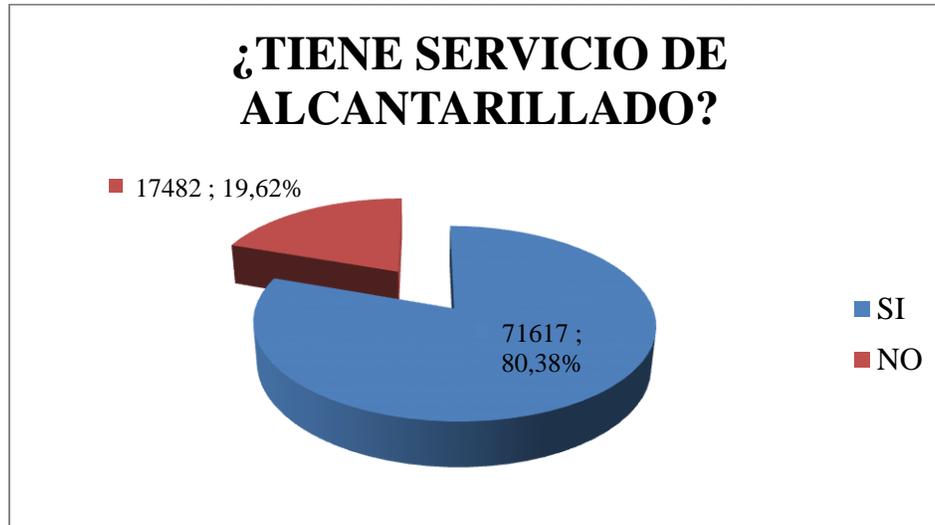
4.2.1. Resultados zonas desabastecidas actuales

De los 89.099 centroides de predios existentes dentro de la zona urbana de la ciudad entregados por la Municipalidad de Cuenca, se obtuvo que el 3,2% de los predios no cuentan con el servicio de agua potable y el 19,32% de los predios no cuentan con el servicio de alcantarillado (Gráficos 1 y 2).

Gráfico 1. Predios con servicio de agua potable.

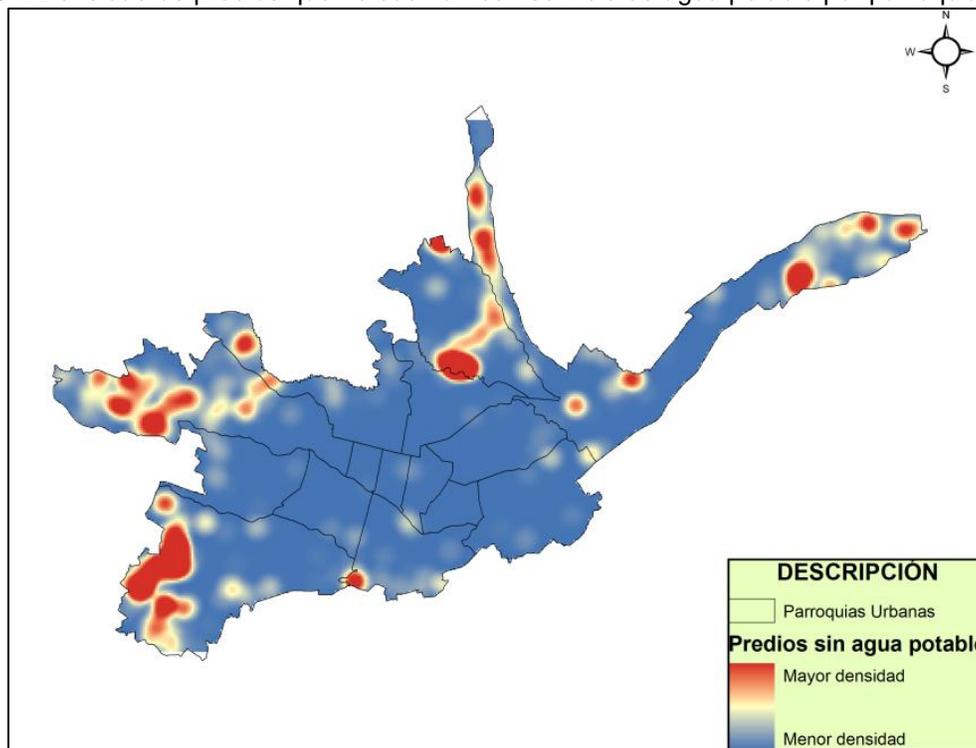


Elaborado por: Elaboración propia con Microsoft Excel.

Gráfico 2. Predios con servicio de alcantarillado.

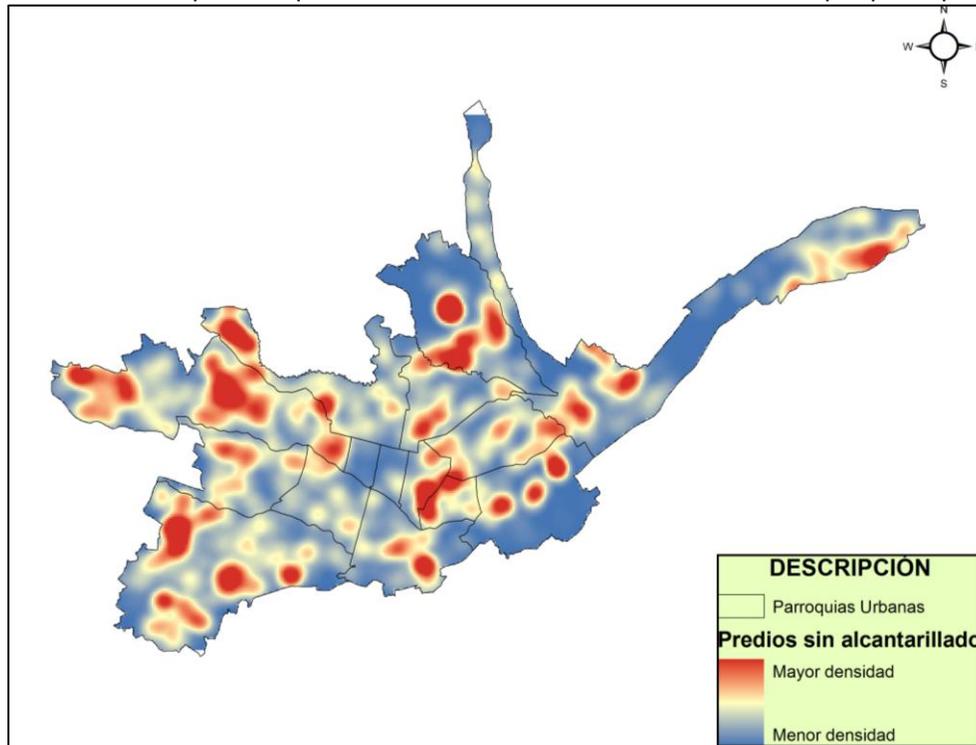
Fuente: Elaboración propia con Microsoft Excel.

En el Mapa 31 se puede visualizar que la parte central de la cabecera parroquial se encuentra cubierta casi en su totalidad con predios con el servicio de agua potable, la ausencia del mismo se da principalmente en las parroquias urbanas de cabecera parroquial que se encuentran en las afueras de la misma bordeando las parroquias rurales. En el Mapa 32 se puede visualizar que la ausencia del servicio de alcantarillado, que de acuerdo al análisis propuesto observa que la ausencia se presenta a nivel general.

Mapa 31. Densidad de predios que no cuentan con servicio de agua potable por parroquia urbana.

Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

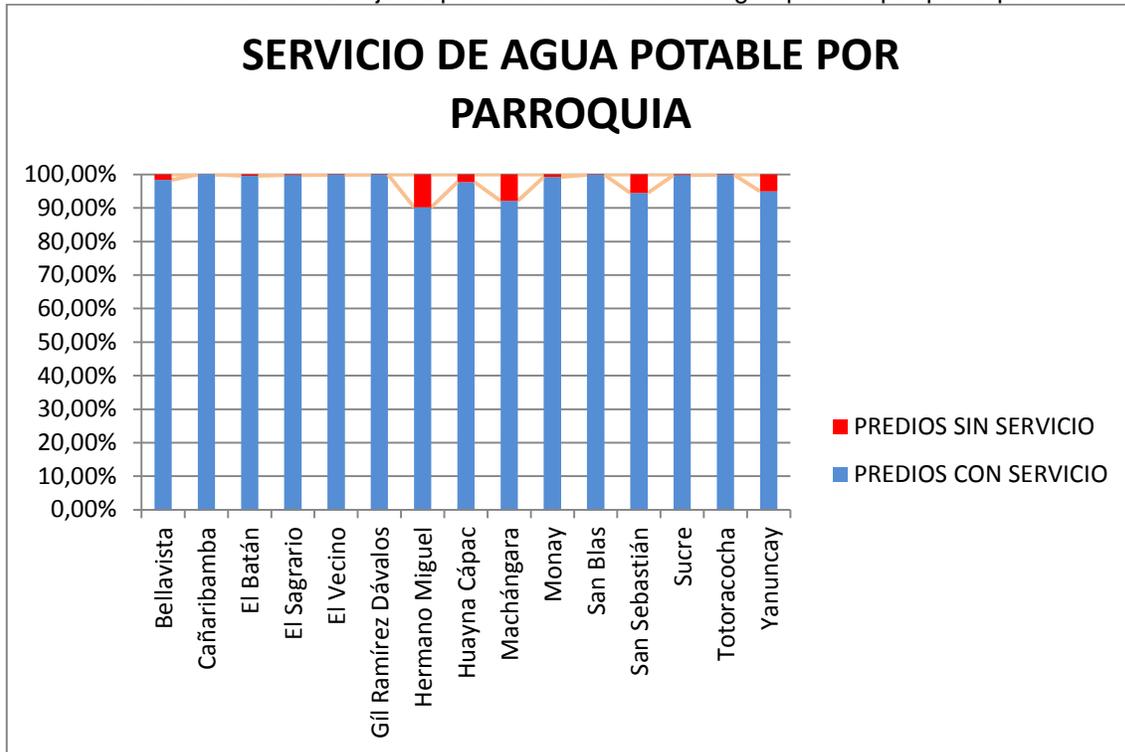
Mapa 32. Densidad de predios que no cuentan con servicio de alcantarillado por parroquia urbana.



Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

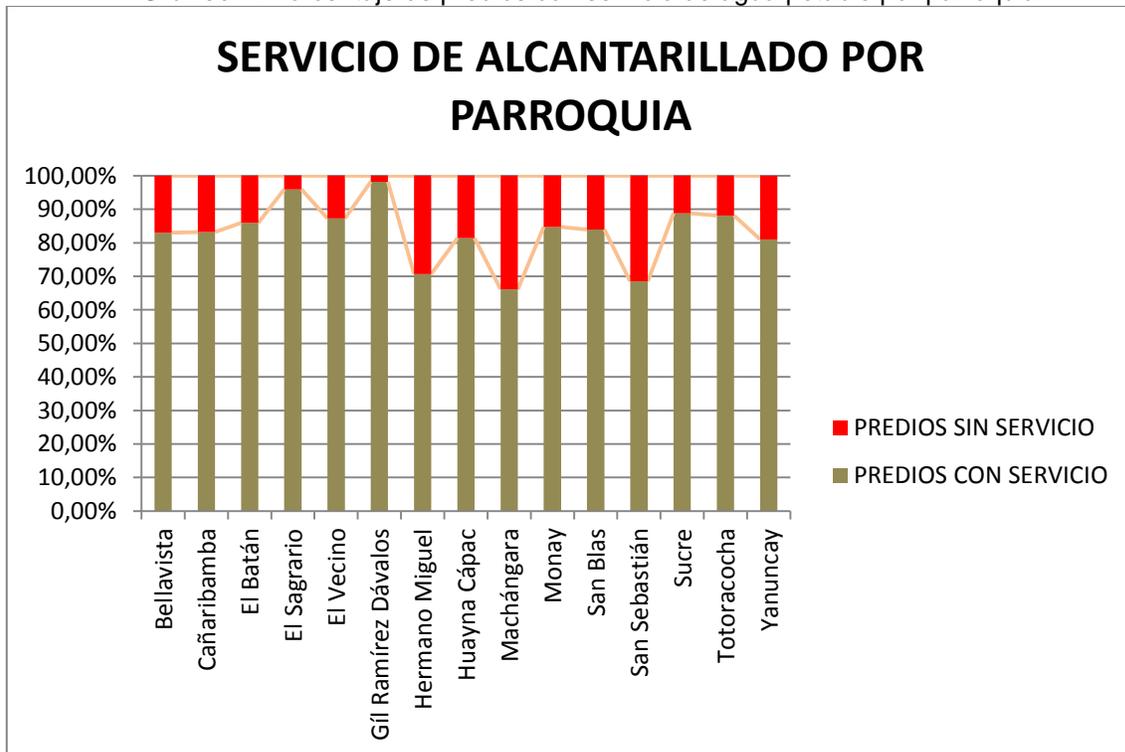
En el Gráfico 3 se puede observar la estadística por parroquia de los predios que no cuentan con el servicio de agua potable dentro de la zona urbana de Cuenca. Mientras que en el Gráfico 4 se puede observar la estadística por parroquia de los predios que no cuentan con el servicio de alcantarillado dentro de la zona urbana de Cuenca.

Gráfico 3. Porcentaje de predios con servicio de agua potable por parroquia.



Elaborado por: Elaboración propia con Microsoft Excel.

Gráfico 4. Porcentaje de predios con servicio de agua potable por parroquia.

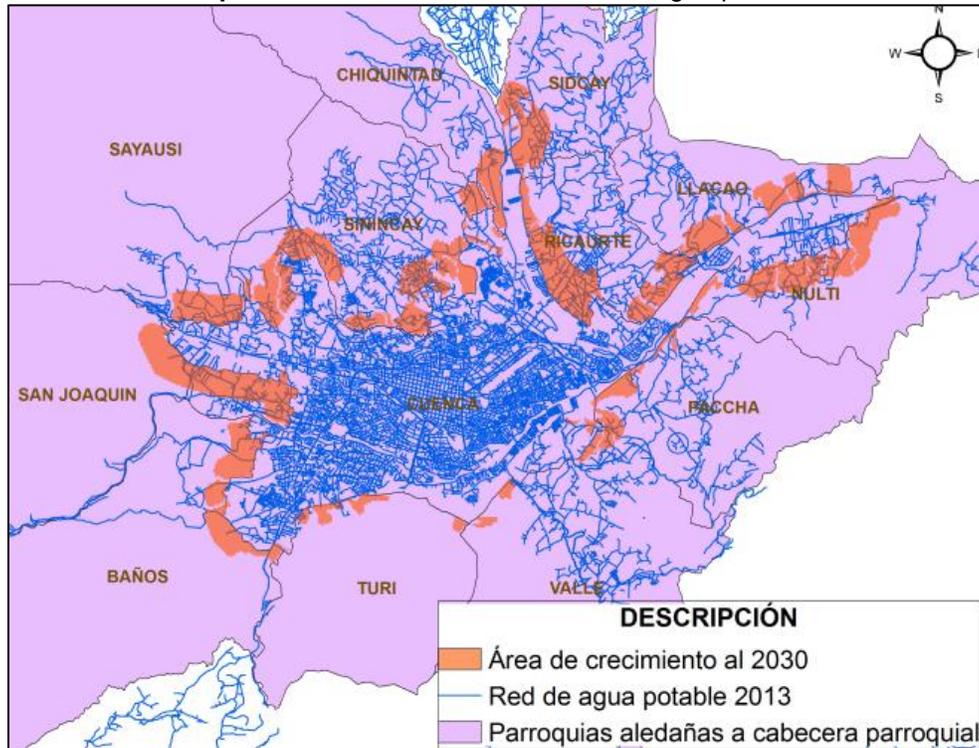


Elaborado por: Elaboración propia con Microsoft Excel.

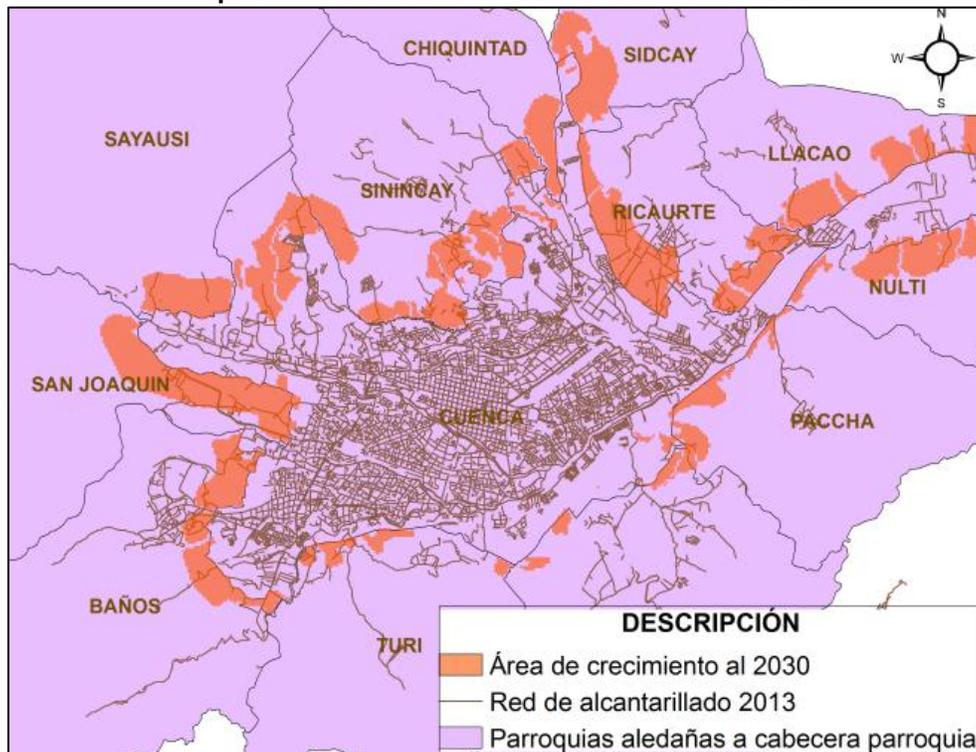
4.2.2.Resultados zonas desabastecidas futuras

En el Mapa 33 y 34 se observan las zonas futuras de crecimiento de la población para el año 2030 (las cuales están ubicadas principalmente al norte, este y oeste de las afueras de la cabecera parroquial). Como se puede observar estas zonas si contarían con la dotación del servicio de agua potable, pero no así con el servicio de alcantarillado, esto debido a que existe la presencia de las redes del servicio de agua potable en el lugar pero no del alcantarillado.

Mapa 33. Red existente del servicio de agua potable.



Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

Mapa 34. Red existente del servicio de alcantarillado.

Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

4.2.3. Discusión

De acuerdo al análisis realizado para la revisión de la dotación del servicio de agua potable se puede observar que la ausencia del mismo se da principalmente en las parroquias Machángara, San Sebastián, Yanuncay y Bellavista, en menor número se observa que los predios tienen este inconveniente en las parroquias Hermano Miguel y Huayna Cápac, en las demás parroquias se da la ausencia del servicio pero en un porcentaje menor al 5% de los predios.

Para el servicio de alcantarillado, se puede observar que la ausencia se da a nivel general en las parroquias de la cabecera parroquial con un porcentaje mayor al 11% con excepción de las parroquias centrales del Sagrario y Gil Ramírez Dávalos en las cuales se da la ausencia del servicio pero en un porcentaje menor al 4,5% de los predios.

De acuerdo a la proyección realizada de la direccionalidad de crecimiento de la población y el análisis de las redes de servicios básicos existentes en las zonas resultantes al año 2030, se puede observar que estas están provistas de redes del servicio de agua potable lo cual no produciría inconvenientes para la dotación de este servicio en caso de darse el crecimiento de la urbe hacia estas direcciones, contrario a lo que se daría con la red del servicio de alcantarillado.

4.3. Visor de información

Para poder acceder de forma rápida a la información generada en procesos de toma de decisiones, se creó un visor de información que cuenta con las siguientes secciones:

Imagen 10. Capas disponibles en el visor de información.



Elaborado por: Elaboración propia.

La barra de herramientas permite las siguientes funciones:

- El botón  , permite visualizar la información que contiene la capa.
- El botón  , permite visualizar el mapa completo del cantón con las capas seleccionadas cargadas.
- El botón  , permite hacer un zoom para ver el mapa más grande.
- El botón  , permite hacer un zoom para ver el mapa más pequeño.
- El botón  , permite visualizar el mapa en el tamaño anterior a realizar algún cambio.
- El botón  , permite visualizar el mapa del tamaño posterior a realizar algún cambio.
- El botón  , permite medir distancias entre puntos de un mapa.

Las capas de información disponibles para cargar las capas que se muestran a continuación:

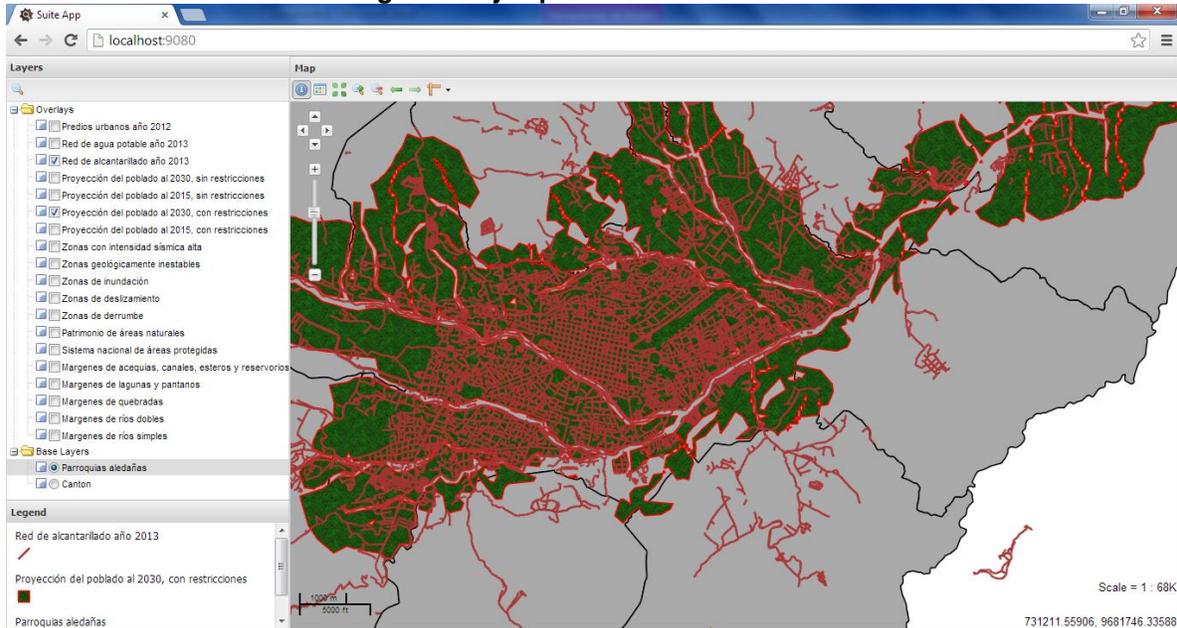
Imagen 11. Capas disponibles en el visor de información.

Elaborado por: Elaboración propia.

Estas capas de información podrán ser cargadas sobre el cantón Cuenca o sobre la cabecera parroquial con sus parroquias aledañas. En el panel de central es en donde se visualiza la información seleccionada y por último la leyenda de la información presentada es en donde se visualizará la simbología con la cual se representa las capas cargadas en el panel central.

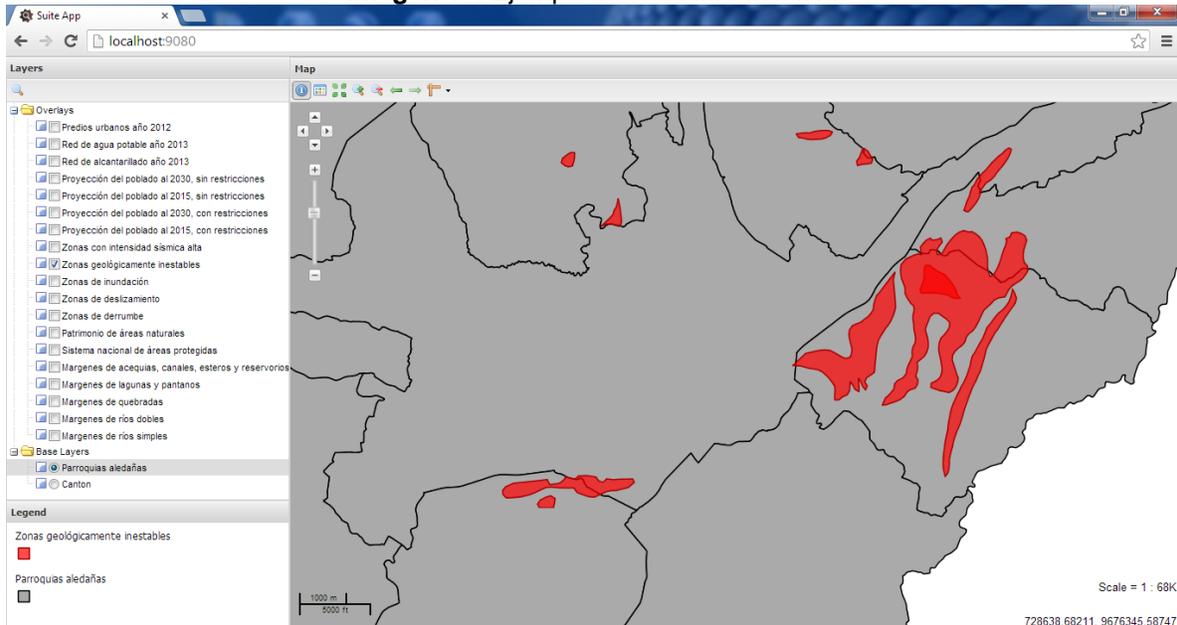
Con la información disponible en el visor se pueden crear mapas de utilidad, por ejemplo, se puede cargar la información de proyección de la población al año 2030 (considerando restricciones), y sobre esta se puede cargar la red de alcantarillado para verificar las posibles zonas desabastecidas (Imagen 12). Otro ejemplo es visualizar las zonas de riesgos existentes en el cantón, como esta información está cargada en diferentes capas se puede ver únicamente las zonas geológicamente inestables (Imagen 13). También se puede acceder y visualizar la información de las capas cargadas, por ejemplo se puede visualizar los predios del año 2012 y se puede verificar con que servicios cuentan cada uno de ellos (Imagen 14).

Imagen 12. Ejemplo visor de información.



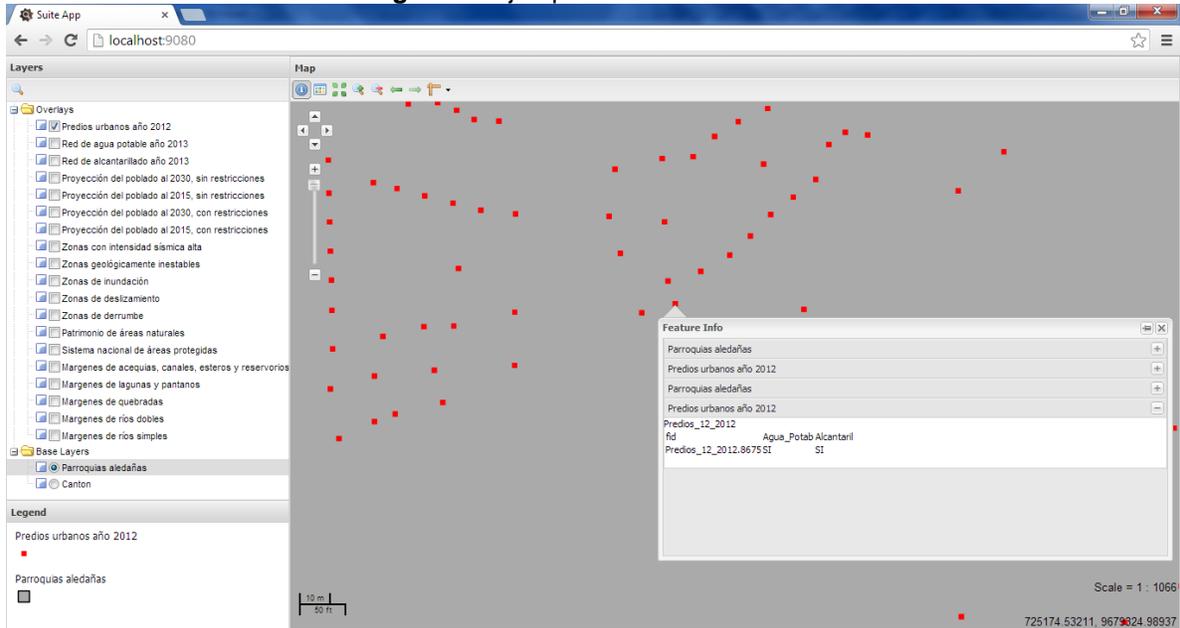
Elaborado por: Elaboración propia.

Imagen 13. Ejemplo visor de información.



Elaborado por: Elaboración propia.

Imagen 14. Ejemplo visor de información.



Elaborado por: Elaboración propia.

Para acceder a esta opción previamente se debe dar clic sobre el botón  de la barra de herramientas y luego se procede a dar clic sobre el predio del cual se quiere revisar la información.

5. Conclusiones

Este trabajo, primero, determinó la direccionalidad de crecimiento poblacional de la ciudad de Cuenca a los años 2015 y 2030, utilizando el método de cadenas Markov combinado con autómatas celulares. Seguido se determinaron los futuros sectores desabastecidos de servicios básicos de agua potable y alcantarillado. También se implementó una herramienta, que basada en servicios de mapas en la web, permita visualizar de manera integrada la dotación de servicios básicos de agua potable y alcantarillado existentes así como los lugares dentro de la ciudad de Cuenca que carecen actualmente y a futuro de estos servicios.

En cuanto a la dotación actual de los servicios básicos de agua potable y alcantarillado con los que cuenta el área de estudio se puede verificar que un 96.80% de predios cuentan con agua potable y un 80.38% con alcantarillado. Para las zonas hacia las cuales se dará el crecimiento de la población en cuanto a lo que respecta el agua potable existe la infraestructura para la dotación del servicio, sin embargo el inconveniente se dará con el servicio de alcantarillado ya que no existe la infraestructura en estas zonas. Incluso de acuerdo al análisis actual, este no cubre la zona poblada de manera apropiada.

El procedimiento empleado para determinar la existencia o no del servicio mediante la revisión de la presencia o no de la red del servicio se podría mejorar con la utilización de los predios en lugar

de sus centroides. Esto tendría mayor impacto para los predios de un área mayor al promedio. En este trabajo se realizó una depuración mediante la utilización una foto satelital de Cuenca costoso en tiempo y que puede ser perceptible a errores de revisión.

Se destaca la necesidad de controlar los lugares hacia los cuales puede darse el crecimiento de la población, principalmente por lo observado en los resultados del análisis con el escenario en el cual no se consideraron zonas de riesgo y protección, debido a que como se vio pueden poblarse zonas en zonas de riesgo que luego pueden causar daños a sus habitantes, así como lugares en los cuales siendo poblados dañarían los recursos naturales y áreas protegidas.

Mediante la utilización de los escenarios de sectores externos y parroquias aledañas considerando zonas de riesgo y protección se verificó que el método empleado no es afectado por el área total hacia la que puede crecer sino que sigue un patrón de crecimiento basándose a lo ocurrido en los años anteriores. Las restricciones se emplearon previo a haber realizado la proyección del crecimiento para evitar eliminar áreas de crecimiento.

Para la validación del método debe contarse con los datos de un tercer año de la zona poblada. Por falta de esta información no se pudo realizar esta validación. Se prevé en el futuro utilizar datos del año 2015 para validar la proyección al año 2030.

Finalmente, la generación de visores de información contribuye a facilitar la publicación de información y la toma de decisiones. En la actualidad existe una gama de herramientas libres, que brindan plantillas que facilitan el trabajo y divulgación de información para las personas que toman decisiones, al igual que bases de datos espaciales e interfaces de conexión con las mismas.

Los análisis realizados en este trabajo, junto con la herramienta de visualización permiten, a las empresas prestatarias de los servicios, tomar decisiones orientadas a realizar un plan que satisfaga los sectores que están desprovistos actualmente y a futuro.

6. Referencias bibliográficas

Baxendalle, C., & Buzai, G. (2011). Dinámica de crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos en el gran Buenos Aires (Argentina), 1869-2011. Análisis espacial basado en sistemas de información geográfica. *Serie Geográfica*, 17, 77 - 95.

Briceño Valera, F. (2005). Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. *Revista Geográfica Venezolana*, 35 - 45.

Buzai, G. D. (2005). *Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de Markov y autómatas celulares. Pérdida de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires - 2001.*

- Eastman, J. R. (2009). *Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R. (2009). *Idrisi Taiga, Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R. (2012). *Idrisi Selva, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University.
- Engelen , G., White, R., Uljee, I., & Drazan, P. (1995). *Using cellular automata for integrated modelling of socio - enviromental systems*.
- ESRI. (25 de Abril de 2009). *ArcGIS Desktop Help 9.3*. Recuperado el 29 de Agosto de 2013, de <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>
- Garcia Rubio, G., Schmook, B., & Espejel Carvajal, I. (2005). DINÁMICA EN EL USO DEL SUELO EN TRES EJIDOS CERCANOS A LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO. (U. N. México, Ed.) *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 122 - 139.
- Henríquez, C., Azócar, G., & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 61-74.
- Kamusoko, C. (2012). Markov - Cellular Automata in Geospatial Analysis. En *Progress in Geospatial Analysis* (págs. 107-124). Springer Japan.
- Messina, J. P., & Walsh, S. J. (2001). *2.5D Morphogenesis: modeling landuse and landcover dynamics in the Ecuadorian Amazon*.
- Morelos, A. C. (2011). *Programa de ordenamiento ecológico y territorial del municipio de Zacualpan de Amilpas*. Zacualpan de Amilpas.
- Municipalidad de Cuenca. (2010). *Ordenanza que determina y regula el uso y ocupación del suelo en el área de el ejido (Área de influencia y zona tampón del centro histórico)*. Cuenca.
- Nexolinux. (17 de Diciembre de 2012). *Nexolinux*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de nexolinux.com/apache-tomcat-7-instalacion/
- Oñate Valdivieso, F. R. (2009). *MODELAMIENTO SEMIDISTRIBUIDO, CON INFORMACIÓN* . Madrid: Universidad de Alcalá.
- OpenGeo. (s.f.). *OpenGeo Suite*. Recuperado el 03 de Agosto de 2013, de opengeo.org

OpenLayers. (s.f.). *OpenLayers*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de openlayers.org

Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., & Toribio, J. M. (2003). CADENAS DE MARKOV, EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y EVALUACIÓN MULTIOBJETIVO PARA LA MODELIZACIÓN PROSPECTIVA DEL PAISAJE. *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 22 - 44.

PostGIS. (s.f.). *PostGIS*. Recuperado el 03 de Agosto de 2013, de postgis.net

PostgreSQL. (02 de Octubre de 2010). *PostgreSQL - es*. Recuperado el 21 de Agosto de 2013, de www.postgresql.org/es/sobre_postgresql

Sandoval Verdugo, G. (2009). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE CAMBIO DE USO Y COBERTURA DE SUELO EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL GRAN VALPARAÍSO, SU EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS FUTUROS*. Santiago Chile.

Tobler, W. R. (1979). *Cellular Geography*. Springer Netherlands.

White , R., & Engelen, G. (1997). *Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling*.

WIKIPEDIA. (09 de Septiembre de 2013). *WIKIPEDIA la enciclopedia libre*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_potable

WIKIPEDIA. (09 de Marzo de 2013). *WIKIPEDIA la enciclopedia libre*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>

WIKIPEDIA. (06 de Septiembre de 2013). *WIKIPEDIA la enciclopedia libre*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Alcantarillado>

7. ANEXOS

Anexo N° 1: Diferencia existente entre el número de predios de los años base utilizados – 2009 y 2012 – y el área que representan estos centroides

El número de centroides entregados por parte de la Municipalidad de Cuenca correspondientes al año 2009 y 2012 es 88.423 y 89.099 respectivamente, dándose un crecimiento en número entre estos años del 0,76%.

Para la determinación de la direccionalidad del crecimiento de la población cabe recalcar que no se tomó en cuenta el número de centroides directamente, sino el área que cubren estos para los dos años base – 2009 y 2012. Para lo cual se combinaron los centroides con la información de las manzanas de la ciudad manejadas por el INEC al año 2010 complementadas con la información de las manzanas de Cuenca publicadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca por SI_CUENCA correspondiente al año 2008, los mismos que representan un área de 62,36km² para el 2009 y un área de 69,95km² para el 2012, presentándose un crecimiento del 10.40% (6,59km²) entre los dos años. Es decir con este método se proyectó el área de crecimiento de la población y no el número de centroides en los que crecería la ciudad para los años considerados – 2015 y 2030 –.

Los porcentajes de incremento del número de predios y del incremento del área que cubren estos predios en los dos años, no son valores comparables entre sí, debido a que el incremento en el número de predios entre los dos años puede haberse dado por el fraccionamiento de predios más grandes sin que esto involucre una variación en el tamaño de la población y el incremento del área que ocupan estos predios implica la expansión de la población en el territorio.

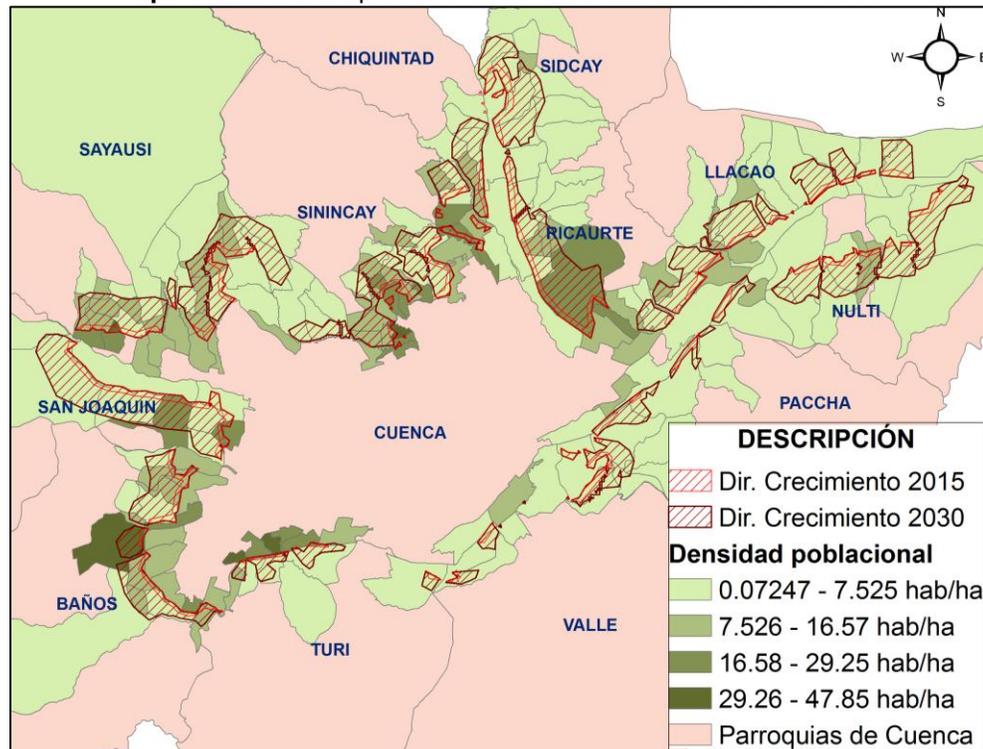
Para los análisis presentados en los siguientes anexos se tomó en cuenta los resultados del escenario con las parroquias aledañas considerando las zonas de protección y riesgo, esto debido a que es el escenario en el que se consideró el área de mayor dimensión y en el mismo se protege tanto al medio ambiente como a las personas de futuros inconvenientes o daños de ser el caso.

Anexo N° 2: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento de la población cotejado con la densidad de población en sectores censales

Considerando el índice de densidad poblacional (habitantes/km²), calculado a partir de los datos obtenidos por el INEC mediante el censo de población y vivienda del 2010 (Mapa 35), se puede observar que en zonas tales como Ricaurte, Baños, Sayausí hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento de la población de acuerdo al método utilizado existe una alta densidad poblacional, lo cual indica que existe una concentración de población en la actualidad en

estos sectores censales. Favoreciendo de esta manera el crecimiento hacia estas zonas en las cuales ya existe una concentración de población considerable. En futuros análisis debe considerarse como zona de estudio la zona ampliada de Cuenca, es decir Cuenca y sus sectores externos muchos de los cuales ya se hallan habitados.

Mapa 35. Densidad poblacional del acuerdo a sectores censales.



Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

Fuente: INEC 2010.

Anexo N° 3: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento cotejado con el número de habitantes proyectado para los años – 2015 y 2030 –

De acuerdo a los datos publicados por el INEC en su página web oficial con referencia a la proyección de la población para el año 2015, se tiene que para el cantón Cuenca la población será de 580.706 habitantes, esta información no está disponible para el año 2030 ya que de parte de esta institución solo se ha realizado la proyección hasta el año 2020, por tal motivo el número de habitantes que se consideró para el 2030 es el brindado por la Municipalidad de Cuenca en el PDOT que es de 773.107 habitantes.

Considerando estos datos se tiene que para el área de crecimiento resultante del método aplicado se tendrá una densidad poblacional de acuerdo a lo presentado en la Tabla 13.

Tabla 13. Densidad poblacional año 2015 y 2030.

ÁREA DE CRECIMIENTO (km ²)		INCREMENTO NÚMERO DE HABITANTES PROYECTADO		DENSIDAD POBLACIONAL ESTIMADA (hab/km ²)	
2015	2030	2015	2030	2015	2030
5,66	32,45	75.121,00	267.522,00	13.272,26	8.244,13

Elaborado por: Elaboración propia con Microsoft Excel.

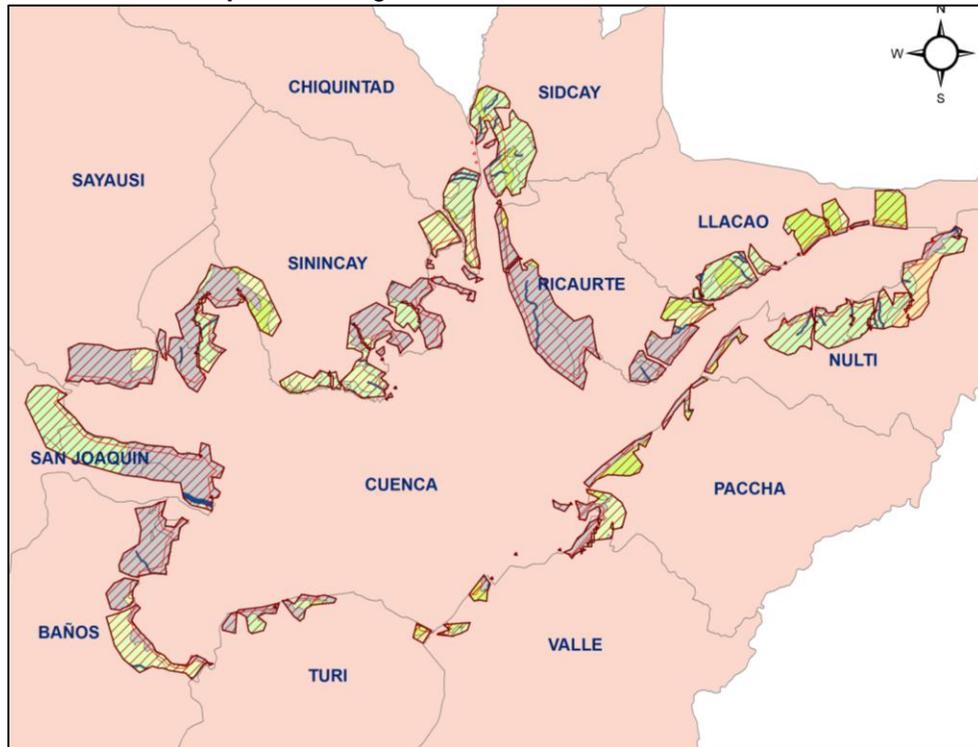
Fuente: INEC 2010, PDOT Cuenca.

Cabe indicar que esta densidad se daría siempre y cuando toda la población que crezca en número para los años analizados – 2015 y 2030 – se dirija hacia la zona de crecimiento resultante del método y no presente densificación en la zona poblada existente hasta el año 2012.

Anexo N° 4: Análisis de las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento cotejado con las categorías de ordenación y políticas establecidas en ordenanza por PDOT de Cuenca

Con el método aplicado se identificaron las áreas hacia las cuales se daría la direccionalidad del crecimiento de la población a años futuros – 2015 y 2030 –, basándose en la información de años precedentes – 2009 y 2012 –. Vinculando estos resultados con las categorías de ordenación establecidas por la Municipalidad de Cuenca a través de la “ORDENANZA QUE REGULA EL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO DE CONFORMIDAD CON EL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CUENCA – 2013” se puede observar que existen algunas zonas en las cuales se produciría un conflicto debido a que son designadas actualmente para otros usos de suelo. En futuras aplicaciones del método se debería considerar estas categorías como restricción.

Mapa 36. Categorías de ordenación PDOT Cuenca.



DESCRIPCIÓN	
	Dir. Crecimiento 2030
	Dir. Crecimiento 2015
Categorías Ordenamiento PDOT	
	Cabecera urbana cantonal
	Cabecera urbana parroquial
	Áreas urbanas de las parroquias
	Urbanizaciones exteriores
	Área de convivencia sustentable
	Áreas de agricultura en transición - Áreas de agricultura residencial
	Áreas de agricultura en transición - Áreas de fincas integrales
	Áreas de agricultura en transición - Áreas de sistemas agroforestales y cultivos
	Áreas de conservación del patrimonio cultural
	Áreas de protección de causes de ríos, quebradas o cualquier curso de agua y lagunas
	Áreas de recuperación ecosistémica - Áreas de recuperación natural
	Áreas residencial en baja densidad
	Parroquias de Cuenca

Elaborado por: Elaboración propia con ArcGis 9.3.

Fuente: PDOT Cuenca.