



**Escenarios de
crecimiento urbano
2017 y 2022 de la
ciudad de Portoviejo,
Manabí-Ecuador, a
partir de autómatas
celulares**

ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO 2017 Y 2022 DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR, A PARTIR DE AUTÓMATAS CELULARES

URBAN GROWTH SCENARIOS FOR THE YEARS 2017 AND 2022 OF THE CITY OF PORTOVIEJO, MANABI-ECUADOR, FROM CELLULAR AUTOMATA

RESUMEN

La expansión urbana es, en la actualidad, un fenómeno característico de áreas con alta densidad poblacional y espacios cercanos edificables y la ciudad de Portoviejo no es la excepción. Los asentamientos humanos de la ciudad crecen de una manera espontánea, sin planificación, no se establecen límites precisos entre las áreas urbanas y rurales, cada vez ocupan más espacios protegidos, laderas con pendientes fuertes y riberas de ríos. Este trabajo, plantea como objetivo la generación de escenarios de crecimiento urbano en base a autómatas celulares para la ciudad de Portoviejo para los años 2017 y 2022. El estudio considera los autómatas celulares como herramienta dinámica para la predicción de escenarios futuros de la mancha urbana de la ciudad mediante el software DINÁMICA EGO y su modelo Land Use Cover Change, tomando en cuenta variables dinámicas y estáticas como vías, río, vegas del río, aeropuerto, planta de aguas residuales, cota 100 msnm, distancia a las vías, distancia inversa al río, modelo digital del terreno (DEM) y pendientes, siendo la variable DEM la más relevante para el modelo. Además, se calibró el modelo con una media de 0,36 ha, una varianza de 0,47 ha y una isometría de 1, tanto para el parchado como para la expansión, con una tasa de cambio neta de 0,25%, obteniendo una validación de hasta un 81% de similitud de diferencia. Para el año 2017 se proyecta que la ciudad crecerá aproximadamente un 6% y para el año 2022 aproximadamente un 7% con respecto al área urbana del año 2010.

PALABRAS CLAVE: Escenarios de crecimiento; Autómatas celulares; Asentamientos humanos; Modelo predictivo; SIG.

Copyright © Revista San Gregorio 2017. ISSN: 1390-7247; eISSN: 2528-7907 ©

ABSTRACT

Urban sprawl is, today, a phenomenon characteristic of areas with high population density and building spaces nearby and the city of Portoviejo is no exception. Human settlements in the city grow spontaneously, without planning, no precise boundaries between urban and rural areas are established, increasingly they occupy protected areas, steep slopes and riverbanks. This work, therefore seeks to generate urban growth scenarios based on cellular automata for the city of Portoviejo for the years 2017 and 2022. The study finds cellular automata as a dynamic tool for predicting future scenarios of urban spot the city by the DINAMICA EGO software and model Land Use Cover Change, taking into account variables dynamic and static as roads, rivers, plains of the river, airport, sewage plant, elevation 100 m, distance to roads, inverse distance river, DEM and slopes, the DEM being the most relevant for the model variable. Furthermore, the model with an average of 0.36 ha, has a variance of 0.47 and an isometry 1 for both patching as for expansion was calibrated with a net change rate of 0.25%, obtaining a validation of up to 81% similarity difference. 2017 is projected to city grow about 6% and for the year 2022 by approximately 7% compared to the urban area by 2010.

KEYWORDS: Growth scenarios; Cellular autómatas; Human settlements; Predictive model; GIS.

Copyright © Revista San Gregorio 2017. ISSN: 1390-7247; eISSN: 2528-7907 ©

 **ADRIAN ELICEO REYNA GARCIA**

 Universidad San Gregorio de Portoviejo. Ecuador

 aereyna@sangregorio.edu.ec

 **JOSÉ LIZARDO REYNA BOWEN**

 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Ecuador

 lreyna@espam.edu.ec

 **CARLOS JULIO VINCES SOLORIZANO**

 Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

 cvinces@utm.edu.ec

ARTÍCULO RECIBIDO: 11 DE SEPTIEMBRE DE 2017

ARTÍCULO ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN: 7 DE DICIEMBRE DE 2017

ARTÍCULO PUBLICADO: 31 DE DICIEMBRE DE 2017

INTRODUCCIÓN

El acelerado y desorganizado crecimiento de la ciudad de Portoviejo, está dando espacio a amplias áreas urbano-marginales, acentuando el desequilibrio territorial y a la vez incrementando el déficit de los servicios básicos. Los asentamientos humanos de la ciudad crecen de una manera espontánea, sin planificación, no se establecen límites precisos entre las áreas urbanas y las rurales, cada vez ocupan más espacios protegidos, laderas con pendientes fuertes, riberas de ríos, manglares. Las parroquias urbanas y rurales se desarrollaron con una trama urbana caótica y desordenada, lo que dificulta la dotación de redes de distribución de energía eléctrica, alumbrado público, agua potable, alcantarillado, recolección de basuras y otros servicios (GAD del cantón Portoviejo, 2011).

Se puede decir que la expansión es producto de un limitado planeamiento en cuanto a usos y ocupación del suelo, reglas de mercado, políticas impositivas poco justas y la superposición de atributos de estructura gubernamentales (Alcántara Díaz, 2006; citado por San Miguel, 2010).

Portoviejo vive constantes inundaciones de áreas pobladas en épocas invernales. Esto debido, principalmente, al no cumplimiento de la regulación que obliga a realizar asentamiento con una distancia mínima de 50 metros del cauce del río. Las inundaciones también pueden ser provocadas por cierre de quebradas, vertederos de basura y escombros en el cauce del mismo, construcción de viviendas en las quebradas y en las zonas vulnerables del cauce hídrico del Río Portoviejo (GAD del cantón Portoviejo).

El deterioro de las áreas boscosas que circundan la ciudad ha aumentado, debido al irrespeto de la ordenanza que a partir de la cota 70 msnm no se debe construir viviendas ni realizar otras actividades que causen alte-

raciones a la biodiversidad que existe en las colinas que aún conservan vegetación nativa. La tala de árboles y la quema de la cobertura vegetal se realizan para la ampliación de las áreas agrícolas y para la ocupación con viviendas en los procesos de urbanización desordenados (GAD del cantón Portoviejo, 2011).

Adicionalmente las autoridades no cuenten con herramientas técnicas, como, por ejemplo, proyecciones de la expansión urbana de la ciudad, que permitan la toma de decisiones y aplicación de medidas que remedien y a la vez organicen el crecimiento adecuado de la ciudad.

Los modelos de cambio de uso del suelo son herramientas de apoyo al análisis de las causas y consecuencias del uso de la tierra. Son utilizados, con el fin de comprender mejor el funcionamiento del sistema de uso de la tierra y para apoyar la planificación del uso del suelo y la política. Los modelos son útiles para desentrañar el complejo conjunto de factores socioeconómicos y biofísicos, las fuerzas que influyen en la velocidad y el patrón espacial de uso de la tierra y cambio para la estimación de los impactos de cambios en el uso del suelo. Además, los modelos pueden apoyar la exploración de los futuros cambios de uso del suelo bajo diferentes condiciones del escenario (Verburg, et al., 2004).

El GAD del cantón Portoviejo pese a tener la responsabilidad de garantizar que la base de los recursos naturales y de los procesos ecológicamente fundamentales de su jurisdicción, no se deterioren al extremo de imposibilitar el mejoramiento de las condiciones de vida presente y futura de la población, no ha considerado desarrollar al cantón de manera sustentable, tomando en cuenta las tendencias de crecimiento de la ciudad, por lo tanto este trabajo propone la identificación de escenarios futuros para una efectiva y eficiente planificación del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Portoviejo, a través de los autómatas celulares (AC).

Torrens (2001) menciona que los AC ofrecen una variedad de ventajas para la simulación urbana y en muchas formas remedian las definiciones particulares de los modelos "tradicionales". Los AC pueden ser diseñados prestando atención a los detalles. Los AC son inherentes espaciales y descentralizados. Además, tienen una afinidad natural con los

datos raster y los SIG (Couclelis, 1997; citado por Torrens, 2001), así como la programación orientada a objetos. Los AC también proporcionan un mecanismo para vincular micro y macro enfoques para la conexión de los patrones con los procesos que los producen.

Tobler en 1979 fue el primero en proponer los AC para el modelado de procesos geográficos, de allí Wolfram en 1984 demuestra que los AC son capaces de reproducir dinámicas complejas a escala global a partir de interacciones a escala local. Couclelis en 1985 sienta las bases teóricas para la implementación de los AC urbanos (García, 2011).

Son muchos los modelos de este tipo que han aparecido en los últimos tiempos. Ejemplos de ellos son los desarrollados por White y Engelen en los años 1997 y 2000 en la ciudad de Cincinnati-EEUU y en Holanda respectivamente (Aguilera, 2006). El software DINAMICA EGO ha sido aplicado para simular una variedad de fenómenos espaciales, tales como el cambio de uso del suelo y el crecimiento urbano (Filho, et al., 2009). Además, recientemente el trabajo realizado por Huamani (2010), en el cual utiliza el DINAMICA EGO para generar escenarios de crecimientos urbanos para la ciudad de Cusco-Perú.

DINAMICA EGO también puede ser vinculado a otros modelos a través de una arquitectura multinivel que consiste en intervenir submodelos y un generador de escenarios que controla las tasas de transición o la inclusión de la probabilidad de salida de las superficies de los modelos externos.

El desarrollo de trabajos que permitan la predicción del comportamiento espacial a futuro por medio de AC en la ciudad de Portoviejo (Manabí-Ecuador), no ha sido ensayado para la planificación del territorio aún. Actualmente, el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Portoviejo tiene elaborado su plan de desarrollo y ordenamiento territorial, debido a que el Estado Ecuatoriano ha impulsado a que todos los niveles de organización político-administrativa presenten dichos planes para poder participar de la distribución del presupuesto, pero el GADP no ha tomado en cuenta la tendencia de la distribución espacial en la ciudad en la elaboración de su plan de ordenamiento territorial. Con la presente investigación se pretende generar escenarios de crecimiento ur-

bano en base a autómatas celulares, aplicando el modelo LUCC, para la ciudad de Portoviejo Manabí-Ecuador para los años 2017 y 2022 que ayuden en el proceso de planificación de la ciudad.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió de manera ordenada y sistemática en la obtención de los insumos que formaron parte del modelo para la generación de los escenarios de crecimiento urbano para la ciudad de Portoviejo

1.1. DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

Portoviejo es un pujante cantón de la provincia de Manabí, posee una población de 280.029 habitantes (INEC, 2011). Aproximadamente a 35 kilómetros se encuentran los puertos marítimo y aéreo internacionales de la ciudad de Manta. El territorio se caracteriza por tener una topografía irregular en la zona alta y regular en la baja del valle del río Portoviejo. La agricultura y la ganadería son las principales fuentes de trabajo y riqueza de la región (Flores de Valgas & Reyna, 2011). Está ubicado en la coordenada 560 000 E y 9 883 000 N (tomadas desde el centro de la ciudad, Figura No. 1).

Administrativamente el cantón se divide en parroquias urbanas y rurales. La cabecera cantonal es la ciudad de Portoviejo, la cual se encuentra asentada sobre el valle del río que lleva el nombre de la ciudad, está rodeada de colinas de bosque seco tropical. Del total de habitantes del cantón el 73,80 % (206 682 habitantes) viven en la parte urbana, es decir en la ciudad, y 26,20 % (73 347 habitantes) en la parte rural (INEC, 2011). Los datos de temperatura muestran que existen un comportamiento estable, con variaciones que van de 1 °C a 12 °C, la temperatura promedio para los últimos 10 años es de 24 °C (GAD del cantón Portoviejo, 2011). Cabe indicar que el área de estudio solo es la parte urbana del cantón, con un área aproximada de 30 km².

Figura no. 1 Mapa del área de estudio ciudad de Portoviejo (Ver Anexos)

1.2. DEFINICIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LOS INSUMOS

Se contó con información proporcionada por el GAD del cantón Portoviejo, así como información obtenida de parte del IGM –

Ecuador, datos netamente oficiales. Entre los insumos proporcionados por el GAD del cantón Portoviejo se obtuvieron los mapas de vías principales, aeropuerto, límite urbano, vegas de protección del río y las fotografías aéreas del 2002 (resolución espacial de 1 m) y 2010 (resolución espacial de 0,50 m) en formato TIFF. Los mapas estaban en formato dwg, por lo cual se empleó el software AutoCAD y desde allí a cada mapa se los guardó en formato dxf para poder trabajar en el software ArcGIS 10, en donde, se guardó a cada mapa en formato shp y a la vez se los exportó al software ILWIS 3.3 para la estandarización de los insumos.

Los insumos que se obtuvieron de parte del IGM-Ecuador fueron la carta topográfica del año 2000 (interpretada a partir de fotografías aéreas del año 1994) de la ciudad de Portoviejo escala 1:50 000 en formato TIFF, y el DEM de 30 m de resolución espacial en formato ASCII, se procedió a la conversión del formato ASCII a TIFF y por último se extrajeron las pendientes.

Los mapas de vías principales, aeropuerto, límite urbano y vegas de protección del río fueron convertidos a formatos raster en el software ILWIS 3.3 con la delimitación anteriormente creada, luego se procedió a la asignación de valores de -1 (valor nulo) y 1 (valor verdadero), por ejemplo, los pixeles que se encontraban en la categoría de aeropuerto se les asignó el valor de 1 y al resto de pixeles que no pertenecen a la misma categoría se les asignó el valor de -1. Lo mismo se les realizó a los demás mapas.

1.3. DIGITALIZACIÓN

Previo a comenzar la digitalización sobre las fotografías aéreas y la carta topográfica se verificó que todas coincidieran espacialmente, teniendo que ajustar la fotografía de 2010 debido a que tenía un desplazamiento con respecto a la fotografía de 2002 y la carta topográfica. Se rectificó la fotografía aérea del 2010 en el software ArcGIS 10, utilizando el método affine con 8 puntos de control obteniendo un error de 0.6 (menor a 1) lo cual es aceptable.

Una vez que las fotografías y la carta topográfica coincidían espacialmente se procedió a la digitalización de la mancha urbana sobre la carta correspondiente al año 1994, la cual

sirvió como base para realizar la digitalización de la mancha urbana sobre la fotografía del año 2002 y a la vez esta para la digitalización sobre la fotografía aérea del año 2010 y así obtener la mancha urbana de ese año (Figuras No. 2, 3 y 4).

Figura no. 2 Mapa de la mancha urbana año 1994 Ciudad de Portoviejo (Ver Anexos)

Figura no. 3 Mapa de la mancha urbana año 2002 Ciudad de Portoviejo (Ver Anexos)

Figura no. 4 Mapa de la mancha urbana año 2010 Ciudad de Portoviejo (Ver Anexos)

Con la obtención de los tres mapas correspondientes a las manchas urbanas de los años 1994, 2002 y 2010 se realizó la exportación en formato shp al software ILWIS 3.3 en donde se los rasterizó utilizando la delimitación colocada en la georreferencia ya creada para los demás insumos y por último se le asignó el valor de 1 a los pixeles con características de urbano y 0 al resto de pixeles que no pertenecen a urbano.

Partiendo de la carta topográfica interpretada de fotografías del año 1994, se realizó la digitalización de las curvas de nivel 60, 80 y 100 (msnm), ya que unas de las ordenanzas en la ciudad de Portoviejo es que no debe existir ninguna actividad humana por encima de la cota 70 msnm y en aquellos lugares donde ya lo exista, no se permitirá las actividades por encima de la cota 100 msnm.

Se decidió realizar una poligonización utilizando como restricción total la cota 100 msnm y se exportó el mapa en formato shp al software ILWIS 3.3, en donde se le asignó el sistema espacial de referencia en que se colocaron los insumos descritos anteriormente y se lo rasterizó. También se le asignó el valor de 1 a las áreas que se encuentra por debajo de la cota 100 msnm y -1 a las áreas por encima de la cota establecida como restricción.

Una vez digitalizado el río se realizó un polígono con equidistancia de 50 m del río hacia las orillas, esto fundamentado en que no debe de existir actividad humana alguna más que de protección de la ribera del río. Se exportó el mapa resultante en formato shp al software ILWIS 3.3 en donde se le realizó el mismo proceso que a los demás insumos, así mismo como la asignación del valor de 1 a los pixeles

que forman parte de la categoría de orillas del río y -1 a los píxeles que no pertenecen a esta categoría.

1.4. OBTENCIÓN DE LAS MATRICES DE TRANSICIÓN

Una matriz de transición describe cuánto han cambiado las celdas en incrementos de tiempos discretos, en los que el valor de cualquier variable en un periodo de tiempo dado es la suma de los porcentajes fijos de los valores de todas las variables en el paso del tiempo previo. La suma de fracciones de transición es igual a uno (Filho, et al., 2009b).

Las tasas de transición determinan las cantidades neta de cambios, más precisamente, el porcentaje de suelo que ha cambiado en cada clase, debido a esto también son conocidas como tasa neta, por ser un porcentaje tiene un carácter adimensional. Las tasas brutas son especificadas en unidades de área (ha, km², etc.) por unidad de tiempo.

DINÁMICA EGO convierte las tasas brutas en tasas netas, dividiendo la extensión del cambio por la fracción de cada clase de uso de suelo antes del cambio (Filho, et al., 2009b). Para la obtención de las matrices de transición se utilizó un modelo en el cual los insumos de entradas fueron las machas urbanas del año 1994 y del año 2002. Este modelo arrojó entre sus procesos el número de celdas por categoría (Cuadro No. 1), es decir, cuantas celdas pertenecen a la categoría de 1 (urbano) y de 0 (no urbano) del año inicial, en este caso el año 1994. Además, arrojó el número de celdas que cambiaron de una categoría a otra (Cuadro No. 2).

Cuadro no. 1 Número de celdas por categoría (Ver Anexos)

Cuadro no. 2 Celdas por transición (Ver Anexos)

También se obtuvieron la matriz de paso simple (Cuadro No. 3) y la matriz de paso múltiple (Cuadro No. 4); la matriz de paso simple corresponde a un periodo de tiempo representado en un solo paso de tiempo (8 años), esta indica que existió un cambio neto de 2,88 % de los estados 0 (no urbano) a 1 (urbano) entre los años de 1994 y 2002. La matriz de paso múltiple corresponde a la

unidad de paso de tiempo (1 año), el cambio calculado ha sido de 0,36 %.

1.5. CÁLCULO DE LOS RANGOS PARA CATEGORIZAR LAS VARIABLES CONTINUAS

Los pesos de evidencia es un método Bayesiano, en el que el efecto de una variable espacial sobre una transición es calculada sin considerar el resto de variables. El método realiza cálculos matemáticos complejos, requiere de mapas clasificados en rangos, con este fin se aplicó el método adaptado de Agterberg & BonhaCarter (Filho, el at., 2009b), que calcula los rangos preservando la estructura espacial de los datos, en base a un incremento.

A las variables se les asignó la condición de categórica a aquellas que son fijas espacialmente y de continuas a aquellas que varían espacialmente. En el caso de los mapas de distancias se los consideró como continuos y se les asignó un incremento de 30 m ya que esta es el tamaño de la resolución espacial. Para el mapa de elevaciones (DEM) y el de pendiente también considerados continuos, se les asignó un incremento de 3 m y de 1 % respectivamente para asegurar un mayor detalle (Cuadro No. 5).

Cuadro no. 5 Condición de las variables para el cálculo de los rangos para los pesos de evidencia (Ver Anexos)

1.6. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE LOS PESOS DE EVIDENCIA

Determinados los rangos se procedió a calcular los coeficientes de evidencia mediante un modelo de cálculo del software DINÁMICA EGO (Filho, et al., 2009b), como ya se mencionó antes el método para el cálculo es muy complejo, no obstante la observación más resaltante es que mientras más distante del eje central cero, es decir, valores negativos de un coeficiente, tiene un mayor grado de repulsión o rechazo a la urbanización, si un coeficiente es igual a cero implica que no influye y valores de coeficientes positivos más distante del eje cero tienen mayor atracción al crecimiento urbano (Figura No. 5).

Figura no. 5 Puntos de quiebre, rangos y pesos de evidencia de la variable "distancia a las vías" (Ver Anexos)

Uno de los principales requisitos del método de pesos de evidencias es que las variables sean independientes entre sí. Para el análisis del grado de correlación que tuvieron las variables se empleó el coeficiente *C* de Cramér. En el Cuadro No. 6 se muestra el grado de correlación entre varias variables, las combinaciones que no aparecen son porque su coeficiente es de cero.

Cuadro no. 6 Correlación de las variables del modelo por el método del coeficiente *c* de cramér (Ver Anexos)

1.7. MODELAMIENTO CON AUTÓMATAS CELULARES

Se utilizó el software DINÁMICA EGO como una plataforma de simulación del modelo Land Use Cover Change (LUCC). La meta es ejecutar, validar y calibrar un modelo LUCC que simula la expansión urbana de la ciudad de Portoviejo.

Aquí se utilizaron los insumos obtenidos en los pasos anteriores tales como:

- Mapa de la mancha urbana del año inicial 1994

- El cubo de mapa en donde se encuentran las variables estáticas comprimidas

- La matriz de transición de paso múltiple entre los años 1994 y 2002

- Los coeficientes de los pesos de evidencia calculados para cada rango de las variables del modelo

Estos insumos fueron ingresados en el modelo LUCC, en el cual se obtiene a través de iteraciones que representan el paso del tiempo sobre las variables, un pronóstico del cambio de uso del suelo de 0 a 1, cada iteración realiza el recalcu de los parámetros que varían en el tiempo, es decir, la distancia a la mancha urbana, que será actualizada conforme la simulación modifique la mancha urbana. También se calcula las tasas de cambio, o el número de celdas a ser modificadas derivadas de las tasas netas de la matriz de transición, que luego se multiplican por la cantidad de celdas de la categoría no urbano que aún quedan en cada iteración y que son proclives al cambio. Además, se calibró el modelo con una media de 0,36 ha, una varianza de 0,47 ha y una iso-

metría de 1, tanto para el parchado como para la expansión, además de una tasa de cambio neta de 0,25%.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. VARIABLES EXPLICATIVAS ESPACIALES DE MAYOR RELEVANCIA

Para la determinación de la influencia de cada variable en el crecimiento urbano de la ciudad de Portoviejo, se tomó los pesos asignados y los pesos colocados en valor absoluto, ya que como se ha mencionado los coeficientes de pesos de evidencia pueden ser positivos o negativos, esto depende del grado de atracción o repulsión que tiene cada variable en el crecimiento urbano de la ciudad.

El Cuadro No. 7 muestra la relevancia que tiene cada variable en su categoría con respecto a la dinámica de crecimiento que presenta la ciudad de Portoviejo (Manabí-Ecuador).

Cuadro no. 7 Variables explicativas en orden de relevancia para el modelo LUCC (Ver Anexos)

En comparación con el estudio realizado por Huamani (2010) para la ciudad de Cusco, se puede decir que las dinámicas de crecimientos son claramente diferentes, ya que la variable de distancia a la mancha urbana es la que tiene mayor relevancia en el crecimiento urbano de esa ciudad, mientras que para la ciudad de Portoviejo la variable DEM (elevaciones) es la de mayor relevancia.

2.2. MODELO DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO URBANO PARA LA CIUDAD DE PORTOVIEJO

Se estableció un modelo de simulación en el cual intervinieron 11 variables, esto a que no se presentaron índices de correlación considerables entre ellas, lo cual permitió la utilización de todas las variables.

Con los pesos asignados a cada una de las variables, una tasa de cambio neta de 0,25 %, valores de 0,36 ha y 0,4717 ha para la media y varianza respectivamente y una isometría de 1 tanto para el parchado como para la expansión de las celdas, se obtuvo un modelo el cual puede explicar hasta un 80,50 % el crecimiento urbano de la ciudad de Portoviejo para el caso más optimista y un 58,50 % para un caso menos favorable en similitud de diferencias

entre mapas aplicando el modelo LUCC del software DINÁMICA EGO.

A diferencia del estudio realizado por Huamani (2010) en donde emplea una validación con tamaño de ventana de hasta 11 celdas por 11 celdas, en este trabajo se emplearon valores de validación con un tamaño de ventana de 7 celdas por 7 celdas, aproximadamente el tamaño de dos manzanas urbanas, escogiendo este tamaño debido a que la intención no es la de forzar el modelo a obtener resultados mayores, sino valores que estén apegados a la realidad de la dinámica del crecimiento que presenta la ciudad de Portoviejo. Para que el modelo obtenga mejores resultados sin la necesidad de emplear tamaños de ventanas mayores podría ayudar la utilización de un mapa de elevaciones de menor resolución espacial.

Además, se realizó una validación aplicando la similitud entre áreas de los mapas de la mancha urbana del año 2010 digitalizada y proyectada por el modelo de simulación LUCC, obteniendo un porcentaje de similitud de 78,40 %.

2.3. ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO PARA LOS AÑOS 2017 Y 2022

Los escenarios de crecimiento urbano no son más que las simulaciones o proyecciones generadas por el modelo LUCC en los distintos intervalos de tiempo. En el Cuadro No. 8 se aprecia el área que tendrá la ciudad de Portoviejo para los años 2017 y 2022, teniendo un crecimiento espacial (Figura No. 6 y 7) en el cual se puede notar claramente que el crecimiento se da en la parte Norte de la ciudad y en las cercanías de las vías hacia el Sur y el Oeste.

Cuadro no. 8 Área de la mancha urbana para los años 2017 y 2022 de la ciudad de portoviejo (Ver Anexos)

Figura no. 6 Mapa de la mancha urbana proyectada para el año 2017 ciudad de portoviejo (Ver Anexos)

Figura no. 7 Mapa de la mancha urbana proyectada para el año 2022 ciudad de portoviejo (Ver Anexos)

La aplicación de los modelos predictivos como el LUCC, permiten determinar los cambios que se podrían producir en la ciudad, debido a las características propias y la dinámica con la que ciudad de Portoviejo se asienta. Los mapas generados sirven como herramienta para los procesos de planificación de la ciudad a cargo del GAD municipal, dando una alerta de la probabilidad del mal uso del suelo.

CONCLUSIONES

Los escenarios de crecimiento generados a partir de autómatas celulares, permiten por medio de una implantación de semillas de celdas y expansiones de las mismas, una especialización siguiendo patrones de comportamiento característicos de tal manera que la ciudad de Portoviejo tendrá un crecimiento para el año 2017 de aproximadamente 6 % y para el año 2022 un crecimiento aproximado de 7 %, ambos con respecto al área de la mancha urbana del año 2010, observando una tendencia de mayor crecimiento hacia la parte Norte de la ciudad y en los costados de las vías que se encuentran en el Sur y en el Oeste de la ciudad.

La variable de mayor relevancia en el crecimiento urbano de la ciudad de Portoviejo (Manabí-Ecuador) es el DEM (elevaciones), seguida de la distancia a la mancha urbana, además la variable con menos influencia es la cota 100 msnm.

Con los pesos asignados a cada una de las variables que intervienen en el modelo, parámetros de media igual a 0,36 ha, varianza igual a 0,47 ha, isometría igual a 1 y con una transición de 0,25 % de cambio por cada iteración, el modelo puede ajustarse aproximadamente hasta un 81 % de similitud de diferencia y un 78 % en similitud de áreas entre mapas.

RECOMENDACIONES

Como la dinámica de la ciudad es distinta en diferentes zonas, se debe buscar cuadrantes patrones, para dividir a la ciudad en distintas partes y aplicar valores de parchado, expansión e isometría a cada cuadrante y que representen el comportamiento más real en cada una de las zonas en que se divida la ciudad para un análisis más preciso.

Con la utilización de un mapa de elevaciones (DEM) de mayor resolución espacial, que permita disminuir el tamaño de celda a utilizar, y otros tipos de variables como, por ejemplo, variables socioeconómicas, se pueden lograr porcentajes de validaciones mayores a los obtenidos. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, F., 2006. Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. *GeoFocus*, vi, p. 81-112.

Alberto, J., 2009. Geografía y crecimiento urbano. Paisajes y problemas ambientales. Resistencia - Argentina: UNNE.

Bustamante, M., 2011. Determinación y análisis de índice de productividad de los cajeros cfemáticos. [En línea]. Available at: http://tesis.uson.mx/digital/tesis/dig_TesisWebDet.asp[Último acceso: 9 Noviembre 2012].

Cámara de Diputados del H. Consejo de la Unión - México, 2012. *diputados.gob.mx*. [En línea]. Available at: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/133.pdf>[Último acceso: 21 Octubre 2012].

Clavero, I., Santos, M., Navarro, R., Guerrero, J., Cáceres, F. & Moreira, J., 2010. Implementación de un sistema de escenarios futuros sobre el mapa de usos de suelo de Andalucía. Sevilla: Tecnologías de la Información Geográfica.

Collazos, E., 2006. Escenarios de crecimiento urbano en el municipio de Tiquipaya a partir de evaluación espacial multicriterio. Cochabamba: CLAS - UMSS.

Filho, B., Filho, L., Cerqueira, G. & Araújo, W., 2009. Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model.

Filho, B., Rodrigues, H. & Costa, W., 2009b. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Belo Horizonte: s.n.

Flores de Valgas, S. & Reyna, A., 2011. Estudio y diseño de los caminos vecinales Maconta en medio - La quebrada del agua y Maconta en medio - Maconta adentro de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. Portoviejo: UTM.

GAD del cantón Portoviejo, 2011. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Portoviejo, Portoviejo: Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portoviejo.

García, A., 2011. [En línea] Available at: <http://laborate.usc.es/files/presentacion-tesis-doctoral-simulacion-del-crecimiento-urbano-en-galicia-mediante-modelos-de-automatas-celulares:aplicacion-en-el-ayuntamiento-de-ribadeo.pdf> Último acceso: 29 Septiembre 2012].

Huamani, R., 2010. Generación de escenarios de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Cusco para el periodo 2010-2020. Cochabamba: CLAS - UMSS.

INEC, 2011. Resultados del censo 2010 de población y vivienda del Ecuador - Fascículo provincial Manabí, Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

IAI, INE & UNEP, 2007. Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina. San José de los Campos - Brasil: Instituto Interamericano para la Investigación sobre Cambio Global.

Irigoyen, E., 2003. Aptitud de suelos para la expansión urbana sin riesgos en el municipio de Capinota. Cochabamba: CLAS - UMSS.

Mas, J. & Flamenco, A., 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, v(1), p. 1-24.

RAE, 2012. Real Academia Española. [En línea] Available at: <http://lema.rae.es/rae/?val=Crecimiento%20urbano>[Último acceso: 25 Octubre 2012].

San Miguel, R., 2010. La expansión urbana en suelo de conservación en la delegación Tlahauc, DF. México. Tesis de maestría. FLACSO - México.

Torrens, P., 2001. Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the mixture, simmer and wait.... Annual Association of American Geographers Meeting.

Verburg, P., Schot, P., Dijst, M. & Veldkamp, A., 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. *Kluwer Academic Publishers GeoJournal* # 61. 309-324. Printed in the Netherlands



ANEXOS

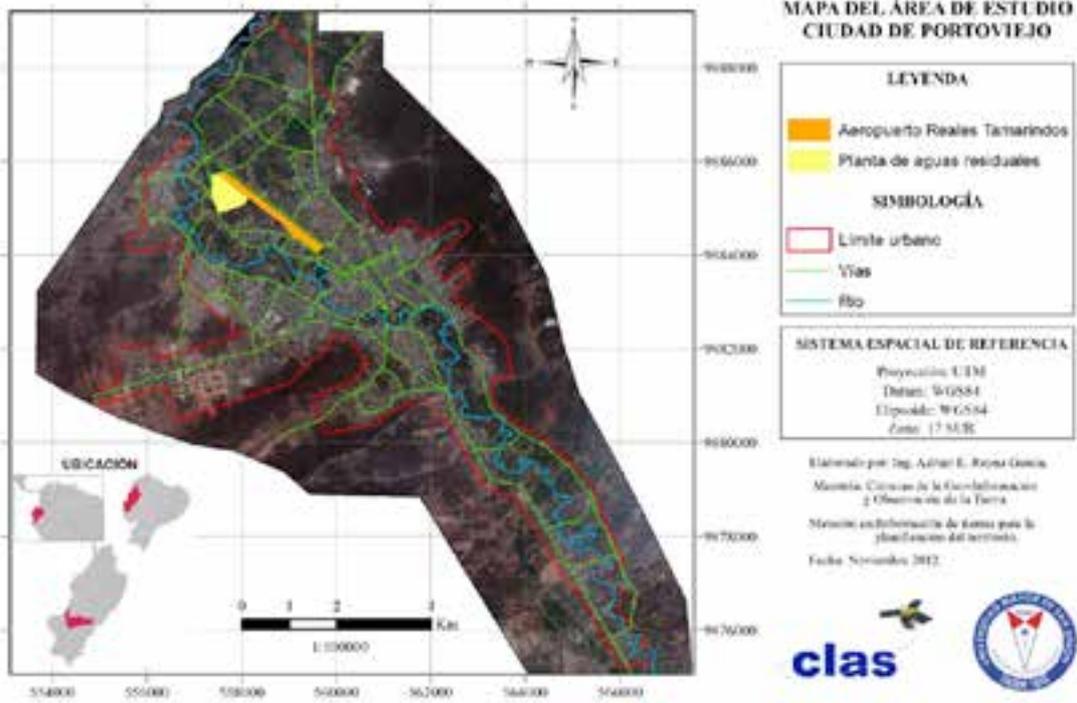


Figura no. 1 Mapa del área de estudio ciudad de Portoviejo.
Fuente: Elaboración propia

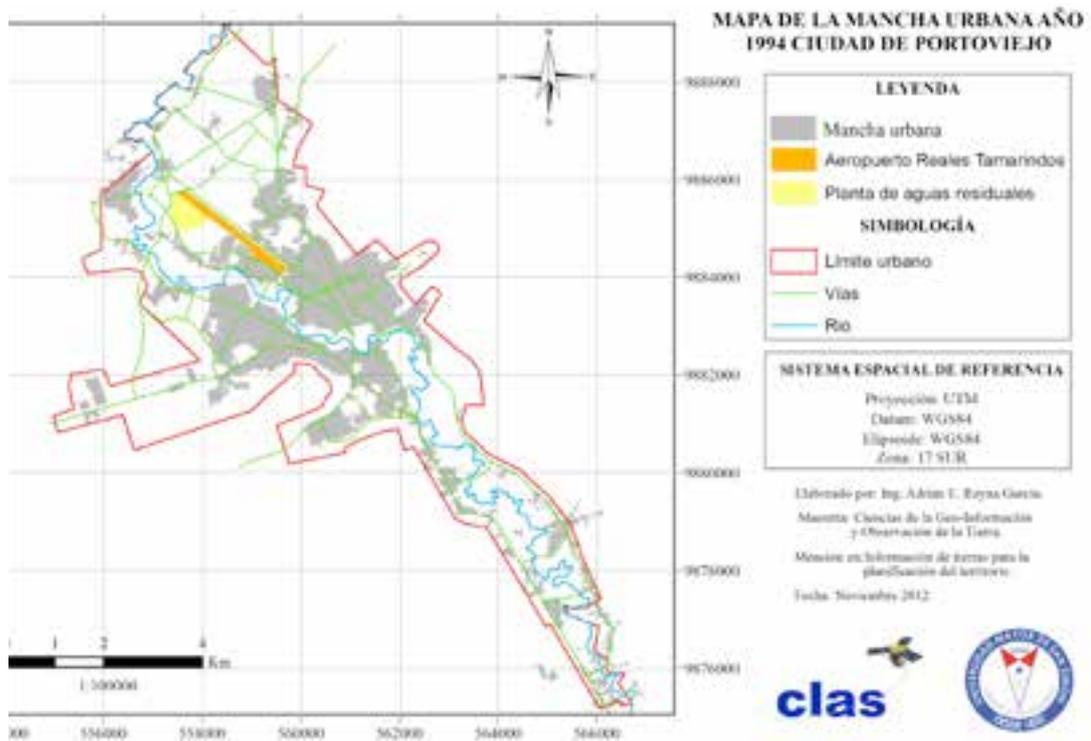


Figura no. 2 Mapa de la mancha urbana año 1994 Ciudad de Portoviejo
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

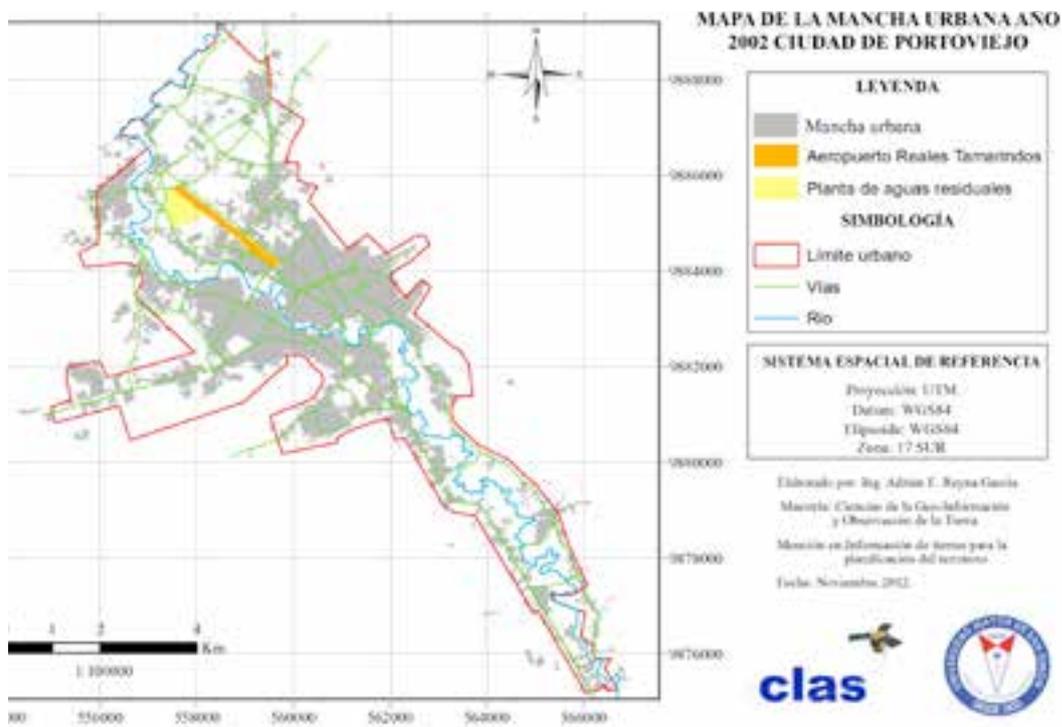


Figura no. 3 Mapa de la mancha urbana año 2002 Ciudad de Portoviejo
Fuente: Elaboración propia

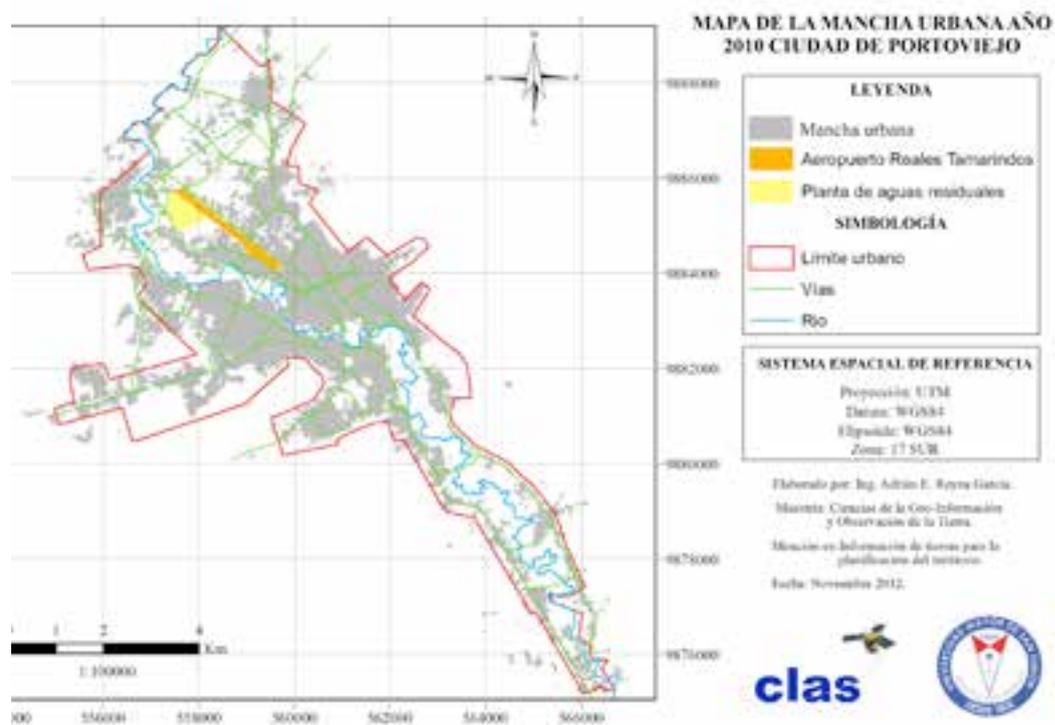


Figura no. 4 Mapa de la mancha urbana año 2010 Ciudad de Portoviejo
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

Categoría	Número de celdas
0	242545
1	15997

Cuadro no. 1 número de celdas por categoría.
Fuente: Elaboración propia

De/A	0	1
0	----	6980
1	11	----

Cuadro no. 2 celdas por transición.
Fuente: Elaboración propia

De/A	0	1
0	----	0,0287782
1	0,0006876	----

Cuadro no. 3 matriz de paso simple (8 años)
Fuente: Elaboración propia

De/A	0	1
0	---	0,0036445
1	0,0000871	----

Cuadro no. 4 matriz de paso múltiple (1 año)
Fuente: Elaboración propia

Variabes	Condición	Incremento espacial
Distancia a la mancha urbana del año 1994	Continua	Cada 30 m
DEM (mapa de elevaciones)	Continua	Cada 3 m
Mapa de pendientes	Continua	Cada 1 %
Mapa de distancias a la vías principales	Continua	Cada 30 m
Mapa de distancia inversa al río	Continua	Cada 30 m
Mapa del aeropuerto	Catagórica	----
Mapa de la cota 100	Catagórica	----
Mapa de la planta de aguas residuales	Catagórica	----
Mapa del río	Catagórica	----
Mapa de vegas del río	Catagórica	----
Mapa de vías	Catagórica	----

Cuadro no. 5 condición de las variables para el cálculo de los rangos para los pesos de evidencia.
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

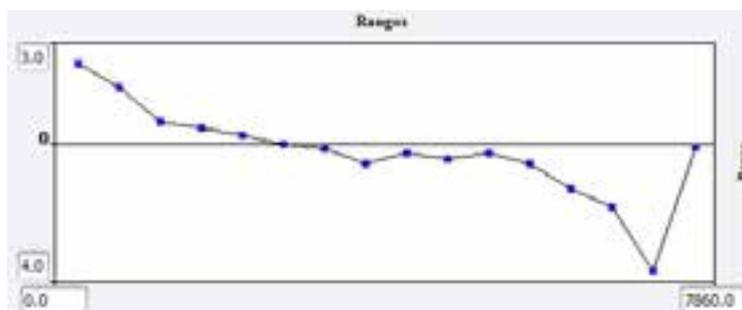


Figura no. 5 puntos de quiebre, rangos y pesos de evidencia de la variable "distancia a las vías".
Fuente: Elaboración propia

Primera Variable	Segunda Variable	Coefficiente C de Cramér
DEM (elevaciones)	Distancia inversa al río	0,23
DEM (elevaciones)	Distancia a las vías	0,18
DEM (elevaciones)	Pendiente	0,28
DEM (elevaciones)	Distancia a la mancha urbana	0,21
Distancia inversa al río	Distancia a las vías	0,22
Distancia inversa al río	Pendiente	0,14
Distancia inversa al río	Distancia a la mancha urbana	0,27
Distancia a las vías	Pendiente	0,16
Distancia a las vías	Distancia a la mancha urbana	0,31
Pendiente	Distancia a la mancha urbana	0,15

Cuadro no. 6 correlación de las variables del modelo por el método del coeficiente c de cramér.
Fuente: Elaboración propia

Variables estáticas		Peso en el modelo LUC
1	Vías	3,00
2	Cota 100 msnm	0,00
Variables estáticas continuas		Peso en el modelo LUC
1	Elevaciones (DEM)	5,76
2	Distancia a la mancha urbana	4,34
3	Distancia a las vías	3,64
4	Pendiente	3,57
5	Distancia inversa al río	2,40
Variables de restricción		Peso en el modelo LUC
1	Aeropuerto	5,00
2	Planta de aguas residuales	5,00
3	Río	5,00
4	Vegas del río	3,00

Cuadro no. 7 variables explicativas en orden de relevancia para el modelo LUC.
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

Año	Área de la mancha urbana (ha)	Porcentaje de crecimiento (%)
2010 (mapa digitalizado)	2 345	-----
2017 (mapa proyectado)	3 196	5,90
2022 (mapa proyectado)	3 559	7,30

Cuadro no. 8 área de la mancha urbana para los años 2017 y 2022 de la Ciudad de Portoviejo.
Fuente: Elaboración propia

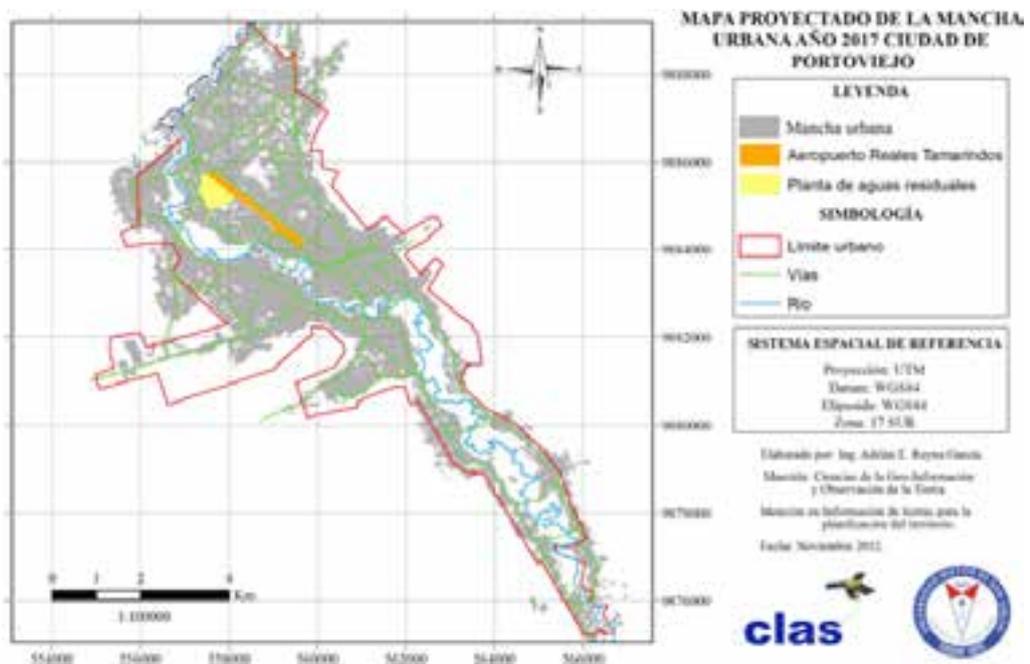


Figura no. 6 mapa de la mancha urbana proyectada para el año 2017 Ciudad de Portoviejo.
Fuente: Elaboración propia

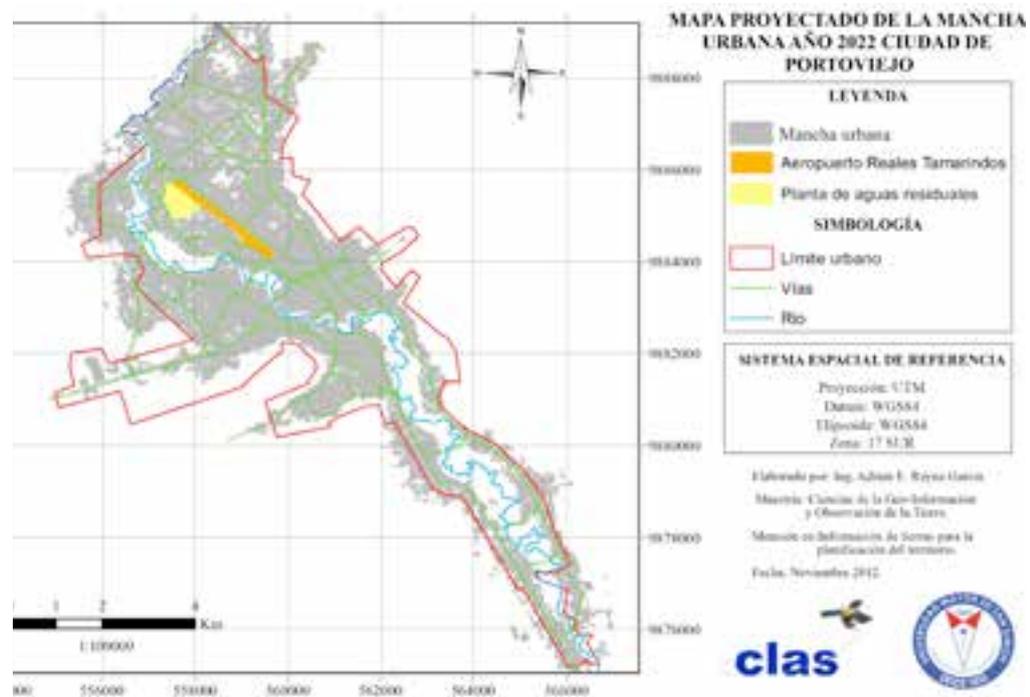


Figura no. 7 mapa de la mancha urbana proyectada para el año 2022 Ciudad de Portoviejo.
Fuente: Elaboración propia