

**MODELOS EXPLICATIVOS DEL CAMBIO EN
LA COBERTURA DEL SUELO EN EL
CRECIMIENTO DEL USO URBANO DE LA
PROVINCIA DE SANTA ELENA - ECUADOR.**

Dany Salazar, Otto Vera, Mariuxi de la Cruz

MODELOS EXPLICATIVOS DEL CAMBIO EN LA COBERTURA DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO DEL USO URBANO DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA - ECUADOR

Dany Salazar^{1,2}, Otto Vera¹, Mariuxi de la Cruz¹

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena, ² Universidad de Alcalá
Campus La Libertad, Vía principal Santa Elena - La Libertad.
La Libertad-Ecuador.
dsalazar@upse.edu.ec

RESUMEN.

En el año 2009, el gobierno vigente del Ecuador plantea a los gobiernos autónomos descentralizados, los requerimientos de una planificación y ordenamiento en sus respectivos territorios, para que su uso sea sostenible. Por ende, la demanda de insumos de información estadística y geográfica ha sido una prioridad dentro de este ámbito gubernamental. Así tenemos que, la presente contribución investigativa propone brindar insumos de información que de soporte a la planificación y ordenamiento territorial de la Provincia de Santa Elena, Área de Planificación N° 5 - Ecuador. Siendo uno de los insumos prioritarios la identificación de factores explicativos que inciden en el crecimiento urbano, tales como el biofísico, socioeconómico y de accesibilidad. Para ello se ha seleccionado como unidad de mínima integración de información al pixel y como técnica estadística Regresión Logística. Entre los principales resultados tenemos la implementación de la estandarización, bajo el criterio lineal decreciente para la homogenización de las variables de accesibilidad potenciando al modelo seleccionado y la utilización de herramientas potentes de las Tecnologías de la Información Geográfica, que ha permitido la implementación de modelos con volumen significativo de datos.

Palabras claves: Factores explicativos, Regresión Logística, Crecimiento Urbano.

Abstract.

In the year 2009, the current government of Ecuador proposes decentralized autonomous governments, requirements planning and management in their respective territories, so that their use is sustainable. Thus, the demand for inputs of statistical and geographical information has been a priority of this government level. Thus we have, the present contribution aims to provide research information inputs that support the planning and zoning of the Province of Santa Elena, Planning Area No. 5 - Ecuador. Being one of the priority inputs identifying explanatory factors affecting urban growth, such as biophysical, socioeconomic and accessibility. This is selected as the minimum unit of the pixel information integration and as logistic regression statistical technique. Among the main results we implement standardization, under decreasing linear approach to the homogenization of enhancing accessibility variables selected model and the use of powerful tools of Geographic Information Technologies, which has allowed the implementation of models significant amount of data.

1. Introducción.

En la década del 2000 hasta la actualidad, el crecimiento de países industriales tiende a ser disperso (sprawl), fuera del centro del núcleo urbano principal (Angel, S., 2005) y la gestión de ese crecimiento y su sostenibilidad, dada su complejidad y dinámica explosiva, son unos de los desafíos más importantes de los tomadores de decisiones a nivel mundial. Del mismo modo, América Latina asume este desafío, junto con países emergentes y en vías de desarrollo su población urbana ha aumentado del 42% en 1950 a 75% en el año 2000. (Cohen B., 2004)

En este sentido, como antecedentes del problema de investigación, podemos mencionar en primer lugar que el gobierno central del Ecuador demanda a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) generar adecuadamente sus planes de desarrollo y ordenamiento territorial para su sostenibilidad, enmarcada en la Constitución de la República del Ecuador del 2008. Estos planes deberán articularse al Plan Nacional de Desarrollo del Buen Vivir. Sin embargo, la información del área territorial requerida como insumos espaciales está desactualizada y ha existido una desarticulación entre las instituciones estatales con las fuentes generadoras de información, esto es debido a limitaciones políticas de libre acceso y difusión. Para tal efecto, el gobierno ecuatoriano ha implementado el Sistema Nacional de Información estadística y geográfica, a nivel nacional, y se ha entregado información socio-territorial actualizada a los GAD permitiendo a los tomadores de decisiones elaborar sus planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

Con respecto a la conformación actual del territorio en el aspecto político administrativo, está dado por regiones, provincias, cantones y parroquias, en este último se encuentran tipificadas en parroquias urbanas y rurales. Para el caso de la Provincia de Santa Elena (PSE), las parroquias rurales están conformadas, en su mayoría, por las llamadas comunas, grupo étnico con derechos territoriales circunscripto que dependen del Ministerio de Previsión Social, actual Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura - MAGAP, y sujetos a la Ley de Organización y Régimen de las Comunas, expedida en 1937.

De esta forma, la configuración territorial de la Provincia de Santa Elena, creada en el año 2007, sigue un estilo de tejido reticular

amanzanado con mayor concentración en los núcleos urbanos de las cabeceras municipales y parroquias aledañas a estas, sufriendo crecimientos poblacionales significativos en los años 2001 y 2010, incrementándose el número de hogares y viviendas registrados en los Censos de Población y Vivienda respectivos.

Sin embargo, en las dos últimas décadas, se ha visto incrementada la población y han surgido nuevos asentamientos a causa de dos factores de crecimiento, la ejecución de construcciones de infraestructuras de abastecimiento de agua y el fortalecimiento de la red vial.

En primer lugar, la mega-construcción del Trasvase de aguas del río Daule a la Península de Santa Elena, antes de la década de los noventa los principales medios de abastecimientos de agua eran las albarradas y pozos, luego se daba paso a la implementación del trasvase cuyo objetivo era suministrar agua dulce por medio de infraestructuras de canalización, potabilización e irrigación para el abastecimiento de agua potable a los pobladores de Guayaquil y de la Península de Santa Elena y su uso industrial en las instalaciones de refinamiento de petróleo y petroquímicas, procesadoras de productos del mar, agroindustrias y el riego para zonas agrícolas potenciales (CEDEGE, 1992).

En segundo lugar, el fortalecimiento de infraestructuras viales con la ampliación de la vía Guayaquil - Salinas, desarrollado en el período 2000-2007, se destaca como factor principal que ha incidido en el desarrollo de Santa Elena, por lo cual debemos mencionar, que Guayaquil es la ciudad de mayor influencia económica de PSE y el segundo distrito metropolitano más importante del país. Otra obra vial importante es la ampliación y construcción de la Ruta del Sol actualmente llamada Ruta del Spondylus, que recorre toda la franja costera zona norte de PSE hasta la Provincia de Manabí, estos trabajos de ampliación y construcción fueron terminados en el año 2010. Asimismo esta infraestructura vial es la contraparte del proyecto binacional Ecuador-Perú que unirá a los dos países en conmemoración del tratado de paz y, cuyo justificativo histórico y arqueológico esta dado por la actividad comercial de la concha Spondylus en el período incaico, este recurso marino, considerado sagrado y valioso, era

extraído en las costas ecuatorianas y enviado a la ciudad imperial del Cuzco.

El objetivo general del presente estudio, es generar un modelo explicativo del cambio en la cobertura del suelo, específicamente, en el crecimiento de uso urbano residencial, a través de técnicas estadísticas y que sirva como insumo a los planes de desarrollo y ordenamiento territorial en la Provincia de Santa Elena.

2. Estado de la cuestión o revisión bibliográfica.

Existen varias propuestas de referencia que intentan, de forma exploratoria, explicar el crecimiento urbano y cambios del uso de suelo, en las cuales se utilizan técnicas y métodos estadísticos para la integración de información socioeconómica y biofísica (Veldkamp, et al, 2001, Verburg 2004, Cok et. al. 2007), así como la presentación de un conjunto de técnicas estadísticas en el Informe N°7 del Programa del Uso y coberturas de la tierra (siglas en inglés LUCC) para crear políticas y planes en el ordenamiento del territorio en los países miembros de la Comunidad Europea.

Por otro lado se deben considerar los efectos de escala de acuerdo a la agrupación de la población según factores económicos, culturales, en sus formas de organización espacial a nivel de individuo, parroquia, cantón, provincia nacional y mundial (Pumain, 2004). Asimismo, otros autores establecen la problemática entre los factores de cambios de uso del suelo y las políticas que inciden en esos cambios ya que se encuentran desarrollándose en diferentes escalas espacio-temporales a niveles regionales y/o locales, lo que implica que sus interpretaciones pueden ser discutibles, ya que existen estudios donde los factores incidentes pueden estar distantes del área afectada (Turner et al., 1994, en Veldkamp et al., 1997) (Skole and Tucker, 1993 en Veldkamp et al., 1997).

Así pues, una forma de agregación de factores explicativos de crecimiento es la utilización de celdas de dimensiones artificiales, tal es el caso de los factores socioeconómicos extraídos de censos o encuestas y los biofísicos obtenidos por clasificación de imágenes satelitales y/o por fotogrametría. Sin embargo, esta metodología de agregación está sujeta a la conceptualización de límites naturales y artificiales y dimensión de la celda para acotar unidades

biofísicas y unidades políticas-administrativas pero esto conlleva subestimar o sobrestimar la información recolectada (Veldkamp et al., 1997).

A diferencia de los factores descriptivos antes mencionados, existen otros que pueden ser obtenidos a partir de medidas normativas como distancias de accesibilidad a infraestructuras cuyo interés de uso depende de su cercanía, las mismas que pueden ser transformadas por funciones de acuerdo algún criterio del investigador, así tenemos que por ejemplo la función distancia exponencial decreciente mide el viaje a los sitios de agricultura, hogares, etc. Long, et al. (2004) con respecto a los núcleos urbanos, otra función utiliza distancia mínima a ciudades, ríos, carreteras y límites de ciudades; uso y aptitud de suelo e indicadores de intensidad de desarrollo de barrios.

En cambio, Aspinall (2004) hace referencia a la importancia de algunos factores explicativos en ejemplos históricos referentes a la accesibilidad medidos con distancias hasta infraestructuras como ferrocarriles, proximidad a bosques, cuerpos de agua y acueductos de riego. Así también, Bell K. (2000) establece un modelo que incluye características morfológicas como tipo de suelo, pendiente y altitud; y proximidades a servicios públicos de acuerdo a políticas reguladoras. Sin embargo, observa ciertas desventajas en la predicción de la cantidad de tierra que cambia su uso de suelo a urbano.

Entre las técnicas estadísticas utilizadas está el análisis multinivel, donde los datos se disponen de forma jerárquica anidándose por del criterio de división política administrativa (Verburg, et. al. 2004). Otra técnica utilizada es la regresión logística que realiza estimaciones empíricas utilizando factores explicativos históricos que impulsan el crecimiento como población, tales como ingresos, empleo, vivienda, disponibilidad laboral, accesibilidad, o la presencia de los mercados locales (Hu Z., 2007), distancias a carreteras, al centro de la ciudad, configuraciones topográficas y grados de pendientes (Vermeiren K., et al.). Así, en la década del 2000, se ha venido utilizando la técnica de autómatas celulares para la simulación de crecimiento urbano cuyos insumos requieren de la identificación de factores explicativos, tal es el caso de He et al. (2006) que divide en fuerzas locales y fuerzas nacionales y regionales; entre fuerzas locales categoriza las fuerzas conductoras como accesibilidad y efecto de vecindad, y fuerzas de resistencia como las restricciones ambientales y de planificación. Así también entre los factores nacionales y regionales

se ha considerado restricciones de recursos naturales y población, economía, tecnología y mercado.

Cabe señalar que el tratamiento y análisis de estos factores en este tipo de estudios, ha mejorado significativamente por las técnicas y tecnologías utilizadas para el tratamiento de la información geográfica a través de la utilización de las fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas antiguos impresos y su administración en los Sistemas de información Geográfica-SIG, han permitido dar un impulso en los estudios de cambios de uso del suelo urbano (Bhatta B., 2010). Sin embargo, existen limitaciones en algunos países en los cuales la actualización y liberación de los datos socioeconómicos y espaciales es un problema, ya que la periodicidad de los censos es normalmente de escala decadal pero existen casos en que no se los realizan desde 1990. (Cohen B. 2006).

3. Materiales, datos y métodos

Para el presente estudio se ha utilizado la cartografía existente de los asentamientos de las parroquias urbanas de la Provincia de Santa Elena enmarcadas en la zona de estudio, en los años 2001 y 2010. Cabe señalar, que en el tratamiento no se realiza ninguna clasificación del tipo de asentamiento como residencial, comercial o industrial por falta de información de tipificación.

Entre los insumos cartográficos se encuentran mapas catastrales de la Provincia de Santa Elena del 2001 en formato CAD y mapas en formato shape a escala de 1:10.000 generadas por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Además se ha incluido mapas a escala de 1:250.000 generados por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos - CLIRSEN con fecha de actualización de 2002. Otro insumo importante utilizado fue una aerofoto Rapideye con píxeles de tamaño 0,5 m y el DEM de la zona de estudio. De igual manera, para el factor socioeconómico se recurre al Sistema de Indicadores Integrados Socioeconómicos - SIISE y a las bases censales 2001 y 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador. Cabe resaltar que las variables seleccionadas se encuentran en términos porcentuales y a nivel parroquial.

En la primera etapa del desarrollo, se realiza el tratamiento de todos los elementos espaciales, identificando los puntos, líneas y polígonos de las variables de los factores de interés.

Cabe destacar, que después de seleccionar los elementos espaciales se ha generado su respectivo buffer para determinar el espacio físico y normativo del elemento en la zona de estudio. Luego se procede a convertir los elementos vectoriales a forma raster, con un tamaño de pixel de 10 m. Posteriormente se generan los mapas de distancias de los elementos rasterizados, este último insumo fue utilizado en dos instantes del desarrollo. Luego, como insumos del modelo, agregando el paso de la estandarización de la información a valores entre 0 y 1 por medio de la herramienta Fuzzy de Idrisi Taiga, que se basa en funciones de clasificación del pixel usando Lógica Difusa, permitiendo la comparabilidad entre las variables de proximidad y las socioeconómicas. Destacando que se ha aplicado el método lineal decreciente con la finalidad de darle un criterio de importancia a la cercanía a los elementos seleccionados, exceptuando el bosque protector y los pozos petrolíferos, lineal creciente, por ser elementos protegidos por el Estado, uno por conservación y el otro por extracción respectivamente.

Con respecto a la variable dependiente se selecciona el crecimiento de asentamientos (I_Asentamiento) de la zona urbana y parroquias rurales como José Luis Tamayo, Anconcito y Atahualpa del periodo 2001-2010. Cabe resaltar que para este tratamiento se utilizaron las capas de líneas que formaban el perímetro de los asentamientos del año 2001 y del 2010 con correcciones por medio de digitalización de la aerofoto para luego formar los polígonos correspondientes. Además se señala que no se consideraron sectores internos despejados de los asentamientos.

Luego se seleccionaron los puntos que representaban a los hospitales y las universidades, las líneas extraídas fueron las carreteras de primer orden (Dist_Carret), acueductos para riego en áreas agrícolas (Dist_Acued) y Red de Energía de alta potencia (Dist_Energía_elec). Con respecto a los polígonos, se ha escogido los cuerpos de agua (Dist_Cuerpos_agua) y bosques protegidos (Dist_Bosque_Prot).

Los criterios de selección están basados en la revisión bibliográfica y en la importancia de los elementos espaciales para el desarrollo de la zona. Así tenemos, que en los factores de accesibilidad se plantea la proximidad del acceso a las carreteras de primer orden, específicamente la carretera Guayaquil-Salinas y la Ruta Spondylus. Asimismo, se ha considerado la Red de Energía de alta potencia ya que es un indicativo positivo del servicio brindado a la zona de interés tanto en la

población de área residencial como en la industrial. Del mismo modo, se han seleccionado a los Hospitales para ver la incidencia de su servicio en términos de accesibilidad, hasta el 2001 se identificaron 2, el Hospital de La Libertad ubicada en la parroquia de su mismo nombre y el Hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social ubicado en la actual parroquia Ancón (antes del 2001 formaba parte de la parroquia de Santa Elena). Además, se ha medido la accesibilidad a las localidades de instituciones de educación superior en términos de proximidad, en la provincia existen 2, la Universidad Estatal Península de Santa Elena en el cantón de La Libertad y la Universidad Tecnológica Equinoccial en la parroquia Salinas. Y por último, entre las variables socioeconómicas seleccionadas podemos destacar el crecimiento poblacional en el periodo 2001- 2010, Indicador de Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas 2001, Indicador de Analfabetismo 2001, Densidad de población 2001 (hab/km²). Como parte del tratamiento aplicado a estas variables, los polígonos que representan las parroquias se convierten a formato raster con sus respectivos valores del indicador.

En la segunda etapa del desarrollo, se generan las alternativas de modelos con los insumos cartográficos tratados. Así pues, una vez realizada la revisión bibliográfica, se ha procedido a seleccionar la técnica estadística idónea y adaptable a los insumos recolectados. Entre las técnicas revisadas se encuentran la Regresión Geográficamente Ponderada, Regresión por mínimos cuadrados y la Regresión Logística, siendo esta última la elegida para desarrollar las alternativas de modelos. Una de las principales razones por las que no fueron seleccionadas las técnicas anteriores, es que dentro de sus restricciones matemáticas se encuentra que el número de variables sea menor al número de elementos espaciales, en nuestro caso los polígonos que representan las parroquias, ya que al conformarse una matriz de datos con mayor número de columnas perdería información y sus resultados serían inconsistentes.

3.1 Regresión Logística

La Regresión Logística es una técnica estadística multivariada no lineal que determina la estimación del coeficiente de regresión de cada una de las variables explicativas agregadas al modelo develando la ponderación de importancia que tiene

a la variable explicada, en nuestro modelo, el crecimiento urbano en un periodo de interés.

$$y_i = \beta_0 + x'_i \beta_i + \varepsilon_i$$

$$\log it(p_i) = \log \left[\frac{p_i}{1-p_i} \right] = \beta_0 + x'_i \beta_i$$

Donde x_i para $i=1,2,\dots, k$ son k factores explicativos, y_i es una variable no observada producto de la función de combinación lineal de las variables explicativas, con coeficientes de regresión a estimar $\beta_1, \beta_2,\dots, \beta_k$ y ε_i error del modelo que proviene, bajo el supuesto, de una distribución logística con media 0 y varianza $\pi^2/3$.

Asimismo, p significa la probabilidad de cambio de uso a urbano o el crecimiento de la zona urbana en unidades de pixel Función y que se representa como $\log it(p_i)$ es una función no lineal estrictamente creciente de p_i . (Hedeker D. 2008, Long et al. 1997). Si una variable explicativa posee un coeficiente positivo contribuye a aumentar la probabilidad de cambio por el contrario si es negativo la disminuye. (Bryman A. et al. 2004).

Con respecto a la interpretación de un modelo, algunos autores recomiendan estandarizar coeficientes de regresión betas cuyas variables explicativas tienen diferentes escalas y tipos. El cálculo para obtener los betas estandarizados esta dado por:

$$\beta_{est} = \frac{\beta_i s_{x_i}}{\sqrt{s_{\log it(p)} R^2}}$$

donde $\log it(p)$ son los datos generados por el modelo y $s_{\log it(p)}$ su desviación estándar. (Lesschen J.P. 2005). Un beta estandarizado de una variable independiente x_i se interpreta que por cada incremento de una desviación estándar de una x_i , existirá un cambio de beta estandarizado unidades, bajo el supuesto que las otras variables explicativas sean constantes (Bryman A. et al. 2004).

Otro indicador de bondad de ajuste es Pseudo R^2 similar a la coeficiente de determinación, 0 el modelo no tiene ajuste y 1 un perfecto ajuste. La fórmula es:

$$\beta_{est} = 1 - \frac{\log(L)}{\log(L0)}$$

donde L_0 es el valor de función de máxima verosimilitud si todos los coeficientes son cero a excepción del intercepto. Sobre L , es el valor de la función de máxima verosimilitud considerando todos los coeficientes y el intercepto.

Cuando un Pseudo R^2 es mayor a 0.2 está considerado un relativamente buen ajuste (Clark and Hosking, 1986). Entre las debilidades de la Regresión Logística es la Autocorrelación espacial, que provoca la violación del supuesto de la independencia de los residuos. (Hu Z., 2006)

Asimismo, se considera el valor obtenido en el estadístico ROC (Características de Operación Relativa siglas en inglés). El rango del ROC puede obtener valores entre 0 y 1, valores 1 es un perfecto ajuste.

3.2. Área de Estudio.

La Provincia de Santa Elena tiene una extensión de 3690,17 km² que corresponde al 1,44% del territorio ecuatoriano (256.584,42 km²). La provincia está compuesta por tres cantones: Santa Elena, establecida como su capital, Salinas y La Libertad. Se ha considerado el área sur de la provincia, debido principalmente a la inexistencia de información de los factores explicativos en algunas parroquias y de la variable explicada que es el crecimiento de la zona urbana de la Provincia de Santa Elena.

A su vez, cada cantón posee parroquias, en Santa Elena tenemos Atahualpa, Chanduy, Colonche (la parroquia más extensa), Manglaralto, San José de Ancón, Santa Elena (capital del cantón o llamada cabecera cantonal) y Simón Bolívar o llamada también Julio Moreno. Además de ser el cantón más extenso es el único de la provincia que tiene en su territorio circunscripto a 59 comunas, así tenemos que 13 se encuentran en Chanduy, 17 en Colonche, 12 en Manglaralto, 10 en Santa Elena y 6 en Simón Bolívar.

3.2.1 Población

El tamaño de población de la Provincia de Santa Elena (PSE) es de 308,693 personas, de acuerdo al Censo CPV 2010. A continuación se presenta un gráfico de líneas para observar la tendencia de su crecimiento con datos recolectados de los últimos censos, desde 1950 hasta el 2010 (SIISE, 2007, INEC 2010). Para tener tal efecto, se

ha tenido las siguientes consideraciones en la elaboración:

1.- Para denotar su crecimiento en la provincia creada en el 2007, se ha establecido que el tamaño de la población en los censos anteriores al 2010, corresponde a la suma de las personas de los tres cantones que la conforma.

2.- Se representa el Cantón de La Libertad desde el censo 1990 aunque su año de creación es el 1992.

El crecimiento de la provincia, bajo las consideraciones establecidas, tiene una tendencia lineal con incremento sostenido. Sin embargo, se evidenciaron valores altos en dos últimos censos que dan una tendencia aproximadamente exponencial al comportamiento. Asimismo, se evidencia un incremento significativo en el cantón Salinas, esto es debido al importante crecimiento de la parroquia La Libertad en la década de los 80. Las proyecciones anuales de habitantes de los cantones PSE, para el 2010 daban una población acumulada de 270,122, sin embargo según el CPV 2010 de acuerdo el tamaño de población fue de 308,693 habitantes, aproximadamente 40,000 personas más de las estimadas para ese año.

4. Descripción y análisis de resultados

En esta sección se presenta el análisis de los diferentes modelos explicativos del cambio de la cobertura de suelo que ha permitido inferir la expansión del crecimiento urbano, para tal efecto se visualizan los resultados de forma numérica, gráfica y en mapas.

Así tenemos que luego de modelar las variables independientes en tres modelos alternativos aplicando Regresión Logística dieron como resultado con valores similares de ajustes del Pseudo R^2 entre 0,473 y 0,5. A continuación, se analizarán los modelos.

En el Modelo 1 se han considerado todas las variables de los factores de accesibilidad y socioeconómicas, obteniendo un Pseudo R^2 de 0,4954, es decir un 49,54% de bondad de ajuste a los datos del modelo y un ROC muy alto de 0,9812. Siendo $Dist_{Univ}$ y $Dist_{Camino}$ las variables de accesibilidad de mayor peso y consistencia en sus valores dentro de los tres modelos. Esto se justifica ya que por un lado, las universidades se encuentran dentro de la zona urbana, por otro lado la cercanía del camino de primer orden a la población urbana y su extensión que abarca toda la Puntilla de Salinas, el acceso Este con la carretera Guayaquil-Salinas y

al Norte de la Provincia de Santa Elena con la Ruta del Spondylus, cuyos valores de probabilidad de asentamientos urbanos decae exponencialmente a medida que se alejan de los caminos. Otra variable que obtuvo peso significativo, fue la *Dist_Bosque*, ya que es más probable que los nuevos asentamientos estén a grandes distancias de las zonas protegidas, mayores a 35 km. Por otro lado, se destaca las variables de distancias a acueductos de riego, pozos petrolíferos y subcentros de salud que poseen valores altos de probabilidad de nuevos asentamientos solo a una determinada distancia.

Para el modelo 2 se agregaron las variables socioeconómicas, cuyo Pseudo R^2 es de 0,473 y un ROC de 0,9801, indicando un nivel de ajuste levemente menor al mostrado en el modelo 1, con la diferencia del aumento de las variables explicativas. Asimismo, las variables de distancias de camino y de universidad tuvieron similar comportamiento que en el modelo 1, como se había analizado en el apartado anterior. Sin embargo, se ha aumentado la magnitud de los coeficientes de regresión o betas de distancia al bosque protector y hospitales, en relación al modelo 1. Otro valor significativo positivo es la registrada en *Parroquia_POBR_NBI*, esto evidencia que el crecimiento de la zona urbana depende del porcentaje de *NBI*, pero esto puede resultar una distorsión provocada por el comportamiento de la parroquia Santa Elena ya que posee valores altos de pobreza con un *NBI* del 67,73% y ha tenido un crecimiento del 54% de vivienda en la última década. En cambio, la variable *Dist_Hosp* registra un valor significativamente alto pero negativo, siendo un valor no esperado cuyo comportamiento en los otros dos modelos poseen el mismo signo pero con un valor menor.

En el modelo 3, se han combinado los factores de accesibilidad, socioeconómico y biofísico obteniendo un Pseudo R^2 es de 0,5011 y un ROC de 0,982, registrando un leve incremento en su bondad de ajuste en relación a los otros dos modelos, pero su número de variables ha aumentado considerablemente. Además, se evidencia ciertas particularidades en los coeficientes betas con respecto a los otros modelos, en el factor de accesibilidad presenta un aumento en sus valores, en cambio mantiene valores similares en el factor socioeconómico. Con respecto a las variables biofísicas, solamente la variable *DTM_SALINAS* evidencia una ponderación alta con respecto a las otras agregadas, resaltando la variable *Pendiente* que es casi nula su

incidencia, esto implica que los asentamientos se ubican en diversos grados de pendiente.

5. Discusión.

De acuerdo a los resultados mostrados, se ha detectado ciertas anomalías dentro de los modelos 2 y 3, con respecto a la inclusión de las variables del factor socioeconómico, con excepción del indicador de pobreza *NBI* y las variables del factor biofísico, excepto el *DTM*, ya que estos poseían coeficientes bajos y en algunos casos casi nulos. En contraste a la bibliografía revisada, existían casos donde la influencia era significativa. En el caso particular de la pendiente y el uso de suelo, se utilizaron variables codificadas, categorizando cada intervalo de grados de inclinación en el caso de la pendiente y cada tipo de uso en la variable uso de suelo. Asimismo, no se ha considerado para el estudio toda la Provincia de Santa Elena por la inexistencia de objetos espaciales considerados para la generación de mapas de distancias, esta ausencia inducían a un problema de multicolinealidad en los modelos planteados.

6. Conclusiones y recomendaciones

La técnica de estandarización de variables, bajo el criterio de linealidad decreciente aplicada al factor accesibilidad resultó favorable en la incidencia del modelo idóneo.

La utilización de la unidad de pixel ha permitido cubrir la información del crecimiento urbano espacial, en cambio a nivel parroquial se hubiera subestimado esta información ya que recurriría a un estimador como porcentajes.

De acuerdo al Modelo 1 seleccionado, el crecimiento urbano de la Provincia de Santa Elena, esta dado hacia el norte de la cabecera cantonal de Santa Elena y al Este de su entrada principal hasta la entrada hacia Atahualpa, siguiendo por la periferia del carretero Guayaquil-Salinas. Otras zonas de crecimiento probable se encuentran en los alrededores del carretero entre José Luis Tamayo y La Libertad, y del carretero a Punta Carnero.

La herramienta *LogisticReg* de Idrisi Taiga fue potente y eficiente en la integración de la información cartográfica en el modelo regresión logística.

Una posible solución para el caso de las variables codificadas como la pendiente y uso de suelo, sería transformar cada categoría como una

variable binaria para homogenizar el tipo de variable dentro del modelo.

Referencias bibliográficas

- [1] Álvarez, S. (2010): *Representaciones, saberes y gestión de los recursos naturales y culturales, a nivel local*. Serie Cultura Comunal, agua y biodiversidad en la Costa del Ecuador, Tomo IV. Quito, Ediciones Abya-Yala, pp. 78-82.
- [2] Angel, S. (2005): *The Dynamics of Global Urban Expansion*. Department of Transport and Urban Development, The World Bank.
- [3] Aspinall, R. (2004): Modeling land use change with generalized linear models—a multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana, *Journal of Environmental Management*, Volume 72, Issues 1–2, August 2004, Pages 91-103, ISSN 0301-4797, 10.1016/j.jenvman.2004.02.009.
- [4] Bell, K. et al. (2000): Applying the generalized-moments estimation approach to spatial problems involving micro-level data. *The review of economics and statistics* [0034-6535] Bell, K P Año:2000 Vol.:82 iss:1 Pág.:72
- [5] Bhatta, B., Saraswati, S., Bandyopadhyay, D. (2010): Urban sprawl measurement from remote sensing data, *Applied Geography*, Volume 30, Issue 4, December 2010, Pages 731-740, ISSN 0143-6228, 10.1016/j.apgeog.2010.02.002.
- [6] Bryman, A. et al. (2004): *Handbook of Data Analysis* editado por Alan Bryman, Melissa A Hardy. SAGE publications Ltd. British Library Cataloguing in Publication data. ISBN 0 7619 6652 8
- [7] CEDEGE, (1992): *Proyecto N° 22 Trasvase de aguas del río Daule a la Península de Santa Elena (Ecuador)*. Revista de Obras Públicas N° 3.316 AÑO 139. Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), Ministerio de Obras Públicas del Ecuador.
- [8] Clark, W.A., and Hosking, P.L. (1986): *Statistical Methods for Geographers* (Chapter 13). New York: John Wiley & Sons
- [9] Cohen, B. (2004): Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts, *World Development*, Volume 32, Issue 1, January 2004, Pages 23-51, ISSN 0305-750X, 10.1016/j.worlddev.2003.04.008.
- [10] Cohen, B. (2006): Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability, *Technology in Society*, Volume 28, Issues 1–2, January–April 2006, Pages 63-80, ISSN 0160-791X, 10.1016/j.techsoc.2005.10.005.
- [11] Hedeker, D. (2008) *Multilevel Models for Ordinal and Nominal Variables*. Handbook of multilevel analysis.
- [12] Hu, Z. et al. (2007): Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression, *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 31, Issue 6, November 2007, Pages 667-688, ISSN 0198-9715, 10.1016/j.compenvurbsys.2006.11.001.
- [12] INEC (2010): Base de datos de los Censos de Población y Vivienda de 1990, 2001, 2010 y Censo económico 2010.
- [13] Kok, K., Verburg, P., Tom, Veldkamp, A.(2007): Integrated Assessment of the land system: The future of land use, *Land Use Policy*, Volume 24, Issue 3, July 2007, Pages 517-520, ISSN 0264-8377, 10.1016/j.landusepol.2006.04.007.
- [14] Lesschen, J.P., Verburg, P.H., Staal, S.J. (2005): Statistical methods for analyzing the spatial dimension of changes in land use and farmings systems. LUCG, IHDP, el IGBP (Eds.), LUCG Report Series No. 7
- [15] Long, J. (1997): *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. Sage, Thousand Oaks, CA, 1997.
- [16] Long, Y., et al., (2009): Beijing Urban Development Model: Urban Growth Analysis and Simulation. *Tsinghua Science and Technology* pp782-794, Volume 14, Number 6.
- [17] Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., Bosque Sendra, J. (En revision). "Factors explaining land urban growth in Madrid region (Spain) between 1990-2000", *The annals of Regional Science*.
- [18] Pumain D, 2004, "Scaling laws and urban systems", preprint 04-02-002, Santa Fe Institute, Santa Fe, NM.
- [19] Veldkamp, A. et al. (1997): Exploring land use scenarios, an alternative approach based on actual land use, *Agricultural Systems*, Volume 55, Issue 1, September 1997, Pages 1-17, ISSN 0308-521X, 10.1016/S0308-521X(95)00079-K.
- [20] Veldkamp, A. et al. (1997): Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for Costa Rica (1973 and 1984),

- Agricultural Systems, Volume 55, Issue 1, September 1997, Pages 19-43, ISSN 0308-521X, 10.1016/S0308-521X(95)00080-O.
- [21] Veldkamp, A. et al. (2001): Predicting land-use change, Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 85, Issues 1-3, June 2001, Pages 1-6, ISSN 0167-8809, 10.1016/S0167-8809(01)00199-2.
- [22] Verburg, P. et al., (2004): Land use change modelling: Current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 309-324. doi:10.1007/s10708-004-4946-y.
- [23] Vermeiren, K. et. al. (2012): Urban growth of Kampala, Uganda: Pattern analysis and scenario development. *Landscape and Urban Planning* 106 (2012) 199-206.