

Validación de cartografía temática. Caso de estudio: capacidad de acogida del territorio en tres ciudades del Ecuador

Validation of Thematic Mapping. Case Study: Carrying Capacity of the Territory in Three Cities of Ecuador





Validação do mapeamento temático. Estudo de caso: capacidade de carga do território em três cidades do Equador

David Reyes Pozo¹
Instituto Geográfico Militar

Julio Moreno Izquierdo²
Instituto Geográfico Militar

Andrea Flores Vaca³
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Instituto Geográfico Militar

Washington Vinueza Burbano⁴
Instituto Geográfico Militar

- 1 Máster en Sistemas de Información Geográficos, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño. mauriciodavidreyespozo@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-3255-05815>
- 2 Magíster en Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra. Mención en Información de Tierras para la Planificación del Territorio, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño. vjmi76.jm@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-3372-0787>
- 3 Ingeniera Geógrafa en Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño. ajfv5795@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-0682-8875>
- 4 Magíster en Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño. washington.vinueza@geograficomilitar.gob.ec  <https://orcid.org/0000-0002-7446-9042>



Resumen

La cartografía temática es un insumo principal para planificación territorial en Ecuador, por lo que es indispensable que sea validada. El Instituto Geográfico Militar es el ente encargado de la gestión y aprobación de cartografía en el país, y que, desde el año 2018, ejecuta proyectos de generación de geoinformación temática a escala 1: 5 000; utilizando, como enfoque científico, la ecología de paisaje y, para la validación de cartografía temática, métodos estadísticos (no probabilísticos) y técnicas de muestreo, a fin de comparar los modelos cartográficos generados con la realidad del territorio, aplicando la matriz de confusión. En este sentido, este artículo presenta la metodología para determinar sitios de muestreo para campo de tres ciudades: Quito, Guayaquil y Cuenca. Los resultados indicaron, en cuanto a la validación de cartografía de Capacidad de Acogida, que dichas ciudades tuvieron un 77 %, 47 % y 79 %, respectivamente, de coincidencia modelo-realidad, con un índice kappa de 0.66, 0.16 y 0.63, respectivamente.

Palabras clave: Capacidad de acogida, cartografía, matriz de confusión, SIG, tamaño de muestra.



Abstract

Thematic cartography is a main input for territorial planning in Ecuador, so it is essential that it be validated. The Instituto Geográfico Militar is the entity in charge of the management and approval of cartography in the country, since 2018, has been implementing thematic geoinformation generation projects at a scale of 1: 5 000; using, as a scientific approach, landscape ecology and, for thematic mapping validation, statistical methods (non-probabilistic) and sampling techniques, in order to compare the cartographic models generated with the reality of the territory, applying the confusion matrix. This article presents the methodology to determine sampling sites for field of three cities: Quito, Guayaquil and Cuenca. The results indicated, in terms of the validation of Reception Capacity cartography, that these cities had a 77 %, 47 % and 79 % respectively of model-reality match, with a kappa index of 0.66, 0.16 and 0.63, respectively.

Keywords: Reception capacity, cartography, confusion matrix, GIS, sample size.



Resumo

A cartografia temática é um dos principais insumos para o planejamento territorial no Equador, portanto, é essencial que seja validada. O Instituto Geográfico Militar é a entidade responsável pela gestão e aprovação da cartografia no país e que, desde 2018, executa projetos para a geração de geoinformação temática na escala 1: 5 000; utilizando, como abordagem científica, a ecologia da paisagem e, para a validação da cartografia temática, métodos estatísticos (não probabilísticos) e técnicas de amostragem, a fim de comparar os modelos cartográficos gerados com a realidade do território, aplicando a matriz de confusão. Nesse sentido, este artigo apresenta a metodologia para determinar os locais de amostragem de campo para três cidades: Quito, Guayaquil e Cuenca. Os resultados indicaram, em termos de validação do mapeamento da capacidade de carga, que essas cidades tiveram 77%, 47% e 79%, respectivamente, de coincidência entre modelo e realidade, com um índice kappa de 0,66, 0,16 e 0,63, respectivamente.

Palavras-chave: Capacidade de carga, mapeamento, matriz de confusão, GIS, tamanho da amostra.

Introducción

En el Ecuador los desastres de mayor impacto están asociados a fenómenos hidrometeorológicos, sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra, donde la cantidad de muertos y desaparecidos, entre 1970 y 2010, corresponde principalmente a deslizamientos e inundaciones, sobrepasando las 1 800 víctimas, y entre 35 y 40 mil viviendas afectadas, debido al aumento de la población en zonas de amenazas a inundaciones y deslizamientos. Por ejemplo, durante el fenómeno de El Niño (1997-1998) se registraron pérdidas, en viviendas, cultivos, infraestructura vial, comercio y turismo, estimadas en 2 869,3 millones de dólares corrientes, equivalentes al 15 % del PIB de 1997, de los cuales 783 millones (27 %) correspondieron a daños directos y 2 086,1 millones a daños indirectos. Asimismo, como ejemplo, en 1993, el deslizamiento en La Josefina, en el río Paute, tuvo como consecuencias de 50 muertos y 147 millones de dólares en daños directos ([SNGR/ECHO/UNISDR, 2012](#)).

Conociendo la realidad del país, el Instituto Geográfico Militar (IGM), que es el ente encargado de gestionar, aprobar y controlar todas las actividades referentes a la elaboración de cartografía oficial y del archivo de datos geográficos y cartográficos, ejecutó el proyecto de generación de geoinformación temática multipropósito: Generación de información geo-espacial a escala 1: 5 000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías; y se encuentra ejecutando el proyecto: Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1: 5 000; en los que se realizan estudios temáticos con alto nivel de detalle, integrando, a través de la ecología de paisaje (

), criterios técnicos y metodológicos, fundamentados en el análisis de las formas del relieve y en los materiales y procesos geodinámicos presentes en el territorio, así como en el tipo de suelos y en el cambio del uso de las tierras, y espacializados con el uso de los Sistemas de Información Geográficos (SIG); es decir, expresando los fenómenos cuantitativos y cualitativos de la superficie mediante la mezcla de la ciencia y el arte ([Valle, 2015](#)).

Uno de los productos cartográficos temáticos, generados en los proyectos mencionados, es la Capacidad de Acogida (CA), definida como la relación entre el uso o actividades y el territorio que las acoge ([Acosta et al. 2016](#)), y la Aptitud Física Constructiva (APFC), definida como la valoración de las

características del terreno en función de su idoneidad para la edificación y sus condicionantes técnicas (Ríos, 2014), los cuales son de suma importancia para el ordenamiento y planeamiento territorial (Reyes et al. 2019), debido a que muchas de las ciudades, incluso cuando han contado con planes de ordenamiento o urbanísticos, han crecido invadiendo zonas con características no aptas para el desarrollo de edificaciones o llanuras aluviales con amenazas a inundaciones, o en laderas con alta amenaza a deslizamientos (Porta et al. 2003).

La zonificación de la APFC se obtiene de la interacción de seis variables físicas del terreno: 1) pendiente, 2) factor geológico, 3) nivel freático, 4) textura, 5) drenaje y 6) pedregosidad. La CA se determina mediante el cruce cartográfico de la APFC y las multiamenazas (específicamente a deslizamientos, inundaciones y volcánicas), generando cuatro categorías: alta, media, baja y muy baja (IGM, 2019a). Estas variables se analizan utilizando modelos empíricos cualitativos y mediante el uso de matrices de análisis jerárquico (Reyes et al. 2019).

Tanto en el pasado como en la actualidad, los mapas, la cartografía temática o la geoinformación son de vital importancia para la toma de decisiones (Reyes, 2022), ya que sirven como insumos de proyectos oficiales (IGM, 2020), por lo que es obligatorio que los generadores de dicha información verifiquen y evalúen la calidad y validez de sus resultados (SENPLADES, 2016). Así mismo, es muy importante que para que la cartografía generada sea de calidad, es decir, que sea satisfactoria para los clientes (Norma internacional ISO 9000, 2015), debe mostrar un grado de conformidad de una entidad de la leyenda respecto a la realidad-terreno, con el fin de ser aceptada o desechada, ya sea por sus fortalezas o debilidades técnicas (Sánchez, 2016).

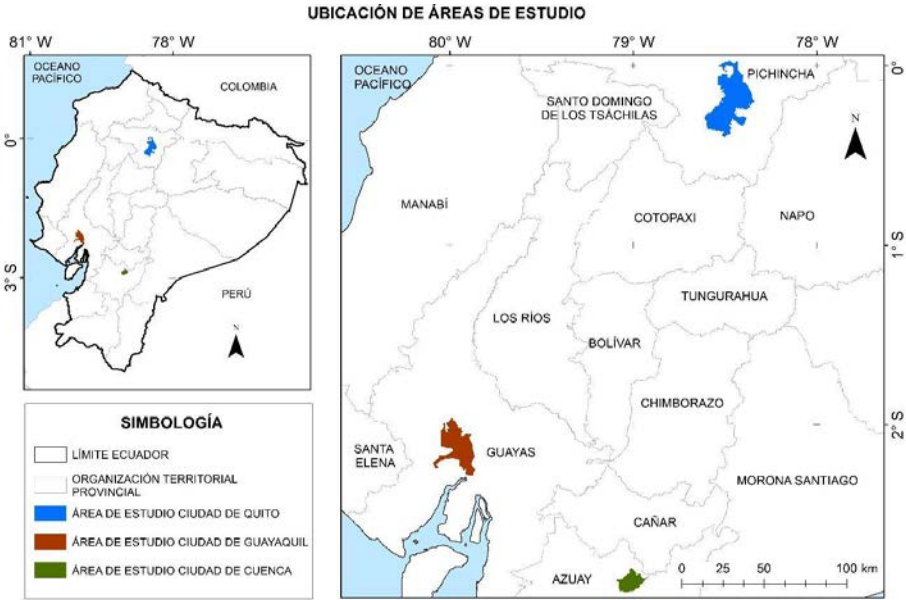
Por lo anterior, este artículo tiene el objetivo de determinar la confiabilidad de la cartografía temática de CA, generada con el enfoque de ecología de paisaje, utilizando los SIG.

Área de estudio

Se seleccionaron las tres ciudades más pobladas de Ecuador (Figura 1), ubicadas en las regiones de la Sierra y Costa, debido a su importancia en cuanto a población beneficiada y superficie: a) Quito, capital del Ecuador, con 2 239 191 habitantes y un área de estudio de 65 771.50 ha (IGM, 2019a); b) Guayaquil con 2 350 915 habitantes y 41 679,26 ha (IGM,

2019b); y c) Cuenca con 505 585 habitantes y 14 169,18 ha (IGM, 2019c); intervenidas en el proyecto: Generación de información geo-espacial a escala 1: 5 000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías.

Figura 1. Áreas de estudio.



Elaboración propia

Marco metodológico

Con la finalidad de validar la información cartográfica temática, en cuanto a CA, la determinación de la Población (Montgomery y Runger, 2010), conceptualmente, se aplicó la metodología de paisaje (Zonneveld, 1989), y se aplica la fórmula de Jenny (1941), referente a factores formadores -Fórmula 1-, determinando zonas homogéneas, llamadas Unidades de Paisaje (UP), que serán unidades que poseen las mismas características en cuanto a sus factores formadores (Dudal, 2004).

Fórmula 1:

$$s = f(\text{clima, organismos, relieve, material parental, tiempo})$$

Donde, el clima es representado por los regímenes de temperatura y humedad del suelo; los organismos por la cobertura vegetal; el relieve, caracterizado por los rangos de pendiente; el material parental, proveniente de los depósitos superficiales o la unidad geológica; y, finalmente, el tiempo, inmerso en cada una de las variables (IGM, 2019a).

Mediante estadística no probabilística se determinó el tamaño de muestra (n) (Fórmula 2) con base en una población (N) finita conocida (Guerrón et al. 2022).

Fórmula 2:

$$n = \frac{N Z^2 p q}{d^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde:

N = población finita.

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia.

q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno ($1-p$).

Z = nivel de confianza.

d = precisión absoluta

Para la determinación de las UP se realizó con la ayuda de las herramientas de SIG, en este caso ArcGIS 10.5, con el cual se creó un campo donde se suman los factores formadores y se realizó una tabla resumen (herramienta *summarize*), en la que se resume el número de repeticiones de cada uno de los factores formadores en cada polígono y se las codifica con un número para su mejor identificación y manejo.

Para la ubicación de los sitios a muestrear en campo, se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico (Hernández et al. 2006), y dentro de estas, el muestreo por conveniencia (Otzen y Manterola, 2017). En esta etapa de planificación de campo se eliminó las UP que no poseen acceso vial y polígonos en los que se han realizado muestreos en proyectos anteriores. Apoyados en la herramienta SIG *selection by location* se realizó una intersección entre los archivos *shapefile* de vías y la base de datos temática, al igual que con los polígonos caracterizados con información

levantada en el proyecto de Generación de geoinformación temática a nivel nacional ([Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013](#)).

Con el resultado de esta intersección se aplicó la herramienta SIG *Random points*, la cual generará la ubicación espacial, y al azar, los sitios de muestreo (con coordenadas X, Y) dentro de cada polígono para la posterior visita de los técnicos para la validación del modelo de CA.

Para la generación de cartografía temática de APFC, se utilizó un modelo empírico cualitativo ([IGM, 2019](#)), con el que se realizó la interrelación, mediante el uso de matrices de doble entrada, de seis variables biofísicas:

1. La pendiente, variable morfométrica que mide el grado de inclinación de las vertientes en relación con su horizontal ([IGM, 2019](#)).
2. El Factor Geológico (FG), es la calificación de la resistencia del macizo rocoso -en una escala del 1 al 5-, dependiendo de su grado de meteorización ([IGM, 2019b](#)).
3. El nivel freático, definida por el [IGAC \(2010\)](#), como una lámina de agua libre que satura el suelo por un periodo de tiempo o permanentemente
4. La textura, que es el contenido relativo de los diferentes tamaños de partículas ([Soil Survey Staff, 2014](#)).
5. El drenaje, indica la rapidez con que se elimina el agua del suelo ([Porta et al. 2003](#)).
6. La pedregosidad, que se refiere a la presencia de fragmentos gruesos superficiales -mayores a 6 cm- ([FAO, 2009](#)).

Para la generación de la CA, se utilizó una matriz de decisión -o doble entrada- ([Galacho y Arrebola, 2013](#)), para interrelación de la aptitud -dada por la APFC-, versus el impacto -multiamenazas-, determinando la compatibilidad de las condiciones naturales y físicas del territorio ([IGM, 2019b](#)).

Se realizó la calificación in situ de los modelos de APFC y CA, una vez obtenidos los datos de campo, mediante la apertura de calicatas y barrenaciones, de suelos (nivel freático, textura, drenaje, pedregosidad, regímenes de temperatura y humedad del suelo) (Imagen 1), geomorfología (pendiente, factor geológico, características del tipo roca y tipo de depósito superficial) (Imagen 2) y de cobertura vegetal, que en conjunto describen los factores formadores del suelo ([Jenny, 1941](#)).

Imagen 1. Descripción del perfil del suelo.



Elaboración propia

Imagen 2. Descripción del FG.

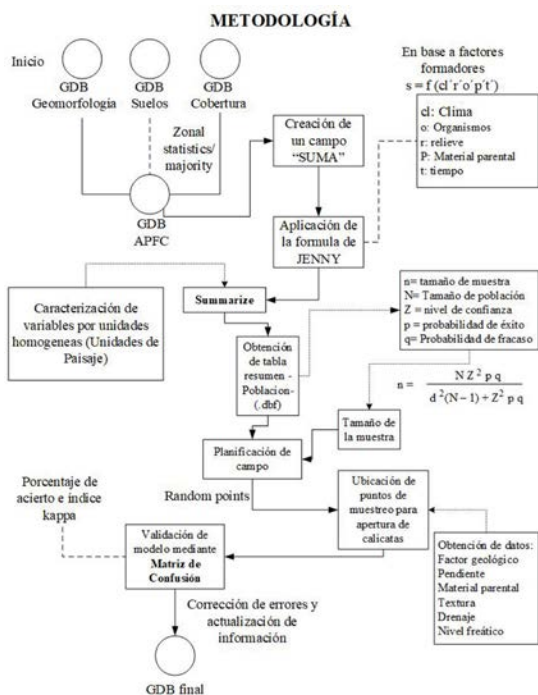


Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a validar el modelo en cada ciudad, mediante el uso de la matriz de confusión, la cual, es un mecanismo para obtener los resultados de la calidad de la geoinformación –sobre todo en productos vectoriales o derivados de imágenes satelitales- (López et al. 2018), determinando el porcentaje de acierto y el índice kappa en cada una de las mismas (Sánchez, 2016). Los errores de comisión y omisión (López et al. 2018) son identificados y corregidos en la Geodatabase (GDB) para generar productos (documentos cartográficos y reportes de

sitios de muestreo) y modelos más cercanos a la realidad (representados en cartografía temática de APFC y CA) (Figura 2).

Figura 2. Metodología



Elaboración propia

Resultados

Se determinaron las diferentes UP y tamaños de muestra para cada ciudad (Tabla 1), realizando un muestreo total de 153 UP repartidas en cada una de las ciudades (Figuras 3, 4 y 5).

Tabla 1. Unidades de paisaje

| CIUDAD | POBLACIÓN (UP) | Z (%) | p | q | d | n |
|-----------|----------------|-------|-----|-----|------|----|
| QUITO | 1 822 | 95 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 91 |
| GUAYAQUIL | 261 | 90 | 0.5 | 0.5 | 0.14 | 30 |
| CUENCA | 380 | 90 | 0.5 | 0.5 | 0.14 | 32 |

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia; q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno (1-p); Z = nivel de confianza; d = precisión absoluta; n = tamaño de la muestra

Figura 3. Ubicación sitios de muestreo.

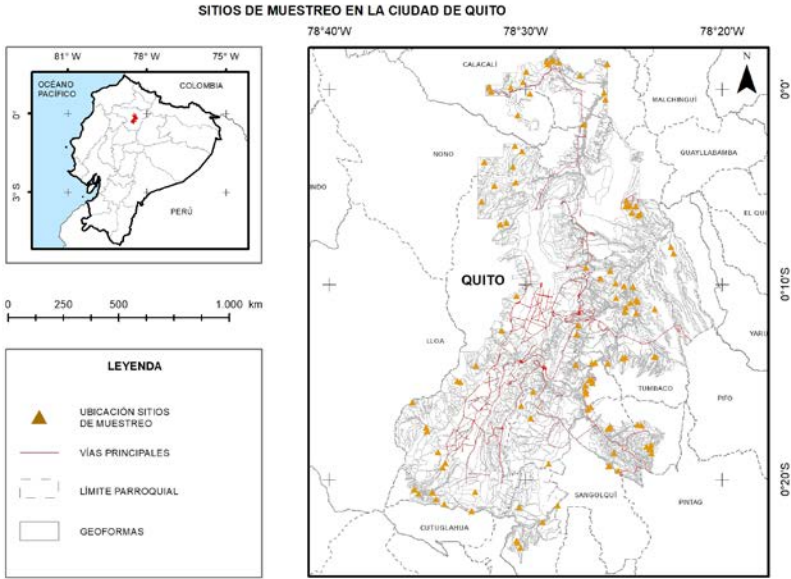


Figura 4. Ubicación sitios de muestreo.

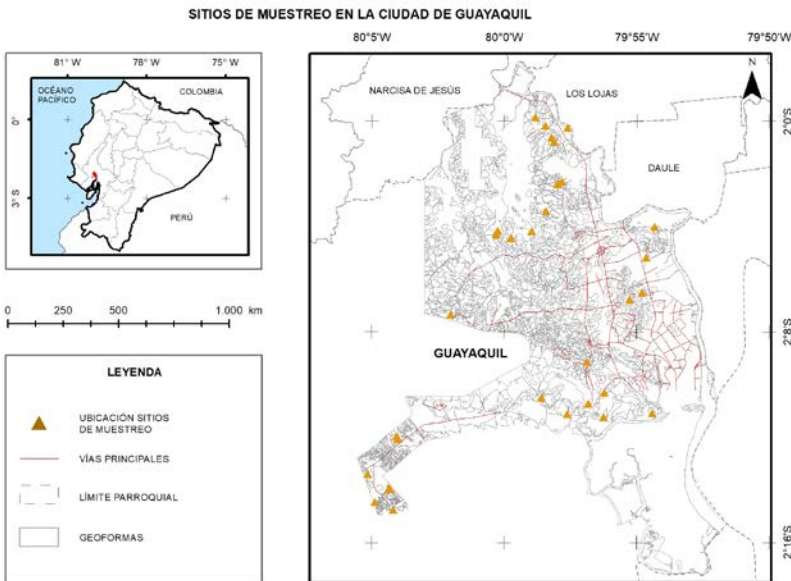
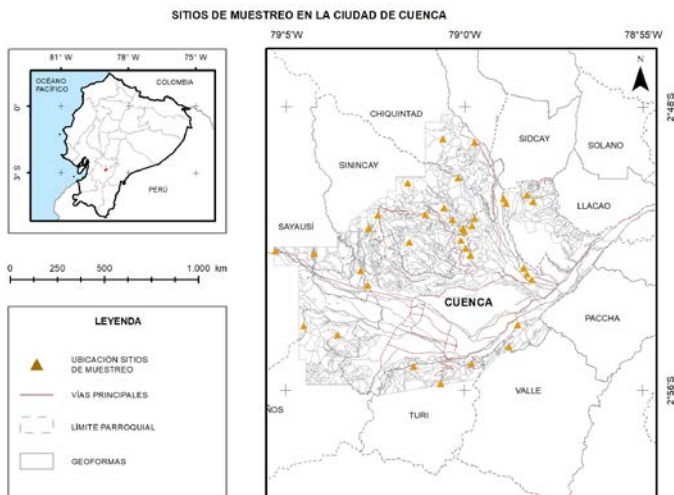


Figura 5. Ubicación sitios de muestreo.



Elaboración propia

De la aplicación y análisis de la matriz de confusión, para las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, se obtuvo que el porcentaje de acierto fue de 77, 47 y 79; y el índice Kappa (%) fue de 66, 16 y 63, respectivamente (Figura 6).

Figura 6. Análisis de matriz de confusión por ciudad.

| | | REALIDAD | | | | | TOTAL | EXACTITUD USUARIO | ERROR COMISION (%) |
|--------------------|----------|----------|------|-------|------|----------|--|-------------------|--------------------|
| CIUDAD DE QUITO | | MUY ALTA | ALTA | MEDIA | BAJA | MUY BAJA | | | |
| CLASIFICACIÓN | MUY ALTA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | ALTA | 14 | 2 | 16 | 16 | 87.5 | 12.5 | | |
| | MEDIA | 6 | 28 | 11 | 45 | 68.2 | 37.8 | | |
| | BAJA | 1 | 2 | 35 | 1 | 39 | 89.7 | 10.3 | |
| | MUY BAJA | 2 | 2 | 6 | 8 | 75.0 | 25.0 | | |
| TOTAL | | 0 | 21 | 32 | 48 | 7 | 108 | | |
| EXACTITUD USUARIO | | 0 | 66.7 | 87.5 | 72.9 | 85.7 | ACIERTOS (%): 77 | | |
| ERROR COMISION (%) | | 0 | 33.3 | 12.5 | 27.1 | 14.3 | PROBABILIDAD PRIOR: 0.20 PROBABILIDAD POSTERIOR: 0.32 INDICE KAPPA: 0.66 | | |

| | | REALIDAD | | | | | TOTAL | EXACTITUD USUARIO | ERROR COMISION (%) |
|---------------------|----------|----------|------|-------|------|----------|--|-------------------|--------------------|
| CIUDAD DE GUAYAQUIL | | MUY ALTA | ALTA | MEDIA | BAJA | MUY BAJA | | | |
| CLASIFICACIÓN | MUY ALTA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | ALTA | 0 | 3 | 4 | 7 | 0 | 100 | | |
| | MEDIA | 4 | 0 | 13 | 30.6 | 69.2 | | | |
| | BAJA | 1 | 11 | 1 | 12 | 91.7 | 8.3 | | |
| | MUY BAJA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| TOTAL | | 0 | 0 | 7 | 24 | 1 | 32 | | |
| EXACTITUD USUARIO | | 0 | 0 | 57.1 | 45.8 | 0 | ACIERTOS (%): 47 | | |
| ERROR COMISION (%) | | 0 | 0 | 42.9 | 54.2 | 100 | PROBABILIDAD PRIOR: 0.20 PROBABILIDAD POSTERIOR: 0.17 INDICE KAPPA: 0.16 | | |

| | | REALIDAD | | | | | TOTAL | EXACTITUD USUARIO | ERROR COMISION (%) |
|--------------------|----------|----------|------|-------|------|----------|--|-------------------|--------------------|
| CIUDAD DE CUENCA | | MUY ALTA | ALTA | MEDIA | BAJA | MUY BAJA | | | |
| CLASIFICACIÓN | MUY ALTA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | ALTA | 6 | 3 | 2 | 8 | 75.0 | 25.0 | | |
| | MEDIA | 1 | 17 | 4 | 22 | 77.3 | 22.7 | | |
| | BAJA | 1 | 3 | 3 | 100 | | | | |
| | MUY BAJA | 0 | 0 | 7 | 24 | 1 | 32 | | |
| TOTAL | | 0 | 0 | 7 | 24 | 1 | 32 | | |
| EXACTITUD USUARIO | | 0 | 85.7 | 100 | 33.3 | 0 | ACIERTOS (%): 79 | | |
| ERROR COMISION (%) | | 0 | 14.3 | 0 | 66.7 | 0 | PROBABILIDAD PRIOR: 0.20 PROBABILIDAD POSTERIOR: 0.42 INDICE KAPPA: 0.63 | | |

Elaboración propia

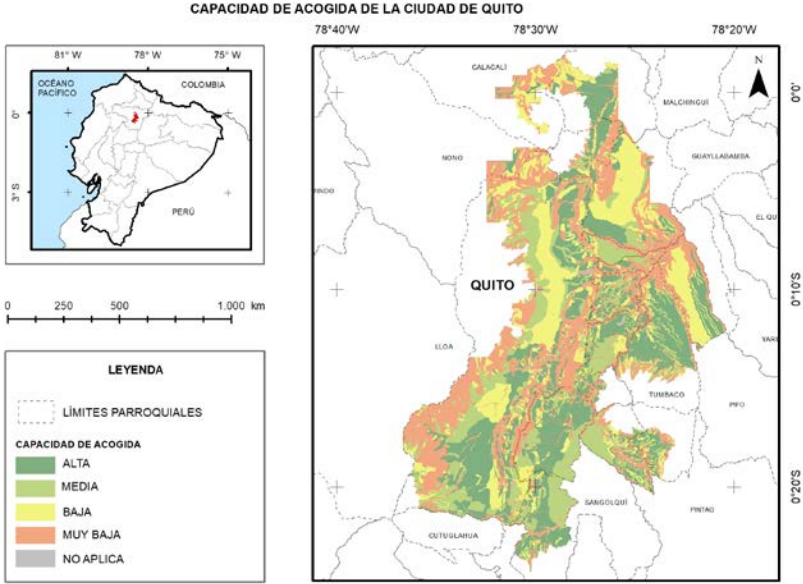
Con base en lo anterior, se pudo obtener la cartografía temática final de APFC y CA en cada una de las ciudades (Tabla 2), generando 121 619,94 ha de geoinformación por temática, aclarando que la categoría “No aplica” se refiere a ríos dobles (Figuras 7, 8 y 9).

Tabla 2. Categorías de APFC y CA por ciudad.

| CIUDAD | CATEGORÍA APFC | SUPERFICIE (ha) | CATEGORÍA CA | SUPERFICIE (ha) |
|-----------|----------------|-----------------|--------------|-----------------|
| QUITO | ALTA | 6 387,09 | ALTA | 18 158,36 |
| | BAJA | 14 277,17 | BAJA | 14 563,40 |
| | MEDIA | 6 372,29 | MEDIA | 12 601,87 |
| | MEDIA ALTA | 20 602,11 | MUY BAJA | 20 021,59 |
| | MUY BAJA | 8 277,31 | NO APLICA | 436,74 |
| | NO APTA | 9 418,80 | | |
| | NO APLICA | 436,74 | | |
| GUAYAQUIL | ALTA | 699,05 | ALTA | 1 096,06 |
| | BAJA | 25 186,14 | BAJA | 27 824,08 |
| | MEDIA | 4 332,36 | MEDIA | 4 838,49 |
| | MEDIA ALTA | 2 069,95 | MUY BAJA | 5 505,89 |
| | MUY BAJA | 5 716,13 | NO APLICA | 2 404,29 |
| | NO APTA | 1 271,33 | | |
| | NO APLICA | 2 404,29 | | |
| CUENCA | ALTA | 27,13 | ALTA | 5 353,67 |
| | BAJA | 3 226,23 | BAJA | 4 070,30 |
| | MEDIA | 1 048,64 | MEDIA | 2 122,08 |
| | MEDIA ALTA | 6 965,81 | MUY BAJA | 2 420,66 |
| | MUY BAJA | 1 699,52 | NO APLICA | 202,46 |
| | NO APTA | 999,39 | | |
| | NO APLICA | 202,46 | | |

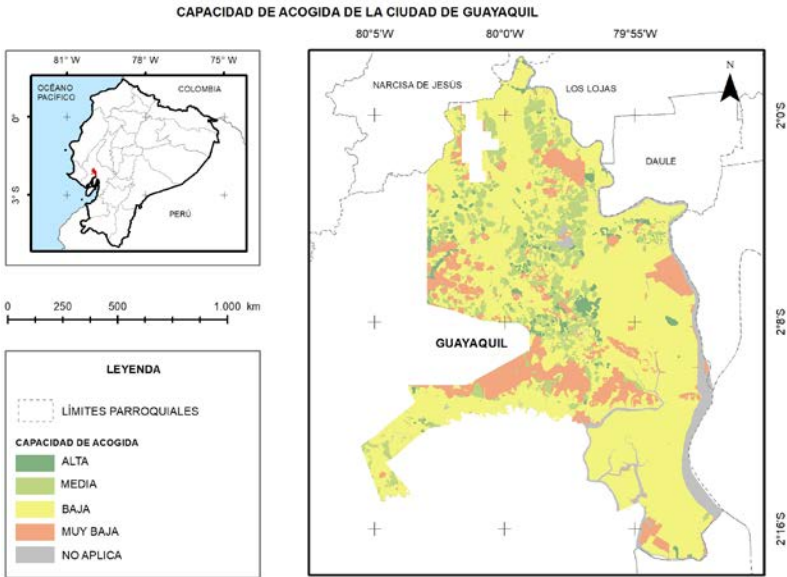
Elaboración propia

Figura 7. Zonificación de CA de la ciudad de Quito.



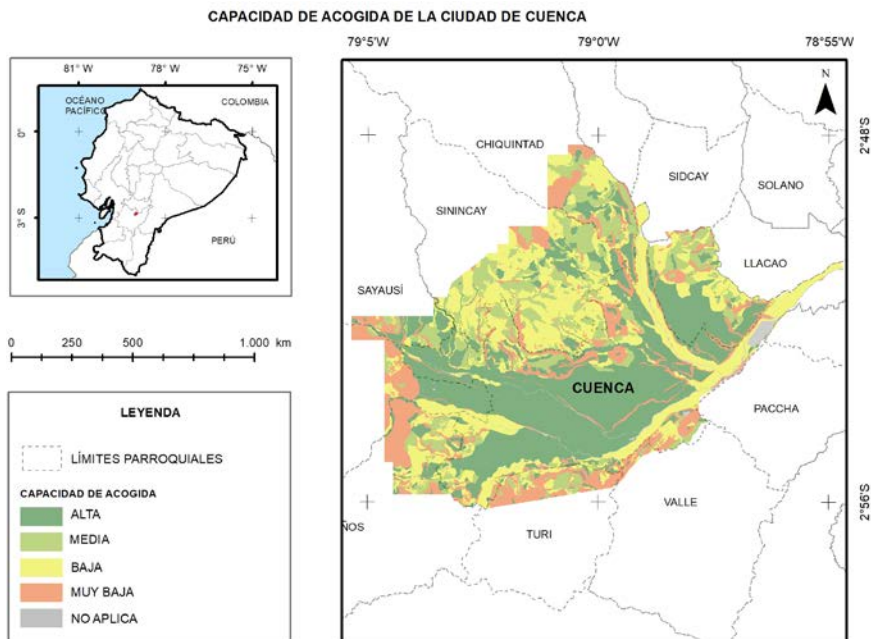
Elaboración propia

Figura 8. Zonificación de CA de la ciudad de Guayaquil.



Elaboración propia

Figura 9. Zonificación de CA de la ciudad de Cuenca.



Discusión de Resultados

Se requería visitar 153 UP (muestras) para validar la información con un valor de Z de 90%, y se visitaron 172 UP. La diferencia se dio en las ciudades de Quito (17 UP) y Guayaquil (2 UP), resultando en más UP para realizar la comparación mediante la matriz de confusión. Los valores referentes a aciertos (Quito 77 % y Cuenca 79 %) y el valor del índice kappa (0,66 y 0,63, de las mismas) muestran una fuerza de concordancia sustancial (Fernández, 2017). La explicación de los valores de estos índices es debido a que se realizaron clasificaciones erróneas de las variables de textura, pedregosidad en la superficie, factor geológico y pendiente, principalmente.

En Guayaquil, el porcentaje de acierto (47) y Kappa (0,16) de concordancia leve (Fernández, 2017) se debe a la calificación del FG en 20 UP calificado como muy bueno y bueno (IGM, 2019a); cuando en realidad resultaron ser medios, debido principalmente al grado moderado de fracturación de la roca, diaclasas moderadamente juntas (espaciamiento entre

0,2 a 0,6 m), discontinuidades ligeramente rugosas, de longitud mayor a 20 m de separación, con relleno blando arcilloso (menor a 5 mm) y moderadamente meteorizadas, las cuales fueron comprobadas mediante determinación geomecánica del macizo rocoso en el lugar determinado para la obtención de información (Bieniawski, 1989).

El análisis de los valores de error de la matriz de confusión (error comisión) (López et al. 2018) indica las categorías en las que mayor atención debe tener el intérprete al momento de calificar las variables: en Quito la categoría media posee valor de 37.8; en Guayaquil y Cuenca es la categoría alta la de mayor error con 100 y 25, respectivamente.

Se generó 121 619.94 ha de cartografía temática, mediante el uso de la metodología de ecología de paisaje, geoecología o landscape ecology, para APFC y CA, las cuales son el producto de la interacción de varios factores biofísicos. Además, cabe mencionar que para la obtención de estos productos de síntesis existen productos temáticos intermedios como geomorfología, suelos, cobertura y uso de las tierras, que de igual manera son validados en las visitas de campo mediante la determinación del tamaño de muestra, que, a pesar de utilizar muestreo por conveniencia, se selecciona una sola geoforma de muchas que integran la unidad de paisaje y son obtenidas al azar aplicando las herramientas SIG (*random points*).

Conclusiones

Los procedimientos realizados, a más de utilizar estadística no probabilística, incluyen el azar para la obtención de los sitios de muestreo, al apoyarse de las herramientas SIG, teniendo como insumo cartografía temática de síntesis generada con el enfoque de ecología de paisaje.

El uso de la matriz de confusión es indispensable para la validación de cartografía, que ayuda a identificar los errores cometidos en la calificación de las variables en estudio, con la obtención de los porcentajes de acierto, a más del índice kappa que determina la concordancia (en este caso substancial) de los modelos con la realidad, pero, además, los modelos son corregidos con los datos obtenidos en campo, por lo que la cartografía final se acerca mucho más a la realidad.

En la ciudad de Quito la categoría dominante en cuanto a CA es la muy baja (20 021.59 ha), debido a que, principalmente, a pesar de poseer zonas con APFC media alta, son áreas con presencia alta de multiamenazas

(deslizamientos y volcánicas). En Guayaquil la CA dominante es baja, siendo el resultado de poseer APFC baja sumada a la amenaza media por inundación. En Cuenca la CA alta es la dominante, debido a poseer ligeras limitaciones en cuanto a su APFC (es decir categoría media alta), con media amenaza a deslizamientos.

Referencias bibliográficas

- Acosta, J., Suango, V., Proaño, J., y Zambrano, J. (2016). Determinación de la capacidad de acogida por medio de la zonificación paisajística para el Ecuador continental. *Ecuador es calidad: revista científica ecuatoriana*, 4(1), 28-38. <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.24>
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. Wiley. USA. <https://bit.ly/2YYx8fM>
- Dudal, R. (2004). *The sixth factor of the soil formation*. Intertational Conference on Soil Classification 2004. Russia. <https://www.bitlylinks.com/mlWnzutVV>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *Guía para la descripción de perfiles de suelo*. FAO of the United Nations. Italia. <http://bit.ly/3XQh0dV>
- Fernández, I. (2017). *Producción de cartografía agrícola mediante análisis multitemporal de imágenes satélite (Sentinel-2) y cartografía catastral*. España. https://www.bitlylinks.com/le_dQ4CLO
- Galacho, F., y Arrebola, J. (2013). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*, 1(60), 69-85. <https://bit.ly/2Zmq4Jp>
- Guerrón, A., Viera, W., Campaña, D., Vasquez, L., y Montufar, C. (2022). Aplicación de índices vegetales (banda roja e infrarrojo cercano) en plantaciones de aguacate. *Siembra*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3371>
- Hernández, R.; Fernández, C.; Baptista, M. (2006). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill. México. <https://www.bitlylinks.com/sb9u8iobD>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2010). *El ABC de los suelos para no expertos*. IGAC. Colombia. <https://bit.ly/2uw5KHp>

- Instituto Geográfico Militar (IGMa). (2019a). *Memoria técnica de síntesis de la ciudad de Quito*. Memoria técnica, IGM. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/0Qfz0V9w0>
- Instituto Geográfico Militar. (2019b). *Memoria técnica de síntesis de la ciudad de Guayaquil*. Instituto Geográfico Militar. IGM. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/0Qfz0V9w0>
- Instituto Geográfico Militar. (2019c). *Memoria técnica de síntesis de la ciudad de Cuenca*. IGM. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/0Qfz0V9w0>
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2020). *Especificaciones técnicas para el control de la exactitud posicional en cartografía y ortofoto*. IGM. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/IPqc2dFVk>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional*. Memoria técnica, IEE. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/Or3CC-IVf>
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation. A system of Quantitative Pedology*. McGraww-Hill. USA. <https://amzn.to/2WF2RAf>
- López, A., Aví, R., y Fernández, A. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *Revista Internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*, 1(21), 215-226. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.591>
- Montgomery, D. y Runger, G. (2010). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. McGraw-Hill. USA. <https://www.bitlylinks.com/TKr5bZ1DM>
- Norma internacional ISO 9000. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario*. ISO. España. <https://www.bitlylinks.com/XuMlZtmcL>
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*. 1(35), 227-232. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Reyes, D. (2022). La importancia de la geoinformación de suelos en la planificación territorial. Caso de estudio: Proyecto capacidad de acogida. *Ecuador es calidad: Revista científica ecuatoriana*, 9(1), 30-31. <https://doi.org/10.36331/revista.v9i2>

- Reyes, D., Avilés, L., Gómez, E., Galarza, J., y Jácome, P. (2019). Zonificación de capacidad de acogida de la ciudad de Riobamba mediante enfoque de ecología de paisaje a partir de fotointerpretación geomorfológica en 3D. *ProSciences: Revista de Producción, Ciencias e investigación*, 3(18), 10-18. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol3iss18.2019pp10-18>
- Ríos, S. (2014). *Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses. Caso de estudio embalses Porce II y Porce III* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21777>
- Sánchez, J. (2016). Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 009-026. <https://www.bitlylinks.com/YZp4zktQ4>
- SENPLADES. (2016). Guía técnica para la generación de metadatos de geoinformación. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. Quito, Pichincha, Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/EDMA1Nno2>
- SNGR/ECHO/UNISDR. (2012). *Ecuador: Referencias básicas para la Gestión de Riesgos*. (SNGR, Ed.). Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/f4-arGT1Q>
- Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de suelos. Décima segunda edición*. USDA, NRCS. <https://bit.ly/2LxcRts>
- Valle, C. (2015). *Reseña histórica de la cartografía en el Instituto Nacional de Estadística y Censos. Libro metodológico del Instituto Nacional de Estadística y Censos*. INEC. Ecuador. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=rese%C3%B1a>
- Zinck, A. (2012). *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC. USA. <https://bit.ly/2OMm9AJ>
- Zonneveld, I. (1989). The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology*, 2(3), 67-86. <https://doi.org/10.1007/BF00131171>