

Determinación de amenaza a inundación, mediante el uso de sistemas de información geográfica en tres ciudades del Ecuador, a escala 1: 5000

Flood hazard assessment using geographic information systems in three cities in Ecuador at a scale of 1:5000

Determinação da ameaça de inundação, através do uso de sistemas de informação geográfica em tr s cidades do Equador, em escala 1:5000

Karla Morales Donoso¹
Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676
y Gral. Telmo Paz y Miño, Ecuador.

David Reyes Pozo²
Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676
y Gral. Telmo Paz y Miño, Ecuador.

Gabriela Cascante Almeida³
Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676
y Gral. Telmo Paz y Miño, Ecuador.

- 1 Ingeniera Ambiental. Universidad Internacional SEK, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño.  karlagamodo@hotmail.com  <https://orcid.org/0009-0004-1671-6895>
- 2 Máster en Sistemas de Información Geográficas, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño.  mauriciodavidreyespozo@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-3255-5815>
- 3 Magister en gestión de Riesgo de Desastre, Instituto Geográfico Militar, Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño.  ga_negrita@hotmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-8060-4060>



Resumen

Las inundaciones en Ecuador son recurrentes y causadas por diversas razones como fuertes lluvias asociadas al fenómeno de El Niño, desbordamientos de ríos o deforestación. El objetivo de este estudio se enfocó en delimitar zonas con amenaza a inundación en tres ciudades de la región Costa de Ecuador: Esmeraldas, Chone y Guayaquil, utilizando geoinformación a escala 1: 5 000. Mediante el uso de herramientas SIG y el método experto o multicriterio, se realizó la interacción entre factores condicionantes (pendiente, textura y nivel freático) y el factor detonante (precipitación). Los resultados indican que en Esmeraldas, Chone y Guayaquil existen zonas con alta amenaza (409 ha, 5 079 ha, 3 449 ha, respectivamente). La categorización de amenaza (alto, medio, bajo, nulo) varía según la combinación de la pendiente, textura, nivel freático y precipitación en cada área específica. Este enfoque proporciona información detallada para la gestión del riesgo y la toma de decisiones en la planificación territorial.

Palabras clave: Inundaciones, precipitación, El Niño, SIG.



Abstract

Floods in Ecuador are recurrent and caused by various reasons such as heavy rains associated with the El Niño phenomenon, river overflows or deforestation. This study focused on delimiting flood hazard zones in three cities in the coastal region of Ecuador: Esmeraldas, Chone and Guayaquil, using geoinformation at a scale of 1: 5,000, generated by the IGM. Using GIS tools and the expert or multicriteria method, the interaction between conditioning factors (slope, texture and water table) and the triggering factor (precipitation) was carried out. The results indicate that in Esmeraldas, Chone and Guayaquil there are areas with high hazard (409 ha, 5 079 ha, 3 449 ha, respectively). The hazard categorization (high, medium, low, none) varies according to the combination of slope, texture, water table and precipitation in each specific area. This approach provides detailed information for risk management and decision making in territorial planning.

Keywords: Floods, precipitation, El Niño, GIS.



Resumo

As inundações no Equador são recorrentes e causadas por vários motivos, como fortes chuvas associadas ao fenômeno El Niño, transbordamentos de rios ou desmatamento. O objetivo deste estudo centrou-se na delimitação de áreas com ameaça de inundação em três cidades da região da Costa do Equador: Esmeraldas, Chone e Guayaquil, utilizando geoinformação na escala de 1: 5.000 através do uso de ferramentas GIS e do método especialista. ou multicritério, foi realizada a interação entre os fatores condicionantes (declive, textura e lençol freático) e o fator desencadeante (precipitação). Os resultados indicam que em Esmeraldas, Chone e Guayaquil existem áreas com alta ameaça (409 ha, 5.079 ha, 3.449 ha, respectivamente). A categorização da ameaça (alta, média, baixa, zero) varia dependendo da combinação de declive, textura, lençol freático e precipitação em cada área específica. Esta abordagem fornece informações detalhadas para a gestão de riscos e a tomada de decisões no planejamento territorial.

Palavras-chave: Inundações, precipitação, El Niño, SIG.

Introducción

Las amenazas naturales son eventos que pueden tener un impacto negativo en las personas, la propiedad o el ambiente, una de las más importantes son las inundaciones, que han afectado al ser humano a lo largo de la historia y según la [Organización Meteorológica Mundial \(OMM\) \(2021\)](#), los fenómenos peligrosos relacionados con el agua, encabezan la lista de desastres en términos de pérdidas tanto humanas como económicas en los últimos 50 años. Se presentan cuando un área se ve cubierta por un exceso de agua, generalmente debido a precipitaciones intensas, deshielos, tsunamis o desbordamientos de ríos y lagos. Algunas son repentinas y catastróficas, como las ocasionadas por lluvias torrenciales, mientras que otras, pueden ser más prolongadas y menos intensas, como las que resultan del desbordamiento de ríos durante la temporada de lluvias. Según [Cadier y otros \(1993\)](#) e [Illescas y Buss \(2016\)](#), Las inundaciones asociadas a los desbordamientos de los ríos provocados por las intensas lluvias, afectan a las personas que habitan en las cercanías de sus riberas, las cuales, tienen el conocimiento que el riesgo no es permanente, pero si recurrente, aun así, toman la decisión de mantenerse habitando en el lugar y las prácticas de implantación de viviendas pueden aumentar inconscientemente la amenaza de inundación, aumentando la cantidad de agua que debe ser transportada o disminuyendo el área disponible para absorberla.

Según [Naciones Unidas DesInventar Sendai \(2021\)](#) desde el año 1970 hasta la actualidad, las inundaciones representan el mayor número de eventos de amenaza reportados y, de acuerdo con [Mena y otros \(2021\)](#), son la principal causa de muerte por amenazas hidrometeorológicas y la tercera causa de todas las muertes relacionadas con amenazas en el Ecuador.

[Cadier y otros \(1993\)](#) continúan explicando que los fenómenos oceánicos y atmosféricos que se producen en el Océano Pacífico intertropical son determinantes en el comportamiento climático de Ecuador; el país soporta fuertes lluvias asociadas a sistemas climáticos como el fenómeno de El Niño, provocando desbordamientos de ríos o colapso de infraestructuras de drenaje, entre otros sucesos.

[Rossel y otros \(1998\)](#) explicaron que el clima ecuatoriano está influenciado por una serie de factores, entre los cuales destacan: la circulación atmosférica general (los sistemas de baja presión como la zona de confluencia intertropical (ZCIT), las masas de aire locales determinadas

por el relieve, las corrientes oceánicas (el frente ecuatorial, la corriente de Humboldt) y la cordillera andina. Anteriormente, [Nouvelot y Pourrut \(1984\)](#) habían demostrado, a través de diferentes estudios, que este evento es causante de la mayor variabilidad del clima costero y de la irregularidad de la pluviometría en la costa ecuatoriana, lo que deviene en una secuencia significativa de déficits y excesos de lluvias en diferentes años.

Además, la variabilidad climática de la costa es también interanual y se expresa en grandes diferencias de precipitación entre un año y otro, como, por ejemplo, en la ciudad de Guayaquil las precipitaciones oscilaron entre 300mm (en 1982) y 3 450mm (en 1983).

La [SNGR y otros \(2012\)](#) explican que el país tiene una estación lluviosa de invierno que cae en gran parte entre noviembre y junio y una estación seca de verano con menos precipitaciones de junio a diciembre; sin embargo, la estacionalidad se ve influenciada y modificada por otros fenómenos climáticos, por ejemplo, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El régimen estacional en la costa se caracteriza por un período lluvioso único muy marcado de diciembre a mayo, período en el que se concentra del 75 al 95% de las lluvias anuales. Por esta razón, durante el resto del año, algunas zonas permanecen totalmente secas o con muy bajas precipitaciones, presentándose los valores más extremos hacia el sur.

Con estos antecedentes el objetivo de este estudio es identificar las zonas susceptibles a inundaciones por precipitaciones y/o anomalías climáticas (Fenómeno El Niño), utilizando información geoespacial temática multipropósito a detalle (1: 5 000) generada por el Instituto Geográfico Militar ([IEE, 2018](#)), ([IGM, 2019](#)) y ([IGM, 2022](#)); información que apoya y asegura el derecho al hábitat y a una vivienda adecuada para las familias y con un enfoque en la gestión del riesgo.

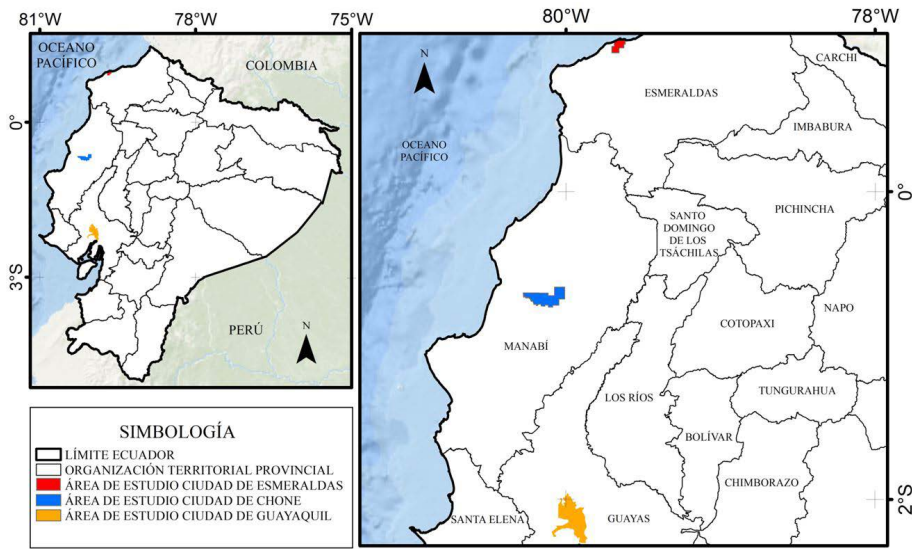
Área de estudio

La [SNGR y otros \(2012\)](#) establecieron que en Ecuador las inundaciones son más recurrentes en la región Costa. Durante el periodo de 1988 a 1998, se observó que la provincia de Guayas fue la más afectada, con más de 100 inundaciones registradas; le siguieron Manabí y Los Ríos, con entre 40 y 100 eventos; y, en tercer lugar, Esmeraldas y El Oro, con entre 20 y 40 eventos, esto según la [SENPADES \(2024\)](#). Es por ello que, se seleccionaron tres ciudades, dentro de estas

provincias costeras (Figura 1), que históricamente han sufrido precipitaciones de alta intensidad y/o a eventos anómalos de la corriente de El Niño: Esmeraldas, Guayaquil y Chone (con área de estudio de 22 985ha, 41 679ha, 6 696ha, respectivamente); las cuales por sus características geográficas (zonas con relieves planos a ondulados) y su ubicación (cercana a ríos, esteros, charcos y lagos intermitentes) les vuelve susceptibles a inundaciones frecuentes en períodos lluviosos, y más aún en temporadas invernales extremas (Fenómeno de El Niño). Además, son las más pobladas y de mayor superficie en la zona costera según el [Instituto Nacional de Estadística y Censos \(2024\)](#), lo cual aumenta el peligro e impacto de dicha amenaza.

Las ciudades en estudio fueron intervenidas en proyectos de Generación de geoinformación temática a escala 1: 5 000, ejecutados por el ([IEE, 2018](#)), ([IGM, 2019](#)) y ([IGM, 2022](#)), respectivamente, por lo que se cuenta con geoinformación a detalle.

Figura 1. Áreas de estudio



Elaboración propia

Marco metodológico

Según la [SNGR y otros \(2012\)](#), en el Ecuador son frecuentes los asentamientos humanos en zonas de riesgo, principalmente en llanuras aluviales de inundación, la [IGAC \(2010\)](#) y el [SENPLADES \(2016\)](#) añaden que una de las causas es la falta de información a detalle que sirva de insumo para la planificación territorial y toma de decisiones. Conociendo la importancia de este tipo de información y como ente encargado de la generación de cartografía oficial del país, el IGM ejecutó el proyecto: Generación de información geoespacial a escala 1: 5 000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías; en el cual se generó cartografía multipropósito. [Zonneveld \(1989\)](#) explica que el proyecto se ejecutó utilizando el método científico de ecología de paisaje, apoyado, según [Bernabé y López \(2012\)](#), de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), es decir, software o geotecnologías que permiten la generación y gestión de información referenciada.

Debido a la importancia de prever y evaluar la amenaza a inundación, se realizó un análisis multicriterio para modelar variables y obtener una zonificación de amenaza a inundación. El desarrollo de este modelamiento se centró en dos temáticas. La primera es geomorfología, obtenida a partir de la fotointerpretación digital en tres dimensiones (3D), para lo cual, se utilizaron cuatro insumos:

1. Fotografías aéreas.
2. Certificado de calibración de la cámara fotogramétricas.
3. Centros de exposición.
4. Modelos digitales de elevación de resolución de 4 m, que son generados por el IGM.⁴

Según [Verstappen y Van Zuidam \(1975\)](#), con el bloque fotogramétrico generado, se realizó la espacialización (fotointerpretación), por medio de la extensión *Stereo Analyst* en el *software* ArcGis 10.5, a través de la cual se obtiene una visión estereoscópica del bloque fotogramétrico y se digitalizó en 3D, con una escala de digitalización de 1: 1 000, caracterizando parámetros morfogenéticos, morfológicos, morfométricos (pendiente, desnivel relativo y longitud de vertiente), morfodinámicos y se adaptan variables de geología.

4 Insumos de pago disponibles en <http://www.geograficomilitar.gob.ec/productos-y-servicios/>

La segunda, la temática de suelos de [Soil Survey Staff \(2014\)](#), de la cual, se utilizó las variables referentes a textura y nivel freático, caracterizadas en cada geoforma obtenida de la fotointerpretación en 3D, mediante la apertura de calicatas y descripción del perfil del suelo y barrenaciones.

La digitalización de las formas de la tierra se realiza en la etapa pre-campo (donde se elabora la información preliminar); los datos de suelos se los obtiene en la etapa de campo (se obtienen datos *in situ* y validan modelos); y, en la etapa de postcampo, se ajusta la información y generan productos finales.

Para la determinación y zonificación de cualquier tipo de amenaza es necesario el análisis de varios factores como: disponibilidad, calidad y exactitud de los datos, los resultados esperados, la escala de zonificación, entre otros propuestos por [Cascini \(2008\)](#). En este caso, para la determinación de la amenaza por inundaciones, se aplicó un método experto o multicriterio propuesto por [Castellanos y Van Westen \(2007\)](#), debido a que es un método confiable y rápido para obtener resultados, en el cual, es necesario tener claras las interacciones que suceden en el paisaje, y de amplio uso en torno a las variables modeladas, especialmente geomorfológicas y de suelos, según el mismo Cascini. El análisis multicriterio, así mismo, permitió categorizar los valores de ponderación de cada factor (condicionante o detonante) y mediante las herramientas de geoprocésamiento, en este caso ArcGIS 10.5, se realizaron las interacciones de variables (sus ponderaciones) manteniendo como unidad de análisis la geoforma.

Se utilizó información geoespacial geomorfológica (pendiente) y de suelos (textura y nivel freático) como factores condicionantes, es decir, las características o variables intrínsecas que inestabilizan o predisponen de manera positiva o negativa el paisaje para el desarrollo de un fenómeno, explicado por [Mora y Vahrson \(1994\)](#), y los valores de precipitación fueron obtenidos a partir de la zonificación climática del [IGM \(2019\)](#), la cual fue elaborada con datos mensuales y diarios de precipitación (desde 1980 a 2016) de las estaciones a nivel nacional del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Estos mismos autores, junto con la [SNGR \(2012\)](#) y [SNGR \(2023\)](#), explican que en el país la precipitación actúa como detonante, debido a que tiene la capacidad de generar el evento de inundación.

Generación de los factores condicionantes para el desarrollo de inundaciones

Según [Summerfield \(2013\)](#), la pendiente es una variable morfométrica que mide el grado de inclinación de las vertientes en relación a su horizontal, se obtiene de la fotointerpretación en 3D, los rangos obtenidos son reclasificadas y se les otorga una calificación del 0 al 4, siendo esta inversamente proporcional al incremento en la pendiente, por ejemplo, la calificación de 0 se da a pendientes mayores al 40 % (formas de la tierra que no sufrirían amenaza) y el 4 a geoformas completamente planas, siendo los relieves planos a ondulados, los más susceptibles a inundaciones, de acuerdo con [Burgos y otros \(2019\)](#) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de las pendientes

Pendiente (%)	Descripción	Calificación	Susceptibilidad
hasta el 5	Relieves completamente planos	4	Alto
hasta el 12	Relieves ligeramente ondulados	3	Alto
hasta el 25	Relieves medianamente ondulados	2	Medio
hasta el 40	Relieves mediana a fuertemente disectados	1	Bajo
Mayores al 40	Relieves fuertemente, muy fuerte disectados y escarpados	0	Nulo

Elaborado por [IEE \(2018\)](#).

[FAO \(2009\)](#) indica que la textura es la proporción relativa de las diferentes clases de tamaño de partícula. Por su parte, [Porta \(2008\)](#) señaló que las clases texturales se agruparon de acuerdo con el porcentaje de arcilla (Tabla 2), que está estrechamente relacionado con el tamaño de la partícula. La calificación de la susceptibilidad se dio tomando en cuenta que las texturas con tamaños de partículas más pequeño van a estar más juntas y tener menos cantidad de poros, por lo tanto, continúa explicando el mismo autor, se pueden saturar de agua más rápido, al contrario de texturas con tamaños de partículas más grandes que permitirán una infiltración más rápida del agua.

Tabla 2. Calificación de grupos texturales

Grupos texturales	Calificación	Susceptibilidad
Grupo 1: Arcilla pesada	4	Muy Alto
Grupo 2: Arcillo-arenoso; arcilloso; arcillo-limoso	3	Alto
Grupo 3: Franco arcillo-arenoso; franco arcilloso; franco arcillo-limoso	2	Medio
Grupo 4: Franco arenoso; franco; franco limoso; limoso	1	Bajo
Grupo 5: Arenoso; areno francoso	0	Nulo

Elaborado por [IEE \(2018\)](#).

La [IGAC \(2010\)](#) señala que un tercer condicionante es la presencia del nivel freático en el suelo (Tabla 3), que es la lámina de agua presente en el suelo de forma transitoria o permanente. La calificación del nivel freático es importante debido a que su presencia evita el paso del agua de precipitación y eleva el nivel normal del cauce o de agua en el suelo, esto según la [SNGR y otros \(2012\)](#). En el caso de la presencia de nivel freático estacional, se pueden observar evidencias en el suelo denominada moteados, que corresponden a fluctuaciones del nivel freático que se encarga de la presencia o ausencia de oxígeno en el suelo, explicado por la [FAO \(2009\)](#) y la [Soil Survey Staff \(2014\)](#).

Tabla 3. Calificación nivel freático

Profundidad de nivel freático (cm)		Calificación	Susceptibilidad
Superficial	0-30	4	Alto
Poco Profundo	30-60	4	Alto
Moderadamente Profundo	61-90	3	Medio
Profundo	91-120	3	Medio
Muy Profundo	>120	2	Bajo
Sin Evidencia	-	1	Nulo

Elaborado por [IGM \(2022\)](#).

Generación del factor detonante (factor de disparo)

La zonificación climática generada por el [IGM \(2022\)](#) presentó precipitaciones mínimas de 100 mm y máximas de 7 600 mm, en 24 horas, con un promedio de precipitación de 2 091,77 mm y una desviación estándar de 2 092,87, la cual se reclasificó en 5 categorías (Tabla 4), considerando que las precipitaciones extremas -abundantes precipitaciones de elevada intensidad (valor > 250 mm)-, son las que causan mayor daño en el territorio según [D'Ercole y Trujillo \(2003\)](#).

Tabla 4. Clasificación precipitaciones

Precipitación (mm – en 24 horas)	Calificación	Categoría
< 100	1	Muy bajo
100 - 150	2	Bajo
150 - 200	3	Medio
200 - 250	4	Alto
> 250	5	Muy alto

Elaborado por IGM (2022).

Determinación de la amenaza a inundación

Se determinó mediante un análisis experto utilizando matrices de decisión. En primer lugar, se establece la susceptibilidad, que es dada por los factores condicionantes (textura de suelo, pendiente y nivel freático). El primer paso es la interacción entre la pendiente y la textura (Tabla 5), el resultado, es nuevamente confrontado con la presencia de nivel freático (Tabla 6).

Tabla 5. Interacción de la pendiente y textura (PT)

PENDIENTE VS. TEXTURA (PT)		TEXTURA				
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Calificación		4	3	2	1	0
PENDIENTE	4	3	3	2	2	1
	3	3	2	2	1	0
	2	2	2	1	0	0
	1	1	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
4: Muy Alto; 3: Alto; 2: Medio; 1: Bajo; 0: Nulo						

Elaborado por IGM (2022).

Tabla 6. Interacción de la PT y profundidad del nivel freático

PT VS. NIVEL FREÁTICO		NIVEL FREÁTICO					
		Superficial	Poco Profundo	Medianamente Profundo	Profundo	Muy Profundo	Sin Evidencia
CALIFICACIÓN		4	3	2	2	1	0
PT	3	3	3	2	2	1	1
	2	3	2	2	1	1	0
	1	2	2	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
4: Muy Alto; 3: Alto; 2: Medio; 1: Bajo; 0: Nulo							

Elaborado por IGM (2022).

El segundo paso es la relación entre la susceptibilidad y el detonante, es decir, entre las categorías de precipitación (detonante) y la susceptibilidad, para la determinación de los cuatro niveles de amenaza: a) nulo; b) bajo; c) medio; y, d) alto (Tabla 7; Figura 2).

Con la finalidad de determinar las diferencias, entre las precipitaciones estacionales y las precipitaciones extremas (causadas, por ejemplo, por el Fenómeno El Niño), se realizó dos modelamientos, siendo el segundo caso con el valor de la precipitación más alta (extrema), es decir, con el valor de > 250 mm en 24 horas y lograr una prospección de áreas con amenaza a inundación que sirvan como un aporte para la gestión de riesgo.

Tabla 7. Determinación de amenaza a inundación

SUSCEPTIBILIDAD VS. DETONANTE		PRECIPITACIÓN				
CALIFICACIÓN		5 (Muy alto)	4 (Alto)	3 (Medio)	2 (Bajo)	1 (Muy bajo)
SUSCEPTIBILIDAD	3 (Alto)	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	2 (Medio)	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO
	1 (Bajo)	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	NULO
	0 (Nulo)	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO

Elaborado por IEE (2018).

Resultados

Se generó 64 732,16 ha de geoinformación a detalle (escala 1: 5 000) sobre la amenaza a inundación, 61 700,23 ha categorizadas con los diferentes niveles de amenaza: alto, medio, bajo y nulo, mientras que, la categoría no aplica, que se refiere a geoformas que corresponden a cartografía base como ríos e islas, donde no se realiza calificación de las variables en estudio (3 031,93 ha). En la Tabla 8, se presentan las diferentes superficies que genera el modelo con los valores de precipitación estacional y valores de precipitación extrema en las ciudades de Esmeraldas, Chone y Guayaquil.

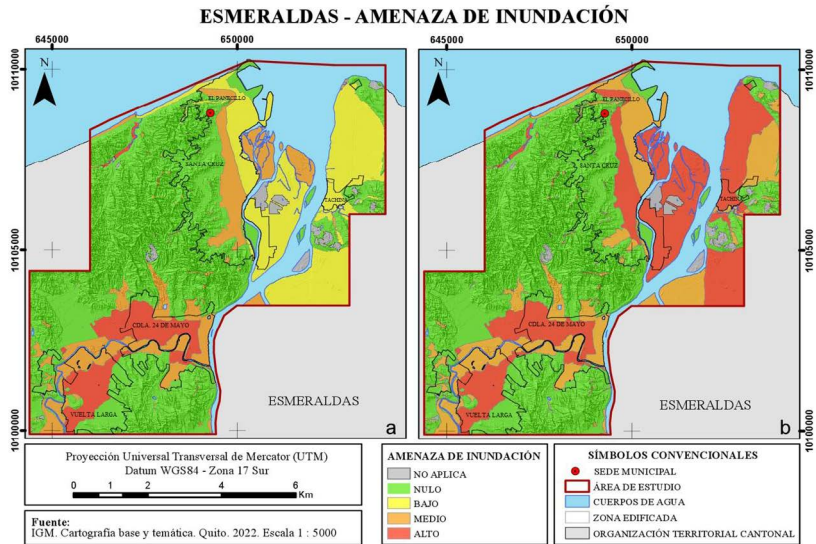
Tabla 8. Amenaza a inundación

Ciudad (ha)	Amenaza con precipitaciones estacionales		Amenaza con precipitaciones extremas	
	Categoría de amenaza	Superficie (ha)	Categoría de amenaza	Superficie (ha)
Esmeraldas (6 696,49)	Alto	409,48	Alto	1 390,93
	Medio	791,57	Medio	961,93
	Bajo	1 139, 23		
	Nulo	3 304,97	Nulo	3 292,38
	No aplica*	1 051,25	No aplica*	1 051,25
Chone (22 985,94)	Medio	5 079,57	Alto	5 028,48
	Bajo	5 292,41	Medio	5 343,50
	Nulo	11 996,83	Nulo	11 996,83
	No aplica*	617,13	No aplica*	617,13
Guayaquil (41679,25)	Alto	105,55	Alto	15 311,20
	Medio	3 449,59	Medio	6 315,35
	Bajo	17 886,61		
	Nulo	17 833,21	Nulo	17 648,42
	No aplica*	2 404,29	No aplica*	2 404,29

*Corresponde a cartografía base (ríos e islas)

Elaboración propia.

Figura 3. Amenaza de inundación de Esmeraldas. a) Con precipitaciones promedio (estacionales). b) Con precipitación extrema

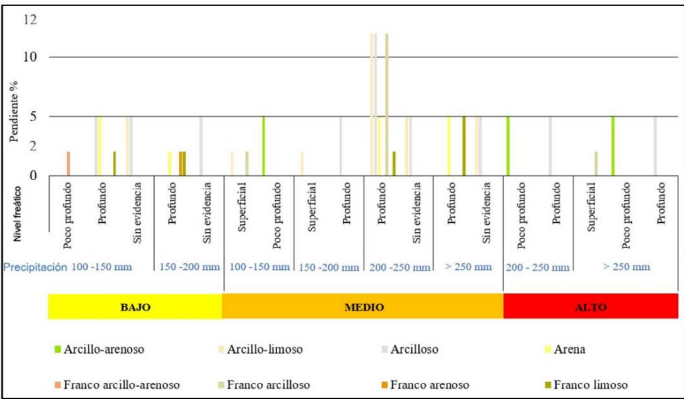


Elaboración propia.

En el área de estudio de la ciudad de Esmeraldas, durante el periodo de lluvias estacionales, la categoría alto a inundación abarca una superficie de 409,48 ha, la medio 791,57 ha y la bajo 1 139,23 ha; mientras que, en el caso de la precipitación extrema la categoría alto cubre una superficie de 1 390,93 ha y la categoría medio 961,93 ha, además, no se evidencia la presencia de la categoría bajo (Tabla 8 y Figura 3).

En la ciudad de Esmeraldas, en el período de lluvias estacionales, los niveles altos de inundación se presentan en geoformas con pendientes menores al 5%, donde las texturas predominantes son del tipo arcilloso y arcillo-arenoso, evidenciando un nivel freático a partir de los 100 cm, el factor detonante; corresponde a precipitaciones superiores a los 200 mm. La categoría medio, en sus condicionantes, se presenta principalmente, en áreas con pendientes menores al 5% (completamente planas), con texturas del tipo arcilloso y arcillo-limoso, donde la presencia del nivel freático se evidencia desde los 100 cm; en donde las precipitaciones oscilan entre los 150 y 250 mm. La categoría bajo se caracteriza por pendientes menores al 5%, con dominancia de texturas de tipo arcilloso y arcillo-limoso, donde la presencia del nivel freático aparece a los 100 cm o no se evidencia; las precipitaciones van de 100 hasta 200 mm (Figura 3). La categoría nulo, se presenta, principalmente, en geoformas con pendientes mayores al 25%, con texturas de tipo franco limoso y arcillo limoso, donde no se evidencia la presencia del nivel freático; el factor detonante, de igual manera, es superior a los 100 mm (Figura 4).

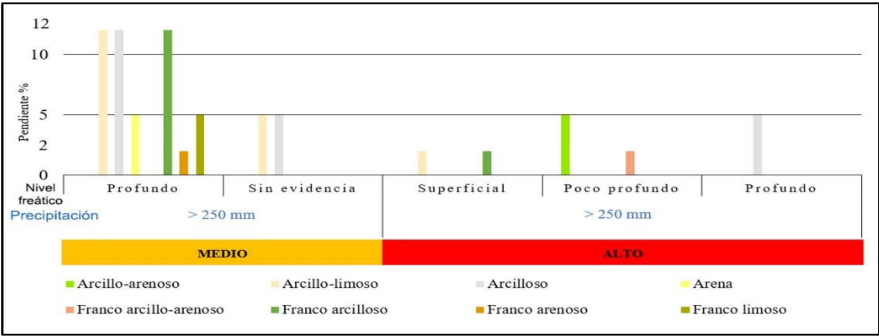
Figura 4. Relación de factores condicionantes y detonante por categoría de inundación en Esmeraldas



Elaboración propia

Con precipitaciones extremas (> 250 mm), en la categoría alto, la pendiente es menor al 5%, las texturas que predominan son de tipo arcilloso y franco arcillo-arenoso, cuyos niveles freáticos aparecen a partir de los 100 cm hasta los 10 cm. La categoría medio presenta pendientes menores al 12%, con texturas, mayormente, de tipo arenoso y arcilloso, evidenciándose un nivel freático a los 100 cm de profundidad (Figura 5).

Figura 5. Relación de factores condicionantes y detonante extremo por categoría de inundación en Esmeraldas

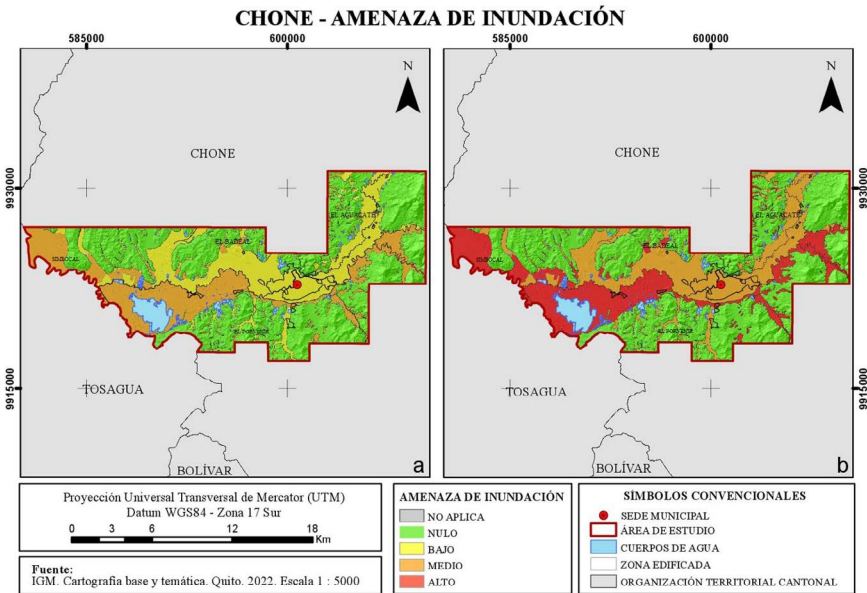


Elaboración propia.

La categoría nula se presenta en zonas con pendientes superiores al 25%, con texturas de tipo franco limoso y arcilloso, sin evidencia de nivel freático.

En la ciudad de Chone, con precipitaciones estacionales, se presentan las categorías bajo, medio y nulo, ocupando una superficie de 5 292,41, 5 079,57 y 11 996,83 ha, respectivamente; mientras que, con precipitaciones extremas, la ciudad alcanza las categorías alto con una superficie de 5 028,48 ha, medio con un área de 5 343,50 y nulo manteniendo su área de ocupación que en el caso anterior (Tabla 8 y Figura 6).

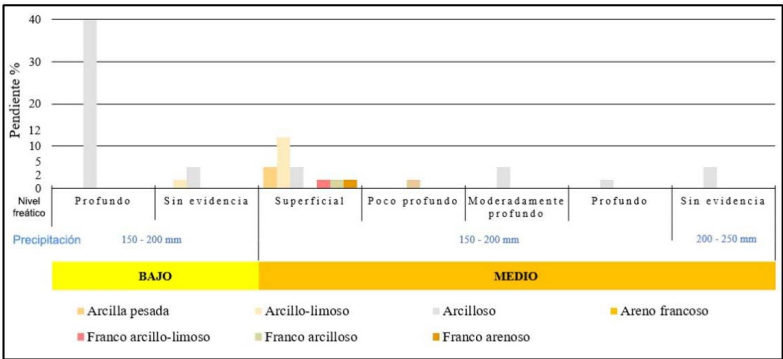
Figura 6. Amenaza de inundación de Chone. a) Con precipitaciones promedio (estacionales). b) Con precipitaciones extremas



Elaboración propia.

En el área de estudio de la ciudad de Chone, con el periodo de lluvias estacionales, la categoría baja se presenta en rangos de pendientes de 0 a 40%, con texturas de tipo arcilloso, en su mayoría no se evidencia la presencia del nivel freático, el factor detonante (precipitación) está en un rango de 150 a 200 mm. La categoría medio se encuentra en geoformas con pendientes menores a 12%, donde las texturas corresponden, principalmente, al tipo arcilloso y arcillo-limoso, con la presencia del nivel freático a partir de los 50 cm, las precipitaciones oscilan entre los 150 a 200 mm (Figura 7). La categoría nula, se encuentra, mayormente, en áreas cuyas pendientes superan el 25%, las texturas son de tipo arcilloso y franco arcilloso, sin evidencia de nivel freático.

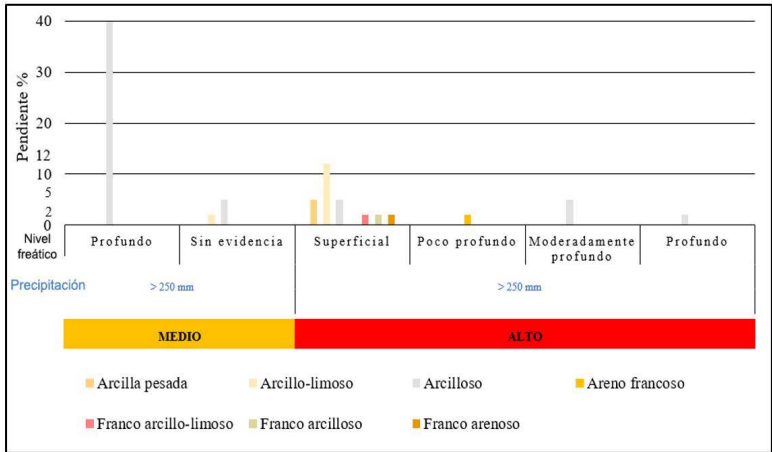
Figura 7. Relación de factores condicionantes y detonante por categoría de inundación en Chone



Elaboración propia

Con precipitaciones extremas (rango > 250 mm), en la categoría alto, las pendientes encontradas van desde 0 hasta 12%, las texturas encontradas, principalmente, son arcilloso y arcillo-limoso, el nivel freático se encuentra desde los 50 cm de profundidad hasta la superficie del suelo. La categoría medio presenta pendientes menores al 5%, con textura arcilloso, la presencia del nivel freático se encuentra a los 100 cm (Figura 8).

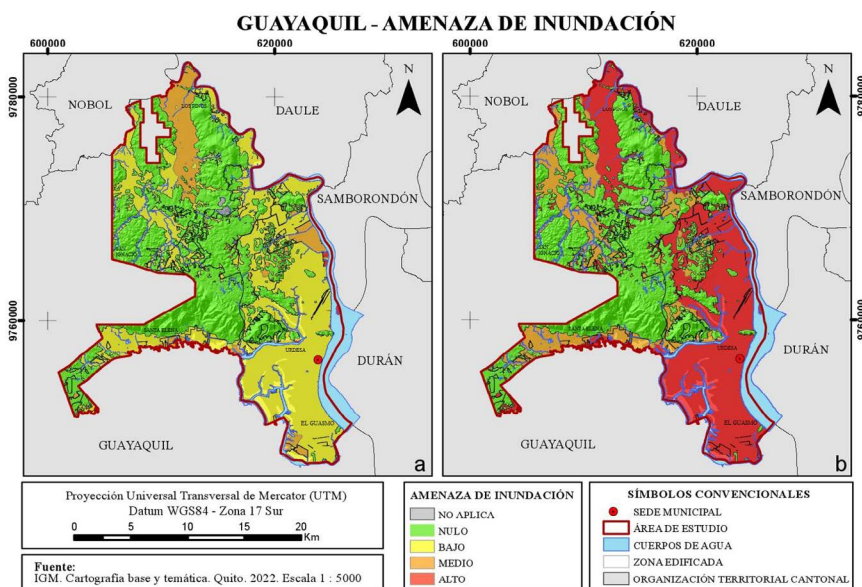
Figura 8. Relación de factores condicionantes y detonante extremo por categoría de inundación en Chone



Elaboración propia

La ciudad de Guayaquil, con precipitaciones estacionales, presenta 4 categorías de amenaza a inundaciones, siendo la categoría alto la menos ocuyente con 105,55 ha; mientras que, con la presencia de precipitaciones extremas, la categoría alto es la que más afecta al área de estudio, con una superficie de 15 311,20 ha (Tabla 8 y Figura 9).

Figura 9. Amenaza de inundación de Guayaquil. a) Con precipitaciones estacionales promedio. b) Con precipitación extrema

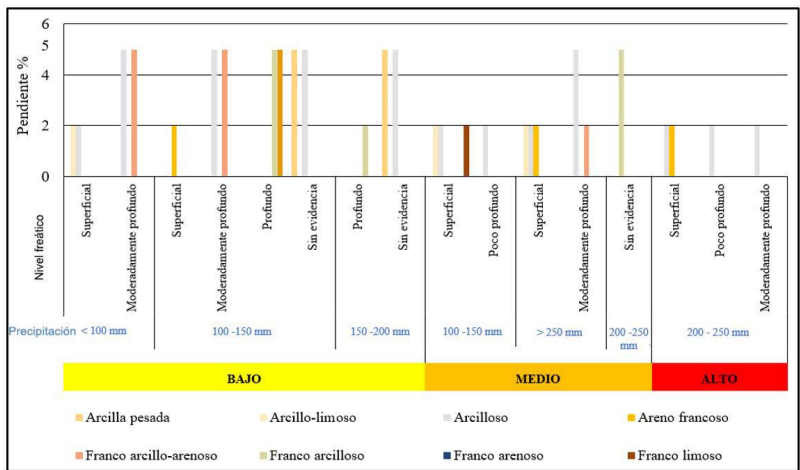


Elaboración propia.

En Guayaquil, durante las lluvias estacionales, en el nivel alto de inundación presenta rangos de pendiente menores al 2%, con texturas de tipo areno francoso y arcilloso, el nivel freático puede encontrarse desde los 20 cm; la precipitación es superior a los 250 mm. La categoría medio, presenta pendientes de hasta 5%, texturas de tipo areno francoso, franco arcillo-arenoso, arcillo-limoso, franco limoso, arcillo-limoso y arcilloso, el nivel freático se encuentra desde la superficie o desde los 20 cm (moderadamente profundo); las precipitaciones se encuentran en un rango de 100 a 200 mm. La categoría bajo, presenta pendientes de hasta 5%, se hallan texturas areno francoso, franco arenoso, franco arcillo arenoso,

arcillo-limoso, franco arcilloso, arcilloso y arcilla pesada, la presencia del nivel freático está desde los 10 cm, se encuentran tres rangos de precipitación menores a 200 mm (Figura 10).

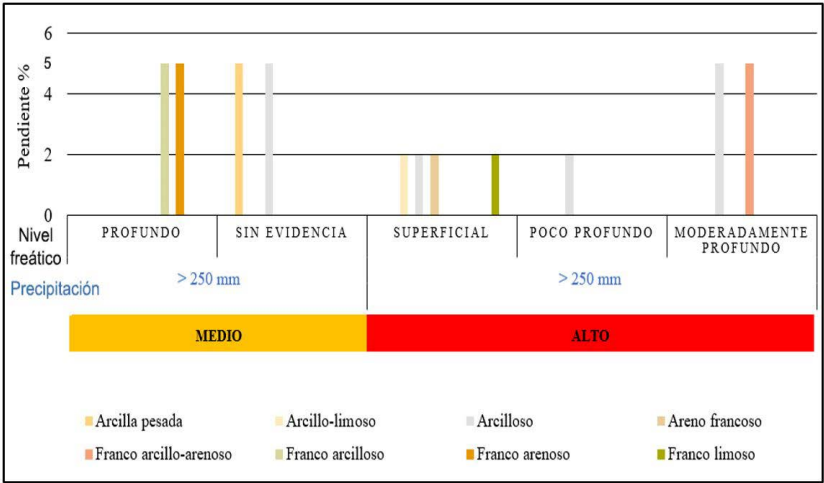
Figura 10. Relación de factores condicionantes y detonante por categoría de inundación



Elaboración propia.

Con precipitaciones extremas, la categoría alto presenta pendientes de hasta 5%, con texturas arcilloso y franco arcillo-arenoso, el nivel freático aparece desde los 90 cm alcanzando la superficie del suelo. La categoría medio, con pendientes hasta 5%, con clases texturales, principalmente, de tipo arcilla pesada y arcilloso, el nivel freático, en la mayoría de las superficies no se evidencia, o aparece desde los 120 cm. La categoría nulo muestra, pendientes que se agrupan entre los 12 al 100%, texturas de dominancia franco arcilloso y franco arenoso, sin evidencia de nivel freático (Figura 11).

Figura 11. Relación de factores condicionantes y detonante extremo por categoría de inundación



Elaboración propia.

Discusión de resultados

La geoinformación obtenida en la identificación de las zonas susceptibles a inundaciones nos muestra que, en las ciudades en estudio, existe un incremento de las superficies inundadas cuando las precipitaciones son extremas (>250 mm), por eventos, como por ejemplo, el Fenómeno de El Niño, presentando categorías de amenaza alto y medio, especialmente en zonas donde las pendientes son menores al 5% (ligeramente planas) y las clases texturales son de predominancia arcillosa, condiciones óptimas para la ocurrencia de inundaciones, ya que, según [Porta \(2008\)](#), la eliminación de agua es lenta en relación al suministro, de forma que el suelo permanece saturado de agua, aumentando el riesgo de desastre de la población localizada en dichas zonas.

En la ciudad de Esmeraldas, las diferentes categorías de amenaza a inundación se explican, principalmente, por la presencia de agua, tanto dentro del suelo como por su cantidad de precipitación, por ejemplo, en formas de la tierra con texturas gruesas, que supondrían buen drenaje, presentan nivel freático, que es consecuencia de los abundantes sistemas fluviales (5 cuencas y más de 30 ríos independientes), que sumado

a precipitaciones fluctuantes de entre 700 a 2 000 mm/año; información ofrecida por la [Alcaldía de Esmeraldas \(2021\)](#), generan el escenario ideal para que suceda la inundación; y, explican su paso a categorías de mayor amenaza al momento del modelamiento con precipitaciones extremas, como las sucedidas con el fenómeno de El Niño.

En la ciudad de Chone, las texturas encontradas son finas, es decir, presentan más cantidad de arcilla (arcillo-limoso, arcilloso y arcilla pesada, principalmente), con evidencia de nivel freático, debido especialmente a la presencia de esteros, charcos y lagos. La amenaza media es la dominante al realizar el modelamiento con precipitaciones estacionales concordando con el [Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chone \(2019\)](#), así mismo, se coincide que, en los periodos con precipitación extrema, han ocurrido los eventos de mayor inundación.

Según [Huayamave \(2013\)](#), en Guayaquil la presencia de nivel freático es evidente debido a que se encuentra ubicada en la cuenca hidrográfica más grande e importante del país – Cuenca baja del río Guayas –, por lo que es una zona expuesta a inundaciones, con un alto grado de impermeabilidad del suelo, por presentar texturas finas (arcilloso), a pesar de no sufrir precipitaciones promedio mayores a 250mm; por lo que, al presentarse periodos de lluvias extremas, como lo que ocurre durante el fenómeno de variabilidad climática ENOS, las áreas afectadas por inundaciones en la categoría alto se incrementa, afectando a los sistemas sociales, ambientales del cantón, esto de acuerdo con el [Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guayaquil \(2021\)](#).

Conclusiones

La cartografía generada realiza una delimitación a detalle de las áreas con amenaza de inundación, convirtiéndose en un insumo para la gestión y mitigación del riesgo. Se evidenció que las áreas más susceptibles a la amenaza por inundación son aquellas cercanas a los afluentes de agua, las cuales presentan principalmente, pendientes hasta el 5% (relieves planos a ligeramente planos), texturas finas (arcilloso, arcillo-limoso, arcilla pesada) y la presencia de niveles freáticos a partir de los 90 cm.

Se identificó un incremento muy significativo de las áreas afectadas por inundaciones de la categoría alto, entre los periodos de precipitaciones estacionales (515,03 ha) y precipitaciones extremas (21 730,61 ha),

evidenciándose el grado de afectación que sufren las ciudades en estudio, durante los periodos con precipitaciones extremas, por lo que es necesario establecer acciones preventivas para mitigar los daños y pérdidas que pueden presentarse.

En tal sentido, en la ciudad de Esmeraldas se observa que existe un incremento de 981,45 ha (240% más) de las zonas afectadas dentro de la categoría alto, en la ciudad de Chone aparece la categoría alto con 5 028,48 ha, y en la ciudad de Guayaquil incrementa la categoría con 15 205,65 ha (14 406% más); debido, principalmente, a que las zonas que se encontraban dentro de la categoría bajo se encuentran ahora dentro de la categoría alto.

Mediante el uso de sistemas de información geográfica se puede generar cartografía temática a detalle, la cual puede ser utilizada como insumo para conocer, analizar y gestionar las zonas susceptibles a fenómenos naturales (inundaciones, sismos, erupciones volcánicas, entre otras), para la toma de decisiones más acertadas sobre nuestro territorio, sobre todo de aquellas amenazas que históricamente han provocado efectos negativos en la sociedad y economía del país, como lo son las inundaciones, provocadas por precipitaciones estacionales o extraordinarias.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Esmeraldas. (2021). *Plan cantonal de desarrollo y ordenamiento territorial 2020-2033*. Alcaldía. <https://bit.ly/3Q9vItT>
- Bernabé, M.; López, C. (2012). *Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales*. Universidad Politécnica de Madrid. España. <https://bit.ly/4biZgxU>
- Burgos, B.; Cartaya, S.; Mero del Valle, D. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones geográficas*, (98). <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59767>
- Cadier, E.; Gómez, G.; Calvez, R.; Rossel, F. (1993). *Inundaciones y sequías en el Ecuador*. <https://bit.ly/3Qb6dbB>
- Cascini, L. (2008). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102(3-4), 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.016>

- Castellanos, E.; Van Westen, C. (2007). Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides* 4, 311–325. [10.1007/s10346-007-0087-y](https://doi.org/10.1007/s10346-007-0087-y)
- D’Ercole, R.; Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador*. HAL science ouverte. Ecuador. <https://bit.ly/3y0l1V7>
- Food and Agriculture Organization. (2009). Guía para la descripción de perfiles de suelo. FOA. Italia. <https://bit.ly/3WkvGDY>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chone. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Chone 2014-2019*. <https://bit.ly/49btSkL>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guayaquil. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial (PDOT) del cantón Guayaquil (Actualización 2019-2023)*. <https://bit.ly/47aOIve>
- Huayamave, P. (2013). *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico* [Tesis de doctorado, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. Ecuador. <https://bit.ly/3tTqxXz>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2018). Memoria técnica dentro del proyecto “Generación de información geoespacial a escala 1: 5 000 para la determinación de la aptitud física de la ciudad de Guayaquil”. IEE.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). El ABC de los suelos para no expertos. IGAC. <https://bit.ly/2uw5KHp>
- Instituto Geográfico Militar. (2019). Memoria técnica de síntesis de la ciudad de Guayaquil. Quito. IGM. <https://www.bitlylinks.com/0Qfz0V9w0>
- Instituto Geográfico Militar. (2022). Memoria técnica dentro del 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 de la ciudad de Chone. IGM.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). Estructura poblacional. Quito. INEC. <https://bit.ly/3QofT3e>
- Illescas, C.; Buss, S. (2016). Ocurrencia y Gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe – Factores claves y experiencia adquirida. *BIDImpact*. <http://bit.ly/492075Z>
- Mena, M.; Scheffczyk, K.; Urrutia, M.; Huerta, B.; Walz, Y. (2021). Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador. UNDRR. <https://bit.ly/4740pYg>

- Mora, S.; Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for lands lide hazard determination. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 31(1), 49-58. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxxi.1.49>
- Naciones Unidas DesInventar Sendai - Official Website. (2021). *Disaster loss data for Sustainable Development Goals and Sendai Framework Monitoring System*. <https://www.desinventar.net>
- Nouvelot, J.; Pourrut, P. (1984). El Niño, phénomène océanique et atmosphérique. Importance en 1982-1983 et impact sur le littoral équatorien. Francia: Cahier 1-ORSTOM. *Série Hydrologie*, 21(1), 39-65. <https://bit.ly/3Mf30qd>
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021. *OMM*. <https://bit.ly/40aiZvG>
- Porta, C.; López, A. (2008). *Introducción a la edafología. Uso y protección del suelo*. Mundi-prensa. Ecuador.
- Rossel, F.; Mejía, R.; Ontaneda, G.; Pombosa, R.; Roura, J.; Le Gouven, P.; Cadier, E.; Calves, R. (1998). Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Équateur. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 27(3), 643-654. <https://bit.ly/4730DPs>
- Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, ECHO y UNISDR. (2012). Ecuador: Referencias básicas para la gestión de riesgos (Emilio Ochoa Moreno ed.). Quito, Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos - SNGR. <http://dipecholac.net/docs/files/196-ecuador-referencias-basicas-para-la-gestion-de-riesgos-2013-2014.pdf>
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2016). Guía técnica para la generación de metadatos de geoinformación. *SENPLADES*. Ecuador. <https://www.bitlylinks.com/EDMA1Nno2>
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2024). Plan de desarrollo para el Nuevo Ecuador. *SENPLADES*. Ecuador. <https://acortar.link/mNAiTU>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2023). Afectaciones por época lluviosa en el Ecuador. *SNGRE*. <https://bit.ly/3lACaP6>
- Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de suelos*. Décima segunda edición. USDA, NRCS. <https://bit.ly/2LxcRts>
- Summerfield, M. (2013). *Global Geomorphology*. Routledge Taylor & Francis Group. USA. <https://doi.org/10.4324/9781315841182>

- Verstappen, H.; Van Zuidam, R. (1975). *ITC System of Geomorphological Survey: ITC Textbook of Photointerpretation. Vol. II*. Enschede, the Netherlands, 1-52. <https://bit.ly/2HVP7Oi>
- Zonneveld, I. (1989). *The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications*. Landscape Ecology. <https://doi.org/10.1007/BF00131171>