



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
TOPOGRAFÍA AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

TEMA TRABAJO DE TITULACIÓN:

Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un centro de operaciones de emergencia provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG)

AUTOR:

Álvarez Gaona Milton Iván

**Previo a la obtención del Grado Académico:
Magíster en Sistemas de Información Geográfica, Topografía
Automatizada y Fotogrametría Digital**

Guayaquil, Ecuador

2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TOPOGRAFÍA
AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Milton Iván Álvarez Gaona, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magister en Sistemas de Información Geográfica, Topografía Automatizada y Fotogrametría Digital.

REVISOR

Ing. Armando Echeverría, Mgs.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Armando Echeverría, Mgs.

Guayaquil, a los 15 del mes de marzo del año 2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TOPOGRAFÍA
AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Milton Iván Álvarez Gaona

DECLARO QUE:

El trabajo de Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un centro de operaciones de emergencia provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) previa a la obtención del **Grado Académico de Magíster en Sistemas de Información Geográfica, Topografía Automatizada y Fotogrametría Digital**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de investigación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 15 del mes de marzo del año 2026

EL AUTOR



Validar únicamente en FirmaDC.
Firmado electrónicamente por:
**MILTON IVAN ALVAREZ
GAONA**

Milton Iván Álvarez Gaona



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TOPOGRAFÍA
AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Milton Iván Álvarez Gaona

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del **Trabajo de titulación en Magister en Sistemas de Información Geográfica, Topografía Automatizada y Fotogrametría Digital** titulado: **Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un centro de operaciones de emergencia provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de marzo del año 2026

EL AUTOR:



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por
**MILTON IVAN ALVAREZ
GAONA**

Milton Iván Álvarez Gaona



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TOPOGRAFÍA
AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

REPORTE COMPILATIO



Informe de análisis

Compilatio Magister+ | UCSG-EC- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

TRABAJO TITULACIÓN - Evaluacion Multicriterio COE-P_v4-signed-signed-signed

ID : 2e233c68f41c47a57101d69b0bbde87cb0d0eb7b



6%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TRABAJO TITULACIÓN - Evaluacion Multicriterio COE-P_v4-signed-signed-signed.txt

Tamaño del archivo original : 7,38 MB

Número de palabras : 11.861

Depositante : Neptali Armando Echeverria Llumipanta

Fecha de depósito : 1 de julio de 2026

Tipo de carga : interface

fecha de fin de análisis : 1 de julio de 2026

AGRADECIMIENTO

A Dios,

Por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa importante de mi vida. Por iluminar mi camino en los momentos de dificultad y brindarme la perseverancia para no rendirme ante los desafíos.

A mis padres,

Por su amor y comprensión, sus principios y valores transmitidos, que han contribuido significativamente a mi formación y desarrollo profesional. Agradezco profundamente su esfuerzo, sacrificio y apoyo para alcanzar cada una de mis metas

A mis hermanos,

Por siempre estar ahí, apoyándome y alentándome a seguir adelante a alcanzar mis metas y objetivos propuestos.

A cada una de las personas que supieron motivarme para cumplir esta meta, gracias de todo corazón.

Este logro también es suyo.

DEDICATORIA

A mi mamá,
Por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el pilar fundamental en mi vida.
Este logro también es suyo.

A mis hermanos,
Por su apoyo constante, su cariño y por ser parte fundamental de mi vida. Este logro
también les pertenece.

Con todo mi cariño y admiración.

Índice

Introducción	1
Problemática	3
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Marco Teórico	6
1.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la Planificación Territorial	6
1.2 Análisis de Decisión Multicriterio (ADC) y su integración con SIG	7
1.3 Métodos de Estandarización y Combinación Lineal Ponderada (WLC)	8
1.4 El Centro de Operaciones de Emergencia (COE) como Infraestructura Crítica	9
Metodología	11
2 Enfoque Metodológico General	11
3 Área de Estudio	11
4 Fuentes de Información y Capas Geoespaciales	15
5 Análisis de Fuentes de Información Espacial	16
5.1 Accesibilidad a Vialidad Estatal - Provincia de Guayas	18
5.2 Infraestructura de Salud, Educación y Seg. - P.Guayas	21
5.3 Infraestructura Energética - Provincia de Guayas	23
5.5 Uso de Suelo - Ciudad de Guayaquil	27
5.6 Cobertura de Tierra - Ciudad de Guayaquil	29
5.7 Capacidad de Uso de Tierra - Ciudad de Guayaquil	31
5.8 Conflictos en Zonas de Expansión - Ciudad de Guayaquil	33
5.9 Riesgos - Ciudad de Guayaquil	35
5.10 Ejes de Comunicación - Ciudad de Guayaquil	37

6	Procesamiento y Estandarización de Capas	39
6.2	Generación de Buffers y Capas Binarias (Idoneidad/No Idoneidad)	39
6.3	Capas de Restricción Absoluta (Máscara)	43
6.4	Rasterización de Capas	44
7	Estructura del Modelo Multicriterio	47
7.2	Definición de Pesos por Categoría	48
7.3	Pesos Internos por Categoría	49
8	Modelamiento Matemático del Modelo Multicriterio	55
	RESULTADOS	57
9	Mapa de Idoneidad	57
10	Selección de Alternativas	63
10.2	Alternativa A.	66
10.3	Alternativa B	68
10.4	Alternativa C	70
11	Análisis Comparativo de Alternativas	72
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
	Conclusiones	73
	Recomendaciones	75
	BIBLIOGRAFÍA	77
	ANEXOS	80

Introducción

En la provincia del Guayas, la naturaleza impredecible cuya ocurrencia de eventos adversos resultan difíciles de prever como son: inundaciones, incendios forestales, sismos, crisis sanitarias o accidentes tecnológicos. Esta situación pone de manifiesto que se necesita contar con centros de coordinación y su operatividad sea constante, garantizando la continuidad de la gestión y repuesta inmediata frente a emergencias.

Los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) compone de forma trascendental el mecanismo de coordinación para la gestión de emergencias. En ellos se reúnen las entidades responsables para coordinar y dar respuesta a emergencias o eventualidades críticas que puedan suscitarse en la provincia. Pero hay un inconveniente: si el (COE) está mal ubicado, no será fructífero. La accesibilidad, la seguridad frente a amenazas y las restricciones ambientales condicionan o favorecen para acudir a brindar apoyo cuando se lo necesita.

La provincia del Guayas, por su posición geográfica, densidad poblacional y producción industrial, demanda un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COE-P), y el mismo se encuentre ubicado estratégicamente para dar solvencia ante el suceso de eventualidades críticas de emergencia.

En la actualidad, para asignar sitios de infraestructura crítica para un (COE-P) se realiza sin metodologías que integren variables: espaciales, riesgos, accesibilidad, normativa, etc., y que puedan ser replicables en el tiempo.

En este contexto, aquí entran los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis multicriterio los cuales se presentan como herramientas para la planificación territorial de infraestructura estratégica.

Malczewski explica que la combinación de capas temáticas, estandarización de criterios y ponderación de la información por sub-temáticas, permiten a los analistas y planificadores generar mapas de idoneidad que orientan la toma de decisiones.

El presente caso de estudio tiene por objetivo identificar y determinar áreas de alta idoneidad para la ubicación e implantación de COE-P en la provincia del Guayas utilizando un modelo de evaluación multicriterio desarrollado en QGIS.

Para este caso se utilizaron capas geoespaciales de acceso público tanto estatales, provinciales y cantonales, permitiéndonos alcanzar los objetivos propuestos. Además, se consideraron variables como: accesibilidad vial, seguridad frente a amenazas naturales (inundaciones e incendios), restricciones ambientales y normativas, así como infraestructura energética estratégica.

El estudio multicriterio está orientado a determinar zonas con mayor aptitud y consecuentemente generar y establecer un procedimiento metodológico replicable, que pueda ser aplicado y reproducible en estudios similares contribuyendo a la gestión y planificación territorial a largo plazo.

Problemática

La provincia del Guayas, con una superficie de 15.430 km² y una población superior a los 4 millones de habitantes, concentra gran parte de la actividad económica, industrial y portuaria del Ecuador. Esta condición la expone a múltiples amenazas de diversa índole.

Entre las amenazas más recurrentes tenemos las inundaciones por el desbordamiento de los ríos Daule y Babahoyo, este fenómeno natural afecta extensas zonas agrícolas y urbanas; incendios forestales en épocas de estiaje, este fenómeno se suscita con mayor frecuencia en la cordillera Chongón-Colonche; movimientos telúricos por estar en una zona tectónicamente activa.

Presencia de infraestructura de alto riesgo como el poliducto Pascuales-Cuenca, terminales de combustible, plantas de productos químicos y bodegas industriales, siendo estas amenazas de origen antrópico de alto riesgo, que pueden desencadenar en explosiones, incendios o contaminación. Además, la elevada congestión en vías principales es una situación crítica y vulnerable.

Actualmente, la identificación de sitios para infraestructura crítica como un COE provincial carece de un proceso técnico estandarizado. La selección de estos predios suele realizarse a disponibilidad de los mismos o criterios administrativos, sin considerar factores estratégicos como:

- Accesibilidad y conectividad vial en condiciones normales y de emergencia considerando factores con congestión, inundaciones o afectaciones a la infraestructura vial.
- Susceptibilidad a amenazas naturales que puedan afectar la operatividad continua del centro en eventualidades de emergencia.

- Limitaciones ambientales y normativas asociadas a ecosistemas sensibles como: manglares, humedales, áreas protegidas, zonas con uso incompatible de suelo.
- Capacidad de cobertura territorial y respuesta oportuna.

La falta de un análisis geoespacial multicriterio para la localización del COE-P en Guayas puede derivar en:

- Selección de sitios vulnerables que comprometan la operación continua durante emergencias.
- Mala conectividad vial y la implementación imprevista en lugares no adecuados puede conllevar a elevar los costos de operaciones.
- Implementación de infraestructura en sitios con restricciones conllevaría a conflictos legales y ambientales.
- Ineficiencia en los tiempos de respuesta al no estar ubicado en un lugar estratégico.

En consecuencia, para identificar zonas óptimas para la ubicación de un COE-P, se necesita un estudio técnico que mediante evaluación multicriterio a través de herramientas SIG, permita garantizar que la implementación de la infraestructura sea idónea y cumpla su función de manera oportuna.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la ubicación óptima para un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COE-P) en la provincia del Guayas mediante un modelo de evaluación multicriterio implementado en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Objetivos Específicos

- Recopilar, depurar y estandarizar capas geoespaciales relevantes para el análisis, incluyendo red vial, amenazas naturales, restricciones ambientales, uso de suelo, infraestructura energética y zonas de protección ecológica, a partir de fuentes oficiales.
- Modelar la accesibilidad territorial a través de un análisis de proximidad euclidiana, calculando distancias lineales, buffers o áreas de influencia a la red vial principal, ejes de comunicación urbanos, establecimientos de salud y educación, y zonas de densidad poblacional, utilizando herramientas de análisis espacial en QGIS.
- Construir y aplicar un modelo multicriterio ponderado basado en Combinación Lineal Ponderada (WLC), asignando pesos específicos a cuatro categorías temáticas.
- Identificar y justificar técnica y cartográficamente las tres a cinco mejores alternativas de ubicación para el COE-P, considerando el mapa final de idoneidad y la aplicación de una máscara de restricciones absolutas.
- Elaborar productos cartográficos normalizados para una recomendación final, garantizando la reproducibilidad del análisis.

Marco Teórico

1.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la Planificación Territorial

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen un conjunto de herramientas tecnológicas diseñadas para capturar, almacenar, analizar y visualizar información referenciada espacialmente. En el contexto de la planificación territorial, los SIG permiten integrar múltiples capas temáticas como infraestructura vial, amenazas naturales, restricciones ambientales y densidad poblacional, en un entorno analítico único

La capacidad de integración resulta de mucha importancia para la localización de infraestructura crítica, donde la decisión final depende de la interacción simultánea de variables de distinta naturaleza.

Para este estudio, se implementó herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en software de código abierto QGIS, el mismo que ofrece muchas bondades y complementos que permiten realizar múltiples operaciones como geoprocésamiento, rasterización, álgebra de mapas, etc.

Este software de libre acceso como QGIS, permite hacer el proyecto reproducible, ya que las operaciones de generación de buffers, combinación lineal ponderada, entre otras, pueden ser documentadas y replicadas por otros investigadores.

La existencia y disponibilidad de información oficial generados por entidades institucionales como el IGM, SNGRE, MAATE, INEC, y demás entidades relacionadas, favorece la aplicación del modelo y análisis por parte de entidades públicas como la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos o los Gobiernos Autónomos Descentralizados provinciales y cantonales, sin dependencia de herramientas como software privado.

1.2 Análisis de Decisión Multicriterio (ADC) y su integración con SIG

El Análisis de Decisión Multicriterio (ADC) es un conjunto de metodologías que permiten evaluar y comparar alternativas frente a múltiples criterios.

Esta metodología no trata de identificar solamente una solución, el (ADC) busca una integración de distintas variables y mantener un equilibrio entre los componentes del problema, convirtiéndolo en una herramienta adecuada para la planificación, donde se combinan consideraciones operativas, sociales, ambientales y normativas.

La integración de ADC con SIG, conocida como SIG-ADC o GIS-MCDA, ha sido ampliamente documentada en la literatura especializada (Malczewski, 2006) y constituye el pilar metodológico del presente trabajo.

Los Sistemas de Información Geográfica tienen la capacidad de gestionar y analizar, mediante la evaluación de criterios como: proximidad, áreas de influencia, superposición de capas, etc., por otro lado, el ADC nos provee la metodología para asignar los respectivos pesos a los criterios, y darles la importancia concerniente para integrarlos en un índice de idoneidad territorial.

Mediante la integración de estos criterios facilita la conversión de capas temáticas desde formatos vectorial y ráster, en una superficie continua de idoneidad, donde cada celda se le establece un valor que muestra su ventaja para la implantación del COE-P.

1.3 Métodos de Estandarización y Combinación Lineal Ponderada (WLC)

La Combinación Lineal Ponderada, o por sus siglas en inglés “Weighted Linear Combination (WLC)” es el método de agregación multicriterio más utilizado en la literatura SIG-ADC debido a su simplicidad computacional y facilidad interpretativa. La WLC calcula la idoneidad de cada celda como la suma ponderada de sus puntuaciones en cada criterio, donde los pesos reflejan la importancia relativa de cada variable y suman 1 (o 100%). Matemáticamente, se expresa como:

$$S = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + \dots + w_n \cdot x_n$$

Dónde:

S = Idoneidad final (valor entre 0 y 1)

w_i = Peso asignado al criterio *i* ($\sum w_i = 1$)

x_i = Puntuación estandarizada del criterio *i* (valor 0 o 1 en este estudio)

En el presente estudio, se implementó una WLC jerárquica: primero se combinaron subcriterios dentro de cada categoría temática (accesibilidad, seguridad, ambiente, energía), y luego se agregaron las cuatro categorías con sus pesos globales.

Para la estandarización de los criterios de este proyecto se realizó mediante una clasificación binaria, fijando valores (0 o 1) permitiendo definir el valor (1) como de aptitud y valor (0) como de no aptitud para cada unidad espacial. Mediante esta asignación de valores permite aplicar restricciones absolutas dentro del modelo multicriterio, asegurando la exclusión de zonas que no

cumplen los requisitos mínimos para ser consideradas como idóneas. De esta forma, requisitos como la accesibilidad y conectividad vial, la exclusión de zonas inundables o amenazas naturales de diferente índole y las restricciones ambientales y normativas son condiciones excluyentes para la selección de zonas o alternativas territoriales idóneas.

La estandarización continua (fuzzy membership) ofrece un mayor gradiente de matices dentro de las zonas idóneas, y a la vez el enfoque binario resulta particularmente apropiado para estudios de planificación a escala provincial donde la disponibilidad de datos homogéneos es limitada y se prioriza la reproducibilidad y la transparencia en la exclusión de áreas inviables.

Las áreas clasificadas como idóneas (valor = 1) posteriormente fueron ponderadas de acuerdo a la importancia de cada criterio dentro de su categoría; por su parte, las zonas no idóneas (valor = 0) fueron automáticamente descartadas de la suma ponderada, funcionando como restricciones o filtro en el modelo.

1.4 El Centro de Operaciones de Emergencia (COE) como Infraestructura Crítica

El Centro de Operaciones de Emergencia es la instancia de coordinación y toma de decisiones durante situaciones de crisis, integrando a las instituciones del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos, como lo pueden ser SNGRE, Ministerio de Salud, Policía, Bomberos, Fuerzas Armadas, GADs, entre otros.

En Ecuador, los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) se distribuyen jerárquicamente a escala nacional, provincial y cantonal; bajo este contexto, el (COE-P) cumple funciones de coordinación de la respuesta ante emergencias a

escala provincial, articulando y coordinando acciones con los COE cantonales y reportando información al COE nacional.

Su eficacia operativa depende críticamente de tres factores: la capacidad de convocar rápidamente a los delegados institucionales, la posibilidad de movilizar recursos logísticos hacia las zonas afectadas, y la continuidad de sus propias operaciones durante la emergencia, lo que exige ubicarlo fuera de áreas de amenaza.

La provincia del Guayas, tiene una elevada densidad poblacional de más de 4.7 millones de habitantes y una extensión 15.430 km², por su ubicación geográfica esta expuesta a recurrentes inundaciones estacionales e incendios forestales, por estos fenómenos de índole natural o causadas por actividades antrópicas, requiere de la implementación de un COE-P, cuya ubicación sea implementada de forma estratégica en base a criterios técnicos.

La implementación de un COE-P en un lugar inapropiado, por ejemplo, en zonas con alta congestión vehicular que dificulte la movilidad provincial, zonas inundables que limiten las operaciones de socorro, o en zonas con restricciones ambientales que limiten la implementación del mismo; esto puede generar vulnerabilidades para dar respuesta a eventos de emergencias críticas.

En este contexto, la localización e implementación de COE-P se plantea como un problema de planificación territorial que requiere el estudio de un modelo SIG-ADC, encaminado a la toma de decisiones establecida en criterios técnicos como el desarrollado en este trabajo.

Metodología

2 Enfoque Metodológico General

Usando la metodología de Evaluación Multicriterio (EMC) integrada con Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente mediante la técnica de Combinación Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC) en entorno ráster (Malczewski, 2006), se logró enfocar e integrar múltiples criterios espaciales, estandarizados a una escala de valores entre 0 y 1, y combinar dichos valores mediante pesos que reflejan la importancia relativa de cada factor en la determinación de la idoneidad territorial.

El flujo metodológico se estructuró en cuatro fases secuenciales:

- (i) Recopilación y preparación de datos
- (ii) Procesamiento y estandarización de criterios
- (iii) Definición de pesos y construcción del modelo multicriterio
- (iv) Generación del mapa de idoneidad y selección de alternativas

3 Área de Estudio

La provincia del Guayas, en la costa ecuatoriana, se localiza entre las coordenadas geográficas 1°15' S y 3°30' S de latitud y 79°30' O y 80°45' O de longitud. Geográficamente esta provincia limita al norte con la provincia de Los Ríos y Bolívar, al sur con El Oro y el Golfo de Guayaquil, al este con Chimborazo y Cañar, y al oeste con Santa Elena y Manabí. La superficie del Guayas es de 15.430 km², siendo la provincia más poblada del país con aproximadamente 4.3 millones de habitantes (INEC, 2022).

La provincia del Guayas posee gran variedad de ecosistemas, ya que se enlaza con tres zonas de: Chocó, Tumbesina y las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes. Bajo este sistema geográfico se da lugar una variedad

de paisajes como bosques secos tropicales, humedales, manglares y bosques nublados. El ecosistema predominante es el bosque seco tropical, especialmente en las estribaciones de la cordillera Chongón-Colonche, aunque ha sufrido una intensa deforestación en los últimos años (Sierra, 1999).

En otras zonas de la provincia, precisamente las zonas bajas e inundables de la cuenca del río Guayas y cerca del Golfo de Guayaquil, se puede apreciar humedales y bosques de manglar. Un ejemplo de este ecosistema es la Reserva Ecológica Manglares Churute, de 35.000 hectáreas que protege cinco especies de mangle y es hábitat de numerosas aves migratorias (Ramsar Convention, 2023).

Estudios climáticos y geoespaciales basados en el sistema de clasificación de zonas de vida han identificado una evolución en los ecosistemas de la provincia. Mientras que en 1978 se identificaron ocho zonas de vida, para el año 2000 apenas fueron seis, evidenciando el impacto del cambio climático en la región (MAGAP, 2012). En la actualidad, Guayas tiene predominancia de zonas como el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical.

La provincia del Guayas es calurosa y muestra una temperatura media anual de entre los 24 °C y 28 °C (INAMHI, s.f.). La provincia también es de carácter lluvioso y presenta precipitaciones sobre todo en enero y mayo donde se concentran la mayoría de los 800 mm a 2000 mm anuales, dependiendo de la zona, mientras que la época seca presenta pocas precipitaciones (INAMHI, s.f.). Las condiciones climáticas descritas configuran el paisaje e influyen en la agricultura, acuicultura y los asentamientos humanos, consolidando al Guayas como un territorio complejo además de amplio y estratégico por sus condiciones económicas (Malczewski, 2006). Por esto y más motivos la planificación e implementación de infraestructura como el COE-P es de carácter crítico.

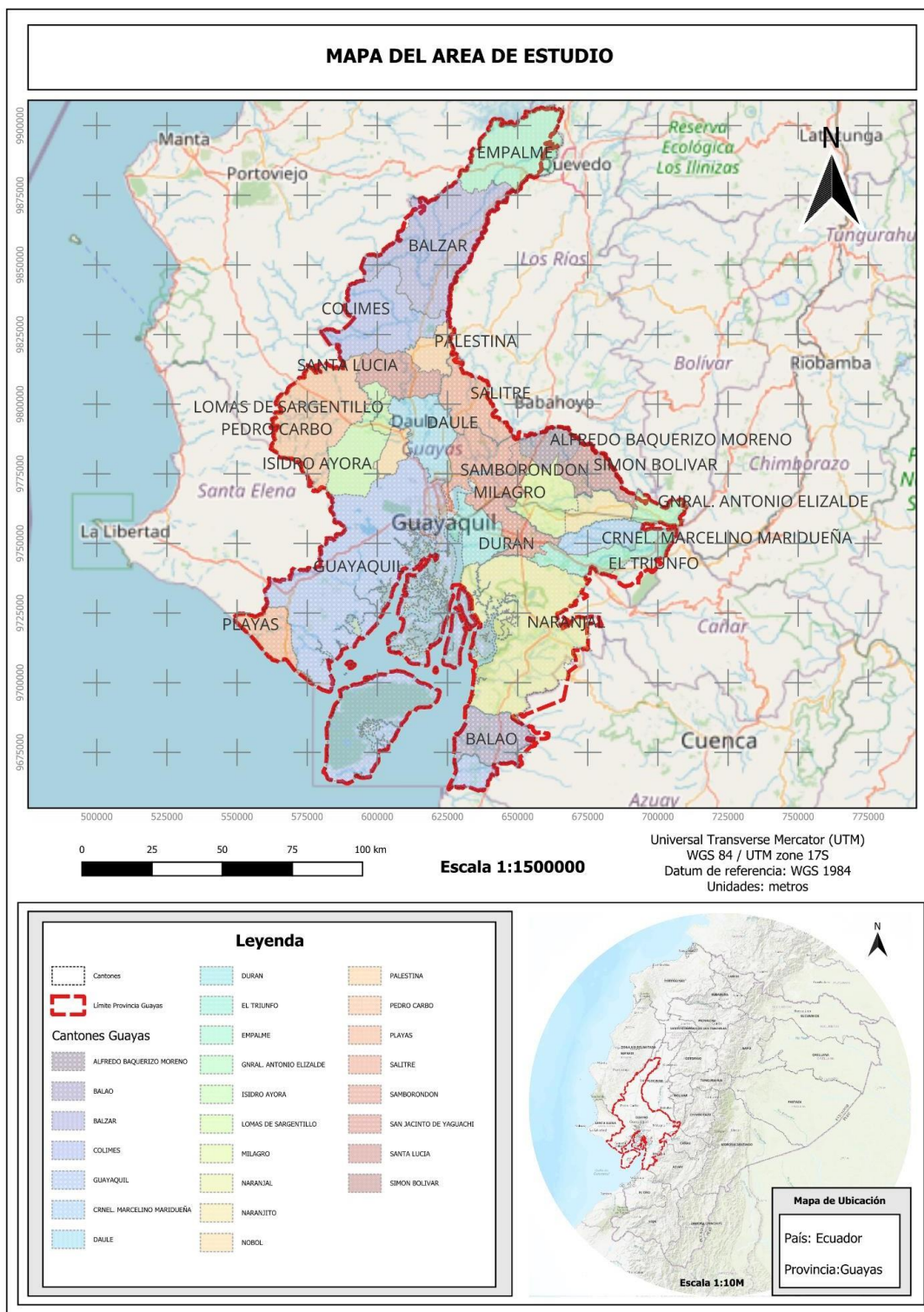


Imagen 1. Mapa del Área de Estudio

Al momento de consultar las estimaciones y proyecciones poblacionales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) publicadas para el año 2024, la provincia del Guayas se consolida como la jurisdicción más poblada del Ecuador, albergando a 4.739.771 habitantes, lo que representa aproximadamente el 25% de la población nacional (INEC, 2024).

En general las cifras sociodemográficas sitúan al Guayas muy por encima de otras provincias como Pichincha (3.272.265) y Manabí (1.699.434) (INEC, 2024). La población se concentra mayoritariamente en el área urbana, con un estimado de 4.087.913 personas, mientras que el área rural se estima a 700.244 habitantes (INEC, 2022).

El cantón Guayaquil es el que concentra mayor población, no solo de la provincia sino del país, con una población proyectada de 2.957.527 habitantes para 2024, que ascendería a 3.007.696 según proyecciones municipales para 2026. Luego del cantón Guayaquil le siguen en importancia poblacional otros cantones como Durán, Daule, Milagro y Samborondón, que son contiguos y de gran dinamismo (GAD Guayaquil, 2023).

Cuando se analiza la distribución por edades, los resultados del Censo 2022 muestran una importante población infantil y adolescente, con una población de 342.644 niños de 0 a 4 años, una población de 534.132 de 5 a 11 años y así como 491.033 adolescentes entre 12 a 17 años, representando el 31.2 % de la población provincial.

En términos de autoidentificación cultural, existe mayor cantidad de registros de población mestiza con un 80.5%, seguida por población montubia (7.4%), luego afrodescendiente (7.2%) y por último indígena (1.6%) (INEC, 2022).

4 Fuentes de Información y Capas Geoespaciales

Se utilizaron exclusivamente fuentes de datos abiertos y oficiales, garantizando la reproducibilidad del análisis:

Tabla 1. Fuentes de Información

Capa	Fuente	Escala / Resolución	Año
Límite provincial Guayas	IGM - Geoportal	1:50.000	2023
Red vial estatal	IGM - Geoportal	1:50.000	2023
Ejes de comunicación (vías urbanas GYE)	IGM - Geoportal / GAD Guayaquil	1:25.000	2023
Establecimientos de salud y educación	Ministerio de Salud y Educación	1:5.000	2024
Densidad poblacional	INEC - Censo 2022	1:50.000	2022
Zonas inundables	SNGRE - MAG	1:25.000	2023
Amenazas de incendios forestales	SNGRE - MAATE	1:25.000	2023
Zonas de protección ecológica manglares	MAATE - Subsistema de Manglares	1:25.000	2023
Zonas de protección general	MAATE - Áreas Protegidas	1:25.000	2023
Zonas con limitaciones de uso de tierra	MAG - Geoportal	1:25.000	2019
Infraestructura energética (poliducto)	ARCONEL - Petroecuador	1:50.000	2023
Zonas de restricción y tierra forestal	MAG - Geoportal	1:25.000	2019

Capa	Fuente	Escala / Resolución	Año
Zonas de conflicto de uso de expansión	GAD Guayaquil - Plan de Uso de Suelo	1:25.000	2023

5 Análisis de Fuentes de Información Espacial

La selección y planificación para la implementación de infraestructura logística para eventos críticos, como es un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COE-P), demanda de análisis y conocimiento multidimensional del territorio donde se pueda implementar la infraestructura.

Para este proyecto y bajo las consideraciones expuestas, se tomó la información geoespacial disponible a nivel provincial y cantonal siendo la base para el análisis y la toma de decisiones. En la provincia del Guayas debido a su extensión, diversidad territorial y desarrollo socioeconómico, requiere la integración y evaluación de variables físicas, demográficas, ambientales y de infraestructura, con el propósito de identificar los sitios con mayor aptitud, así como aquellos que presentan restricciones o vulnerabilidades que podrían complicar la funcionalidad del COE-P.

Para visualizar los resultados adecuadamente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan el análisis simultáneo de múltiples capas temáticas y la generación de modelos predictivos de localización idónea (Malczewski, 2006).

Para el presente estudio el análisis a nivel provincial resulta de gran importancia en este estudio debido a que las competencias y responsabilidades del COE-P

deben atender a la mayor cantidad de gente en los distintos cantones de la provincia.

Las emergencias y desastres no conocen de fronteras administrativas; una inundación en la cuenca alta del río Daule afecta a los cantones ribereños y eventualmente a la gente de Guayaquil; otro ejemplo pasa con los incendios forestales en la cordillera Chongón-Colonche, los cuales pueden comprometer varias parroquias rurales; un accidente tecnológico en un poliducto puede tener efectos en cadena sobre varios cantones.

El evaluar la provincia en su conjunto permite identificar ubicaciones estratégicas y cercanas a todos los cantones. De este modo se garantiza que los tiempos de respuesta sean los mejores y que la infraestructura crítica no quede sesgada hacia un solo sector. Al analizar las capas de información provincial como la red vial estatal, amenazas naturales, cuencas hidrográficas, áreas protegidas, es importante verificar las escalas adecuadas (1:25.000 a 1:50.000) para un análisis fundamentado (IGM, 2023).

La disponibilidad de información geoespacial actualizada y estandarizada proveniente de fuentes oficiales como el IGM, MAG, SNGRE, MAATE, INEC, ARCONEL, GAD DE GUAYAQUIL, las cuales han permitido construir un modelo multicriterio robusto y que puede ser reproducible.

Cada capa temática aporta su respectiva dimensión al análisis: por ejemplo, la red vial define la accesibilidad, las capas de amenazas naturales de inundaciones e incendios establecen las zonas de obligatoria exclusión por seguridad, la información de uso de suelo y restricciones ambientales ayudan a dar cumplimiento normativo mientras que la densidad poblacional orienta la cobertura por temas de concentración demográfica.

Por otro lado, la infraestructura energética asegura la operatividad continua de servicios en la provincia del Guayas. La integración de todas estas variables mediante técnicas de evaluación multicriterio permite superar enfoques sesgados y no socializados, basándose principalmente en un índice de idoneidad que refleja la complejidad del territorio y las múltiples condicionantes para un COE-P (Rikalovic et al., 2014).

En Ecuador, la planificación e implementación de infraestructura pública ha estado influenciada y condicionada por decisiones administrativas y políticas, sin una base o sustento técnico, por consiguiente, derivaba en proyectos con restricciones operativas.

El presente trabajo propone una orientación y enfoque de planificación territorial basada y sustentada en evidencia geoespacial, donde la toma de decisiones se fundamenta en análisis cuantitativos, procesos de análisis espacial y cartografía temática. Con base en el análisis de información geoespacial disponible a escala provincial y cantonal, mejorando la selección y localización del COE-P, estableciendo simultáneamente un precedente metodológico que puede ser replicado en futuros proyectos de infraestructura a nivel nacional.

5.1 Accesibilidad a Vialidad Estatal - Provincia de Guayas

El mapa de la red vial estatal de la provincia del Guayas presenta la infraestructura vial primaria y secundaria que conecta los centros poblados, zonas productivas y nodos logísticos del Guayas. La red vial estatal en Guayas se muestra en ejes troncales como la E25 (Troncal de la Costa), que conecta de norte a sur desde Quevedo hasta El Oro, la E40 (Quevedo-Manta) la cual articula el flujo hacia la costa central, y la E48, o más conocida como “Vía a

Daule”, que conecta Guayaquil con el norte provincial. De la misma manera, se observa una densa red de vías secundarias que penetran en las zonas agrícolas de los cantones aledaños a Guayaquil, esta red facilita el transporte de productos hacia los centros de acopio y procesamiento.

Mediante un análisis espacial se evidencia a los cantones del norte (Daule, Balzar, El Empalme) y del sur (Milagro, Yaguachi, Naranjal) muestran una conexión y distribución con condiciones favorables de la red vial; por otro lado, la zona central que corresponde al área urbana de Guayaquil, la misma que concentra la mayor red vial urbana y por ende existe mayor congestión vehicular, sobre todo en las horas pico y en accesos como los de la vía perimetral, la avenida Carlos Julio Arosemena y la vía Daule. Adicionalmente, los lugares con menor accesibilidad se sitúan principalmente en zonas alejadas de las principales vías de comunicación, fundamentalmente en la península de Santa Elena, situado en el límite occidental, así como en las derivaciones de la Cordillera Chongón-Colonche.

En el proceso de instalación óptima del COE-P, el acceso a la red vial estatal establece un criterio fundamental, por lo que, garantiza la capacidad de movilización adecuada de recursos humanos y logísticos hacia cualquier lugar de la provincia en escenarios de emergencia.

Para el presente análisis las zonas con mayor idoneidad serán aquellas ubicadas a menos de 500 metros de vías estatales principalmente, permitiendo un acceso rápido a los ejes troncales/secundarios sin necesidad de largos desplazamientos por vías de mala calidad. Este criterio ha sido ponderado con un 40% dentro de la categoría de Accesibilidad (30% del modelo total), reflejando su importancia estratégica para la operatividad del centro.

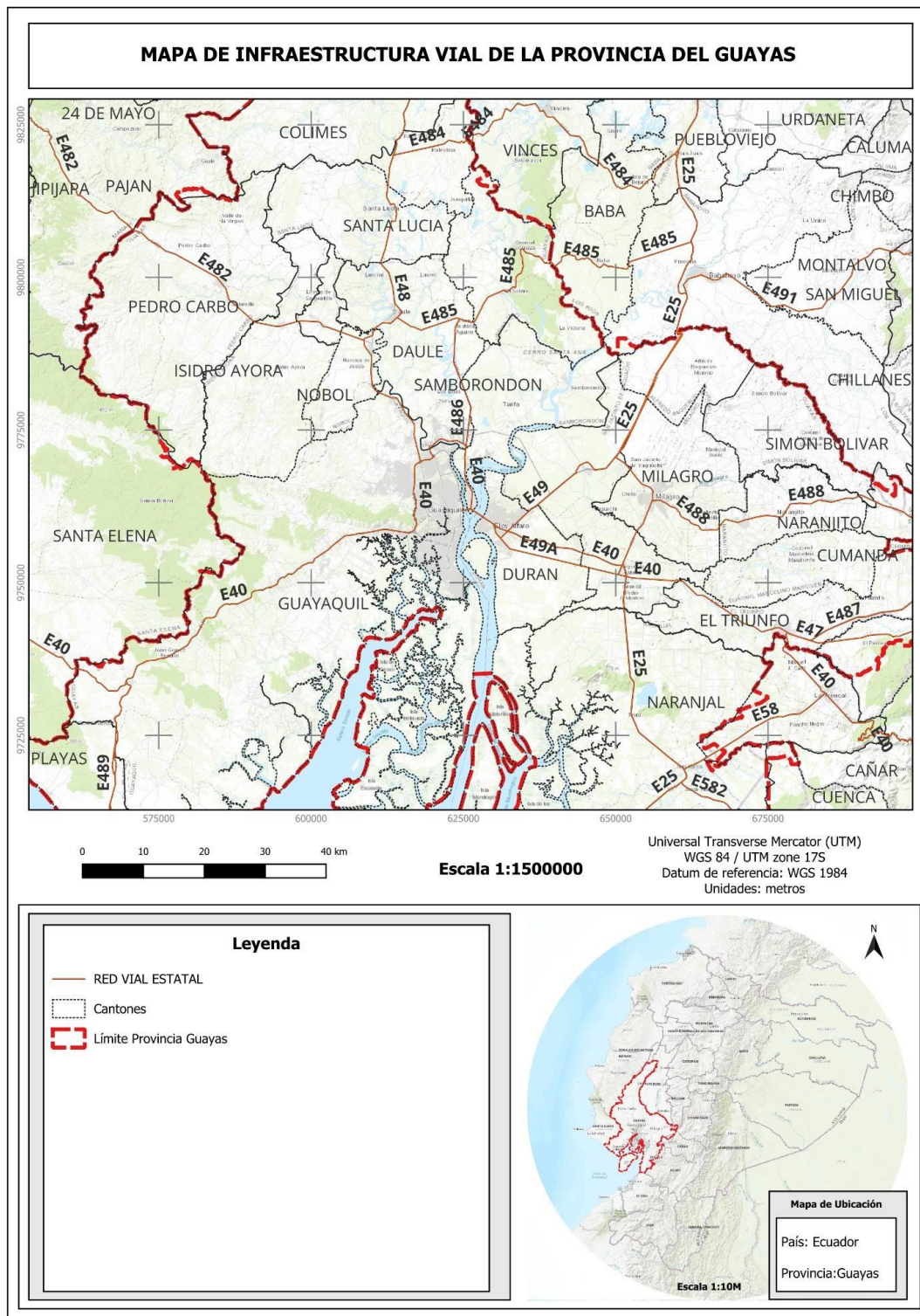


Imagen 2. Mapa de Accesibilidad a Vialidad Estatal - Provincia de Guayas

5.2 Infraestructura de Salud, Educación y Seg. - P.Guayas

También se ha analizado la proximidad a infraestructura crítica de respuesta y de atención (salud, educación y seguridad). Esto constituye un factor clave para la operatividad del COE-P, pues estas instituciones son convocadas permanentemente durante las emergencias y usualmente se las necesita como centros de acopio, albergues temporales o puntos de coordinación y asistencia.

El mapa fue realizado utilizando información georreferenciada correspondiente a ubicaciones específicas, los mismos que fueron proporcionados por el Ministerio de Salud Pública, el Ministerio de Educación y la Policía Nacional, correspondientes a escuelas, colegios, hospitales, centros de salud, cuarteles de bomberos y unidades de policía comunitaria (UPC). A partir de estas entidades puntuales, se generaron áreas de influencia (buffers) de 1 kilómetro, con el fin de delimitar áreas de influencia directa, considerando que dicha distancia beneficia una apropiada articulación entre el COE-P y las instituciones apreciadas.

La zona metropolitana de Guayaquil reúne la mayor cantidad de infraestructura crítica de la provincia. En contraste, los cantones rurales como El Empalme, Naranjal, Balzar, y Balao muestran menor capacidad de infraestructura estratégica, lo que demanda que el Centro de Operaciones de Emergencia (COE-P) priorice estrategias puntuales para responder ante eventualidades críticas que puedan suscitarse. Desde esta perspectiva, las zonas con mayor nivel de idoneidad espacial según este criterio se ubican en los anillos periurbanos de Guayaquil.

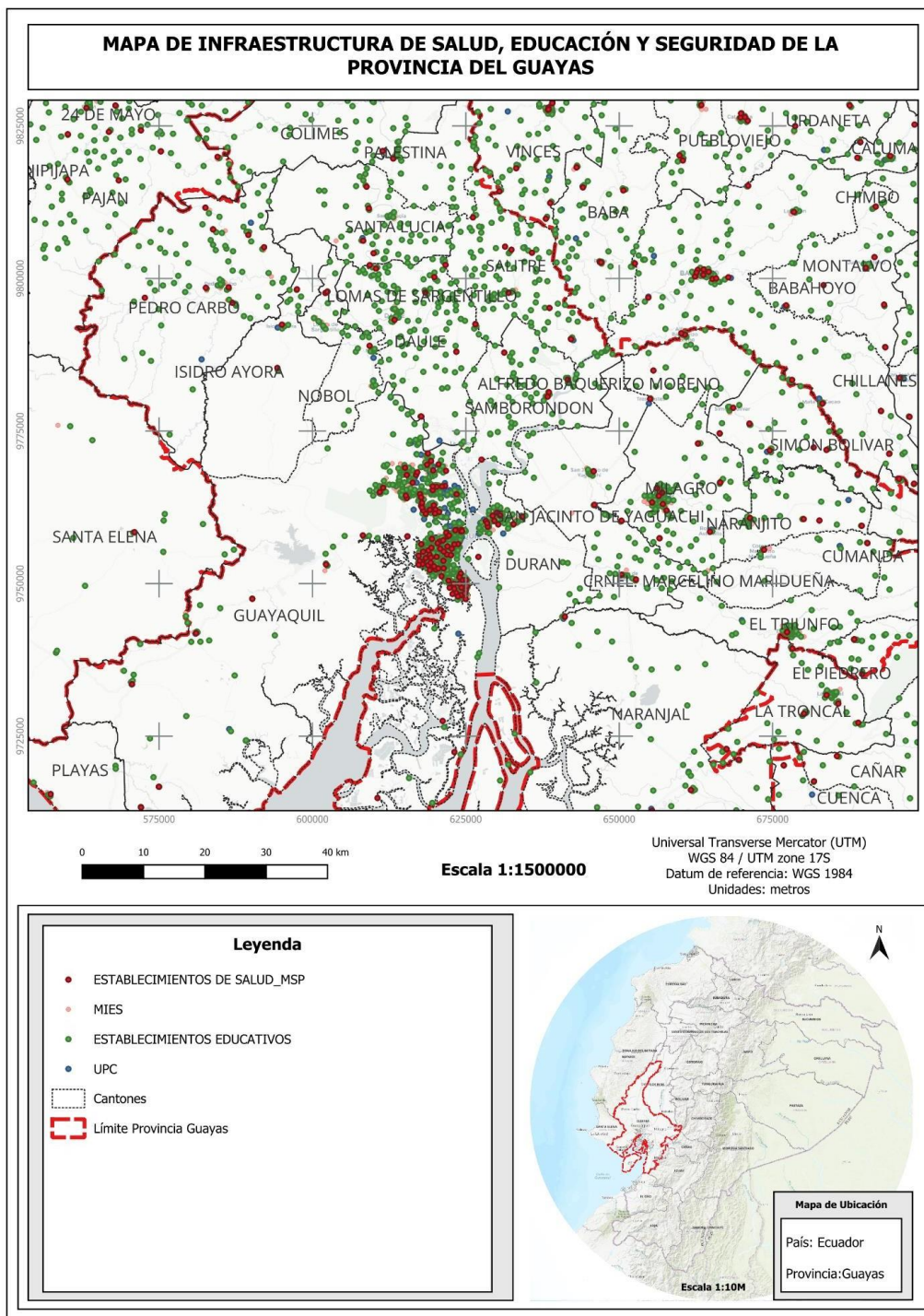


Imagen 3. Mapa de Infraestructura de Salud, Educación y Seguridad - Provincia del Guayas

5.3 Infraestructura Energética - Provincia de Guayas

La accesibilidad rápida del COE-P durante situaciones de emergencia hacia instalaciones de suministro energético es de gran importancia. Esta cercanía a infraestructura energética estratégica fue incorporada como una categoría independiente con un peso del 20% en el modelo. El mapa base de análisis se elaboró a partir de la capa de poliductos proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) y Petroecuador, que corresponde al sistema de transporte de combustibles que atraviesa la provincia desde el Terminal Marítimo de La Libertad (Santa Elena) hasta el Terminal de Pascuales y continúa hacia el norte (Quevedo, Santo Domingo) y hacia el sur (Machala). Sobre esta infraestructura, se generó un buffer de 10 kilómetros que define las zonas con acceso de atención garantizada antes eventualidades en infraestructura de combustible.

El análisis espacial permite identificar el trazado del poliducto, el mismo que ingresa a la provincia por el sector occidental, atravesando los cantones de Guayaquil (parroquia Pascuales), Nobol, Duran y Daule, posteriormente continua su recorrido dirigiéndose hacia el norte, atravesando los cantones de Balzar y El Empalme.

Es importante destacar que el modelo no considera la proximidad excesiva (por ejemplo, menos de 500 metros) como un factor positivo, esto porque por lo general este tipo de infraestructura tiene un área de amortiguamiento donde la población no se puede asentar y la prioridad del COE-P es atender principalmente a la población; en este tipo de situaciones la categorización binaria adoptada (1 dentro del buffer, 0 fuera) resulta adecuada para el nivel de análisis provincial.

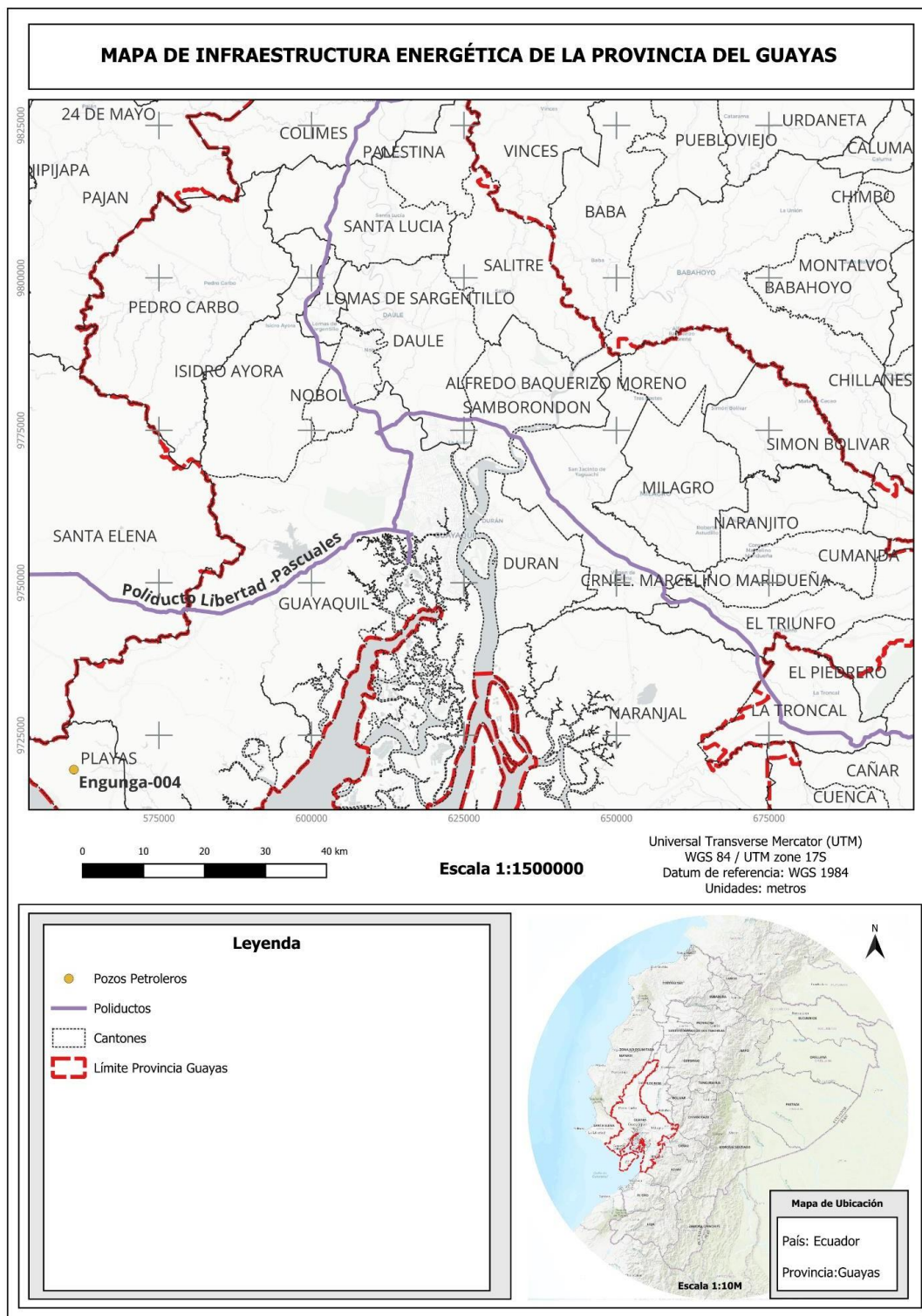


Imagen 4. Mapa de Infraestructura Energética - Provincia de Guayas

5.4 Densidad Poblacional - Ciudad de Guayaquil

Identificando la densidad poblacional en la ciudad de Guayaquil resulta indispensable comprender la necesidad potencial de servicios de emergencia donde la presencia del COE-P tendría mayor impacto.

El mapa fue elaborado utilizando información del Censo de Población y Vivienda 2022 del Instituto Nacional de Estadística y censos (INEC), clasificados mediante categorías de densidad poblacional: baja, media, alta y muy alta. El análisis espacial evidencia que las mayores concentraciones poblacionales se concentran principalmente en las parroquias urbanas del centro y norte de Guayaquil, así como en sectores urbanos consolidados al sur; en contraste con lo anterior, las áreas de menor densidad poblacional se concentran en zonas periurbanas en expansión y en sectores destinados a conservación ecológica o industriales.

Al ver el mapa es lógico identificar una correlación directa entre la densidad poblacional y la necesidad de cobertura de emergencias: las zonas más densamente pobladas concentran la mayor parte de los llamados al ECU-911 por ejemplo. Sin embargo, también son las áreas con mayor congestión vial, conflictos de uso de suelo y restricciones para nueva infraestructura. Por esta razón, el modelo multicriterio incorpora un buffer de 5 kilómetros desde las zonas de alta y muy alta densidad poblacional, ponderado al 10% dentro de la categoría de accesibilidad; esto busca equilibrar la necesidad de cercanía a la demanda poblacional con la viabilidad técnica de la ubicación con el fin de garantizar los mejores tiempos de respuesta.

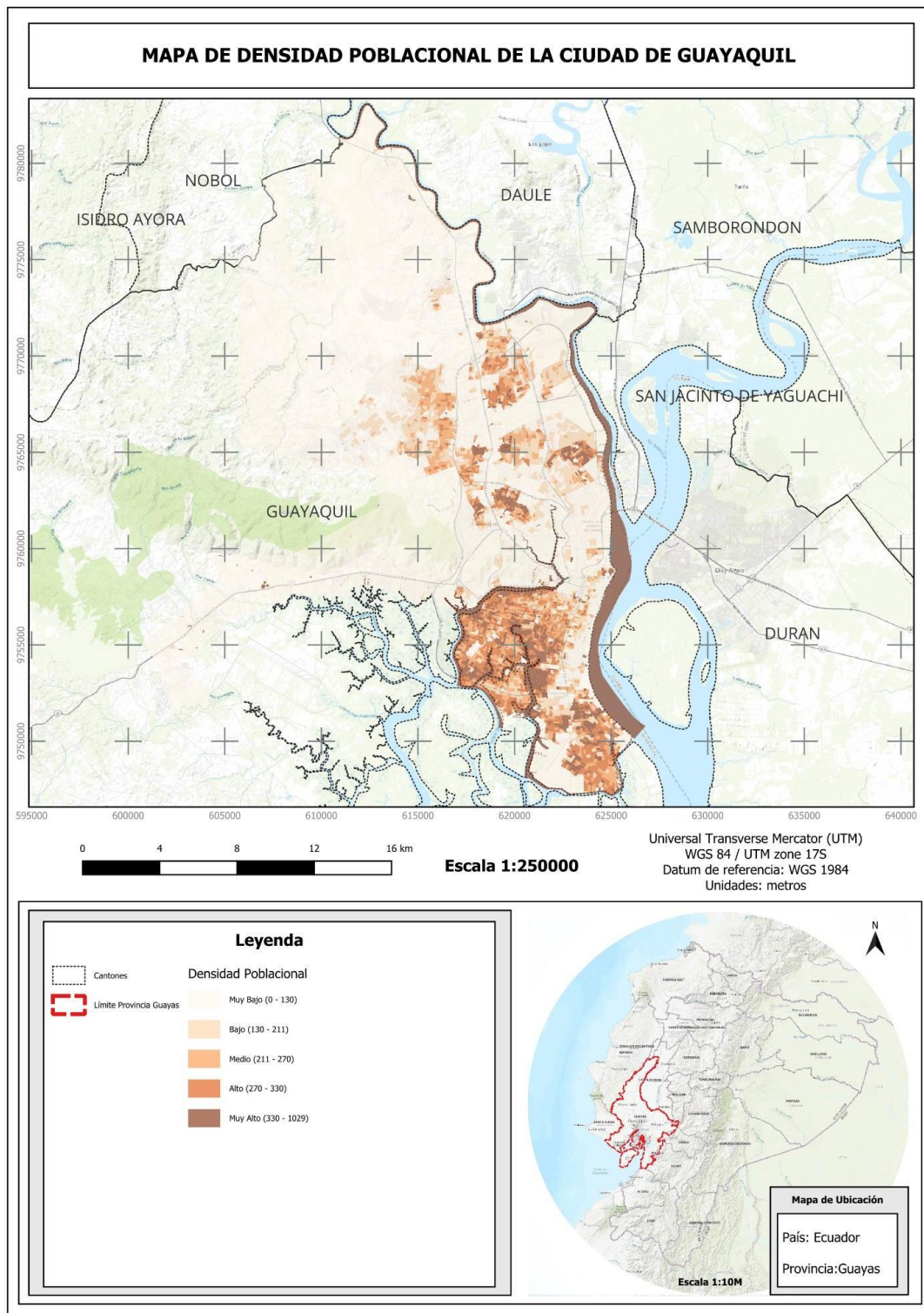


Imagen 5. *Mapa de Densidad Poblacional - Ciudad de Guayaquil*

5.5 Uso de Suelo - Ciudad de Guayaquil

El mapa de uso de suelo de la ciudad de Guayaquil, elaborado a partir del catastro del GAD Municipal y del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) actualizado, constituye una herramienta muy importante para identificar las áreas con vocación compatible para la instalación de infraestructura institucional como el COE-P.

La clasificación en el mapa tiene por objetivo diferenciar el uso residencial, comercial, industrial, equipamientos (salud, educación, seguridad), áreas verdes y protección ecológica, mixto y otros. Para efectos del análisis multicriterio, se reclasificaron estas categorías asignando valor 1 (idóneo) a las zonas de equipamientos, uso mixto y zonas de expansión urbana no consolidadas ideales para la construcción de este tipo de proyectos; valor 0 (no idóneo) a las zonas residenciales consolidadas, áreas industriales pesadas y zonas de protección ecológica estricta donde no se permitiría construir edificaciones robustas como un COE-P.

La cartografía analizada muestra una estructura urbana de tipo radial-concéntrica, en la que el centro histórico y comercial constituye el núcleo urbano principal, rodeado por una estructura residencial con distintos niveles de densidad y, en las áreas periféricas, por una diversidad de usos que incluye áreas industriales, sectores de crecimiento urbano y espacios de protección ecológica.

Según nuestros análisis las zonas con mayor idoneidad según el criterio de los ejes de crecimiento planificado son los sectores aledaños a la Vía a Daule y en la Vía a la Costa, donde el PUGS prevé la consolidación de nuevos equipamientos metropolitanos. Es importante destacar que el modelo excluye explícitamente las zonas residenciales consolidadas.

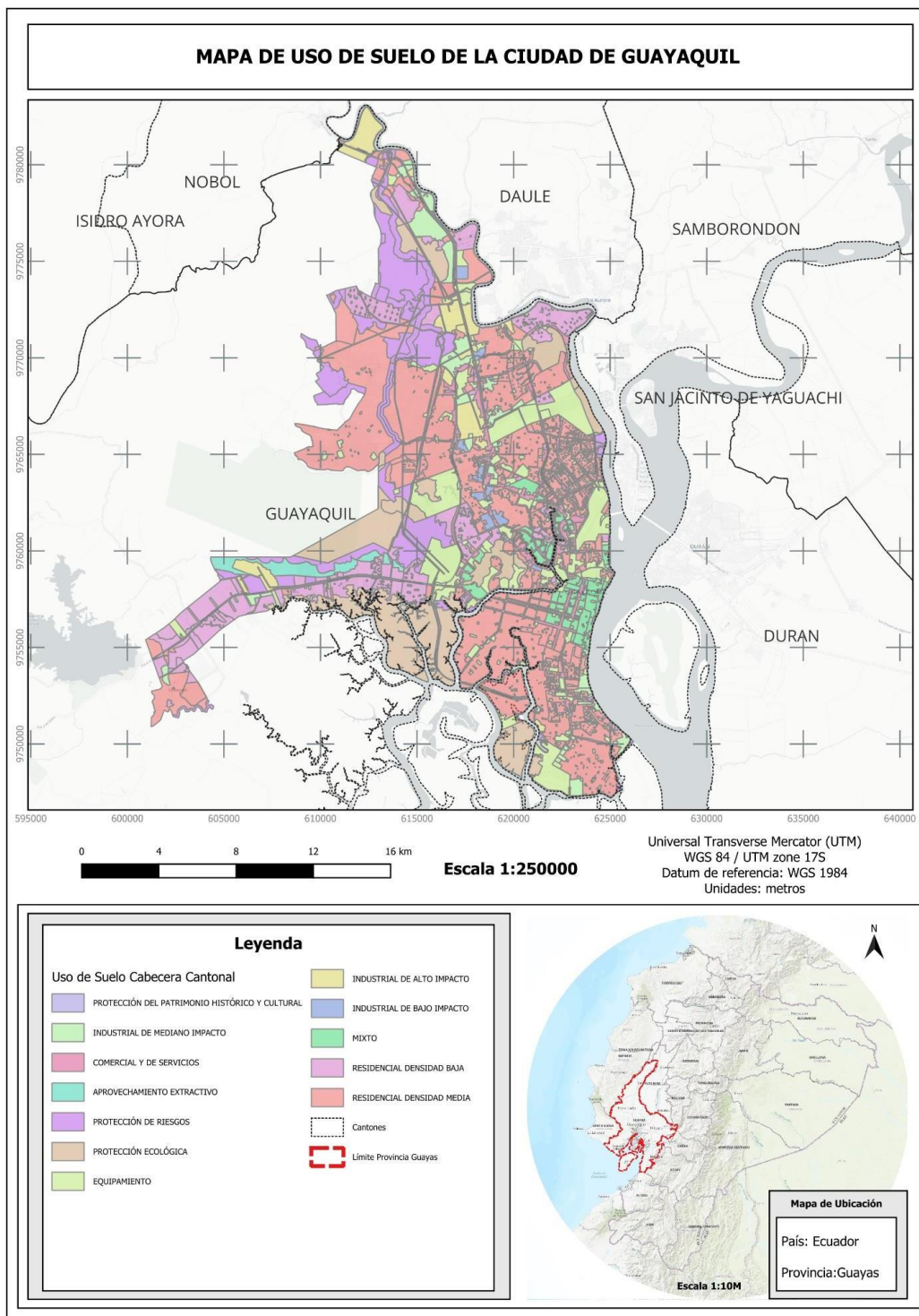


Imagen 6. *Mapa de Uso de Suelo - Ciudad de Guayaquil*

5.6 Cobertura de Tierra - Ciudad de Guayaquil

Aunque parecida, la capa de cobertura de tierra proporciona información complementaria al uso de suelo, enfocándose en la descripción biofísica del territorio más que en su destino normativo. Elaborada a partir de imágenes satelitales por el IGM y el MAATE, esta capa clasifica el territorio en categorías como: superficie impermeable (construcciones, vías, áreas pavimentadas), suelo desnudo, vegetación herbácea, vegetación arbustiva, bosque, cuerpos de agua y humedales.

En el modelo multicriterio, la incorporación de esta capa fue esencial en la identificación de áreas naturales con potencial ecológico, pudiendo representar restricciones ambientales que no están contempladas en la clasificación normativa del uso de suelo, mostrando información para la evaluación de alternativas potenciales para el (COE-P).

La zona urbana de Guayaquil se identifica por tener una alta proporción de superficies impermeables, situadas principalmente en el centro, norte y sur de la ciudad, esta situación revela una disponibilidad limitada de suelo disponible para el emplazamiento de la infraestructura del (COE-P). Por el contrario, las zonas de expansión urbana exponen una combinación de suelo desnudo, vegetación herbácea y algunos parches de bosque seco intervenido, lo que permite identificar la existencia de áreas potencialmente disponibles para nuevos desarrollos, condicionados a someterse a estudios ambientales. Las áreas de humedal y manglar ubicadas en el estuario del Golfo de Guayaquil, fueron clasificadas como áreas de exclusión absoluta a su alto valor ecológico y su régimen de protección legal.

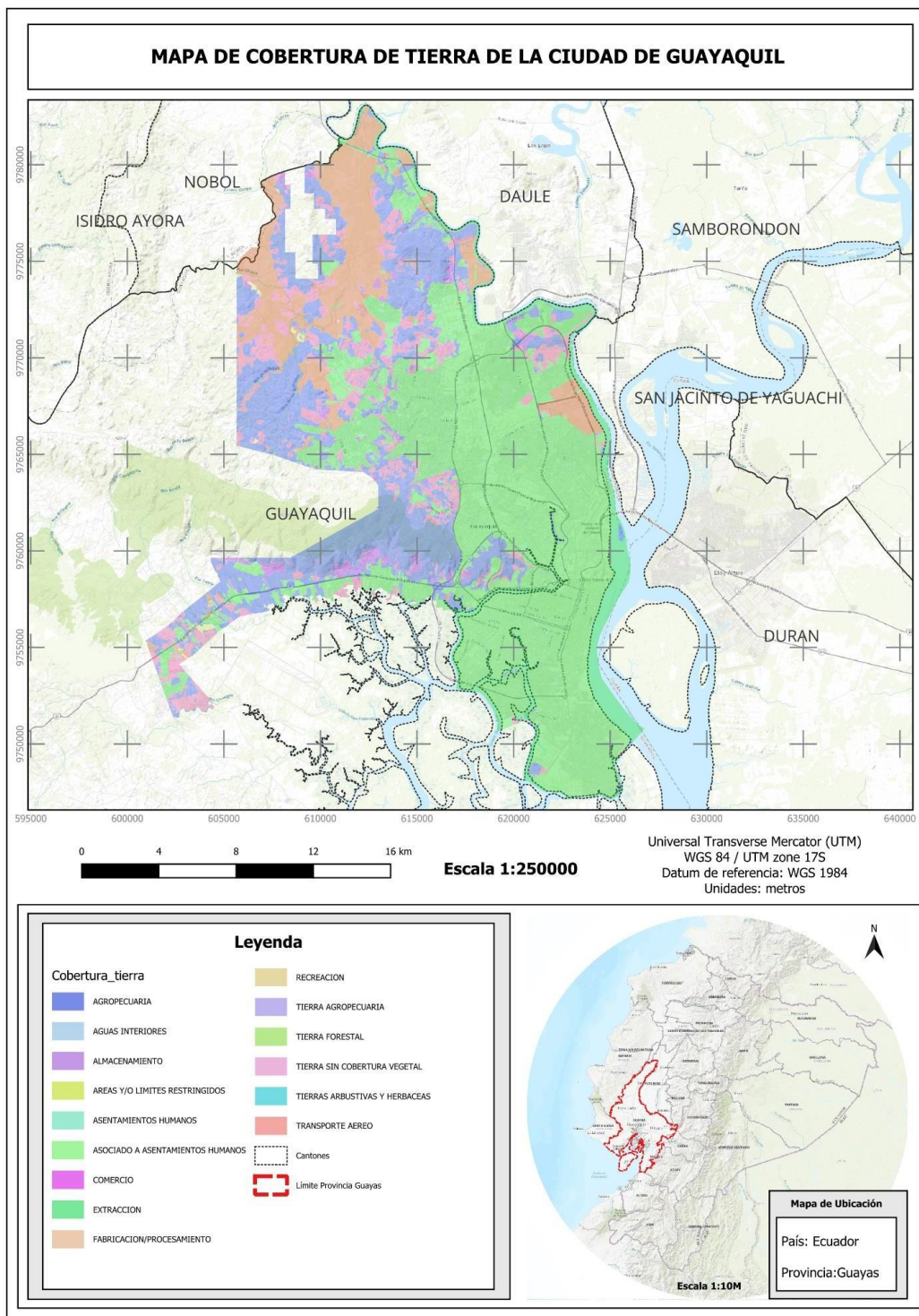


Imagen 7. Mapa de Cobertura de Tierra - Ciudad de Guayaquil

5.7 Capacidad de Uso de Tierra - Ciudad de Guayaquil

La capacidad de uso de la tierra describe la aptitud natural del suelo para soportar diferentes tipos de intervención sin degradarse. Las clases varían desde I (suelos con capacidad muy alta, sin limitaciones) hasta VIII (suelos sin capacidad productiva, solo para protección).

Las observaciones resultantes durante el análisis de idoneidad del COE-P resultaron de carácter básico para identificar zonas con limitaciones o que implican restricciones ambientales.

En el análisis cartográfico se muestra una predominancia de suelos clasificados como II, III y IV en las zonas planas de la cuenca baja del río Guayas, correspondientes a los cantones Samborondón, Daule, Nobol, así como las áreas destinadas a uso agrícola de Guayaquil.

Algunas zonas fueron reclasificadas como no idóneas en el modelo y por estar sujetas a restricciones, sobre todo las de limitaciones muy fuertes y de conservación.

La combinación de este tipo de capas en el modelo multicriterio permite optimizar la selección de alternativas, prevaleciendo las que están ubicadas en suelos con capacidad al menos moderada, que puedan asegurar el cumplimiento de condiciones normativas favorables para el establecimiento de un COE-P.

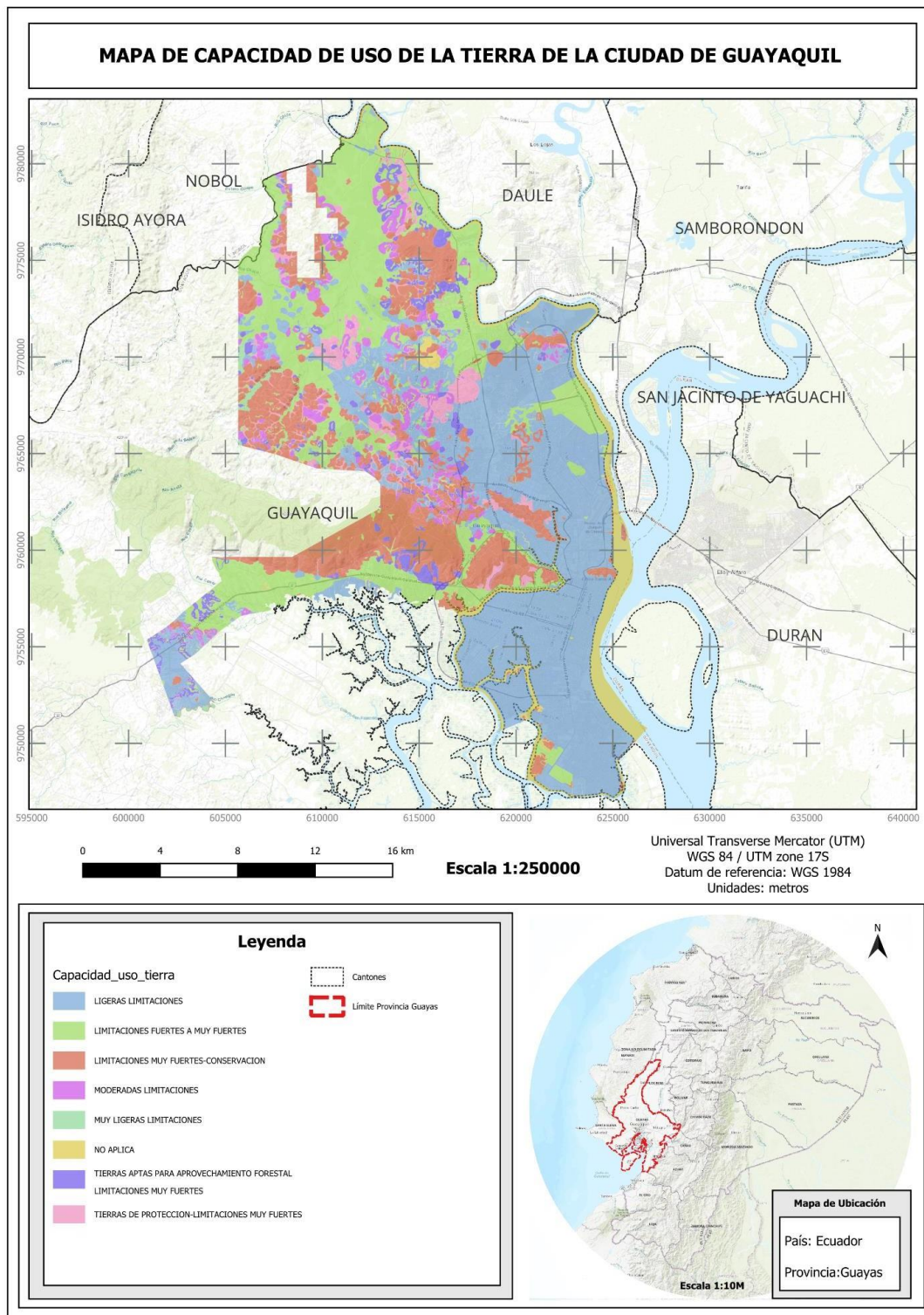


Imagen 8. Mapa de Capacidad de Uso de Tierra - Ciudad de Guayaquil

5.8 Conflictos en Zonas de Expansión - Ciudad de Guayaquil

Uno de los hallazgos más relevantes del análisis de información urbana fue la identificación de zonas de expansión con conflictos de uso o sobreutilización. El Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) de Guayaquil clasifica las áreas de expansión urbana según su nivel de consolidación y capacidad de soporte, identificando sectores que han superado su capacidad óptima o que presentan conflictos entre el uso actual y el uso previsto, por ejemplo: asentamientos informales en zonas de protección, industrias en zonas residenciales, etc.

Estas áreas identificadas, debido a que no son viables técnicamente y normativa, fueron integradas al modelo como restricciones absolutas, lo que significa que estas áreas se les asigna un valor de idoneidad nula o cero, debido a que no es posible la implementación de un COE-P.

La restricción aplicada a estas áreas asegura que las opciones identificadas no solo sean viables técnicamente, sino que además respondan y cumplan con requerimientos de conformidad legal y compatibilidad con el entorno social, reduciendo la probabilidad de riesgos de conflicto territorial, que pueda comprometer la implementación de COE-P.

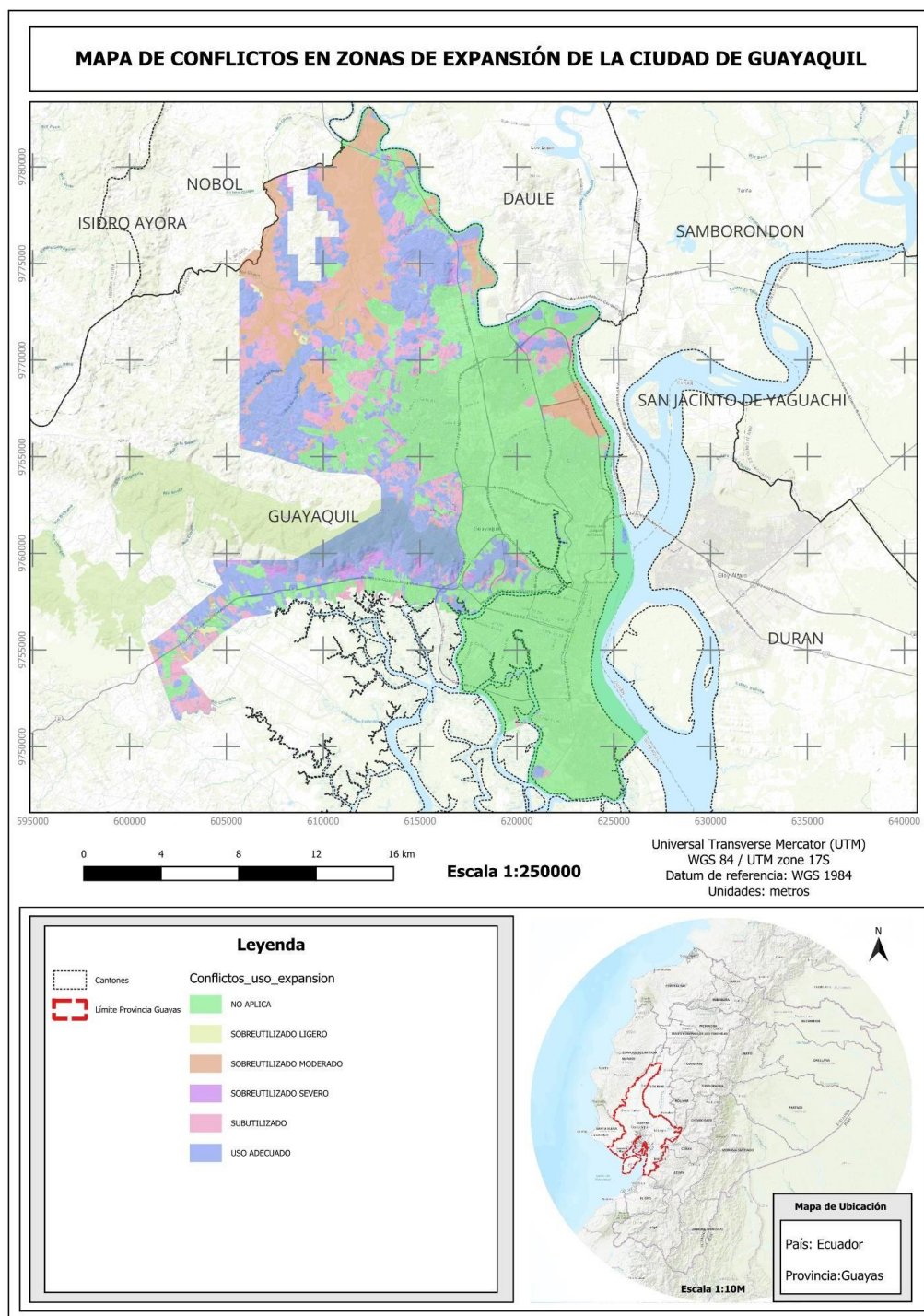


Imagen 9. Mapa de Conflictos en Zonas de Expansión - Ciudad de Guayaquil

5.9 Riesgos - Ciudad de Guayaquil

La evaluación de amenazas naturales constituye el principal pilar, por no decir el más importante dentro del modelo multicriterio, con una ponderación del 25% en la categoría de seguridad.

El mapa de riesgos de la ciudad de Guayaquil, elaborado a partir de las capas de zonificación de amenazas del SNGRE y estudios complementarios de inundaciones e incendios forestales, integra las principales amenazas que en un futuro deberá atender un COE-P:

- i) Inundaciones por desbordamiento de ríos y por acumulación de aguas lluvias en zonas urbanas
- ii) Incendios forestales en las estribaciones de la cordillera Chongón-Colonche, especialmente en épocas de estiaje;
- iii) Movimientos en masa en zonas de pendiente
- iv) Amenazas tecnológicas por proximidad a poliductos, terminales de combustibles e industrias químicas.

Dentro del modelo multicriterio, se procedió a la reclasificación de estas capas otorgando un valor de 1, proporcionado a las zonas de idoneidad fuera de influencia de amenazas y, valor cero (no idóneo) a las áreas que se encuentran en zonas de amenaza media, alta y muy alta, sin considerar su proximidad a otros criterios positivos. Esta decisión metodológica asegura que el COE-P no sea ubicado en zonas donde su operación podría verse afectada por las mismas amenazas que debe gestionar.

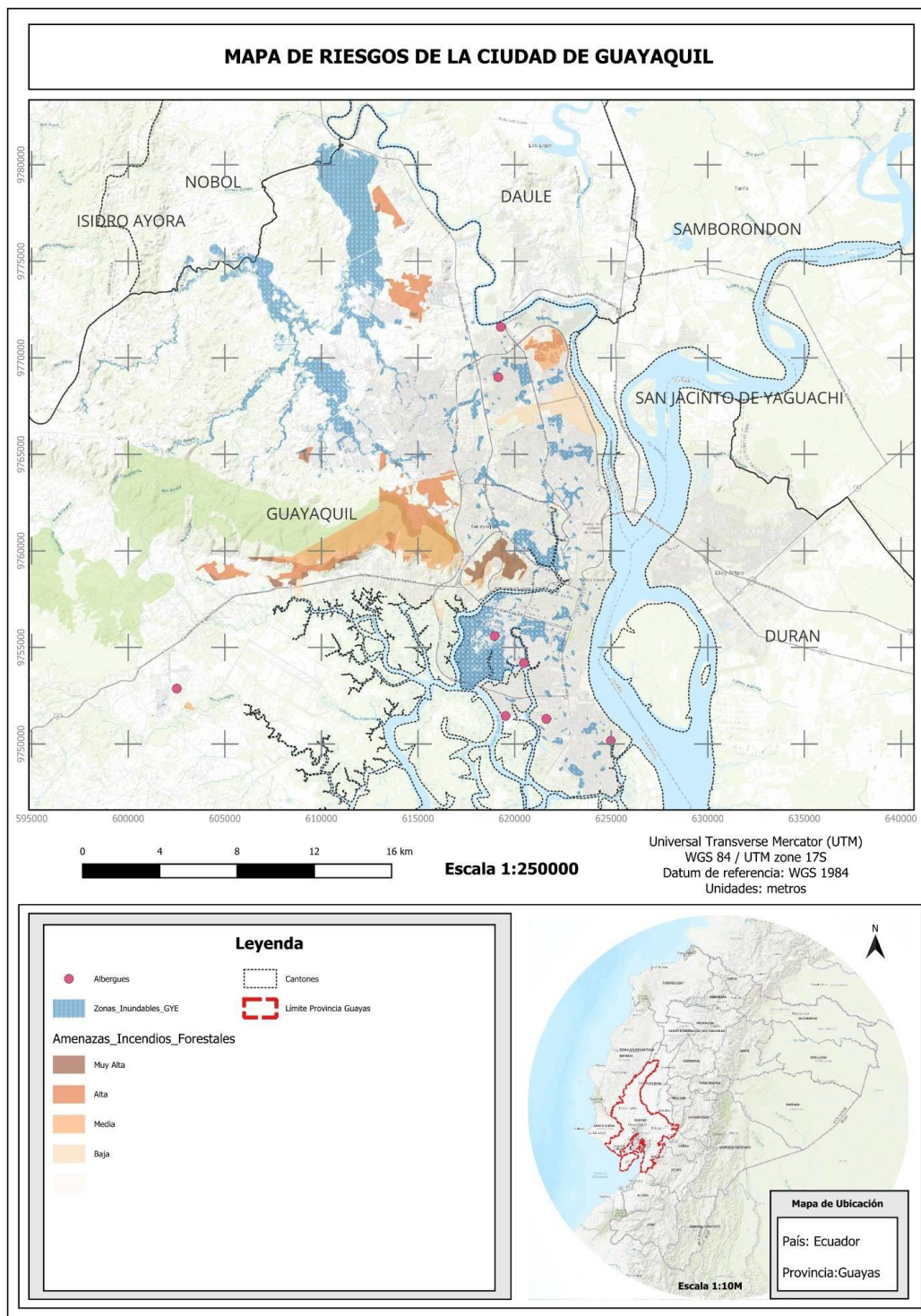


Imagen 10. Mapa de Riesgos - Ciudad de Guayaquil

5.10 Ejes de Comunicación - Ciudad de Guayaquil

El mapa de ejes de comunicación de la ciudad de Guayaquil complementa el análisis de accesibilidad provincial al detallar la red vial urbana y metropolitana, incluyendo vías arteriales, colectoras, autopistas urbanas y ejes de conectividad estratégica como la Vía Perimetral, la Avenida Francisco de Orellana, la Avenida Juan Tanca Marengo, la Vía a Daule y la Vía a la Costa.

Utilizando esta red como referencia, se definió un área de influencia de 500 metros, para determinar las zonas con acceso inmediato a la red metropolitana, definidas por la presencia y mayor concentración de infraestructura institucional, servicios y flujos de movilidad.

El análisis espacial permite identificar los ejes de comunicación mas relevantes desde una perspectiva estratégica para el COE-P, siendo aquellos que articulan el área metropolitana con el resto de la provincia, entre los que destacan: la vía Perimetral, la vía a la Costa, la autopista Guayaquil-Duran, la vía Daule y el puente de la Unidad Nacional.

Las zonas con mayor aptitud de acuerdo a este criterio se localizan en los puntos de intersección de estos ejes, con mayor incidencia en los sectores de La Aurora, el aeropuerto y el sector de Chongón. Estas áreas integran condiciones optimas de accesibilidad metropolitana y disponibilidad del suelo y menores niveles de conflicto urbano, consolidándose como las opciones mas favorables para la localización del COE-P.

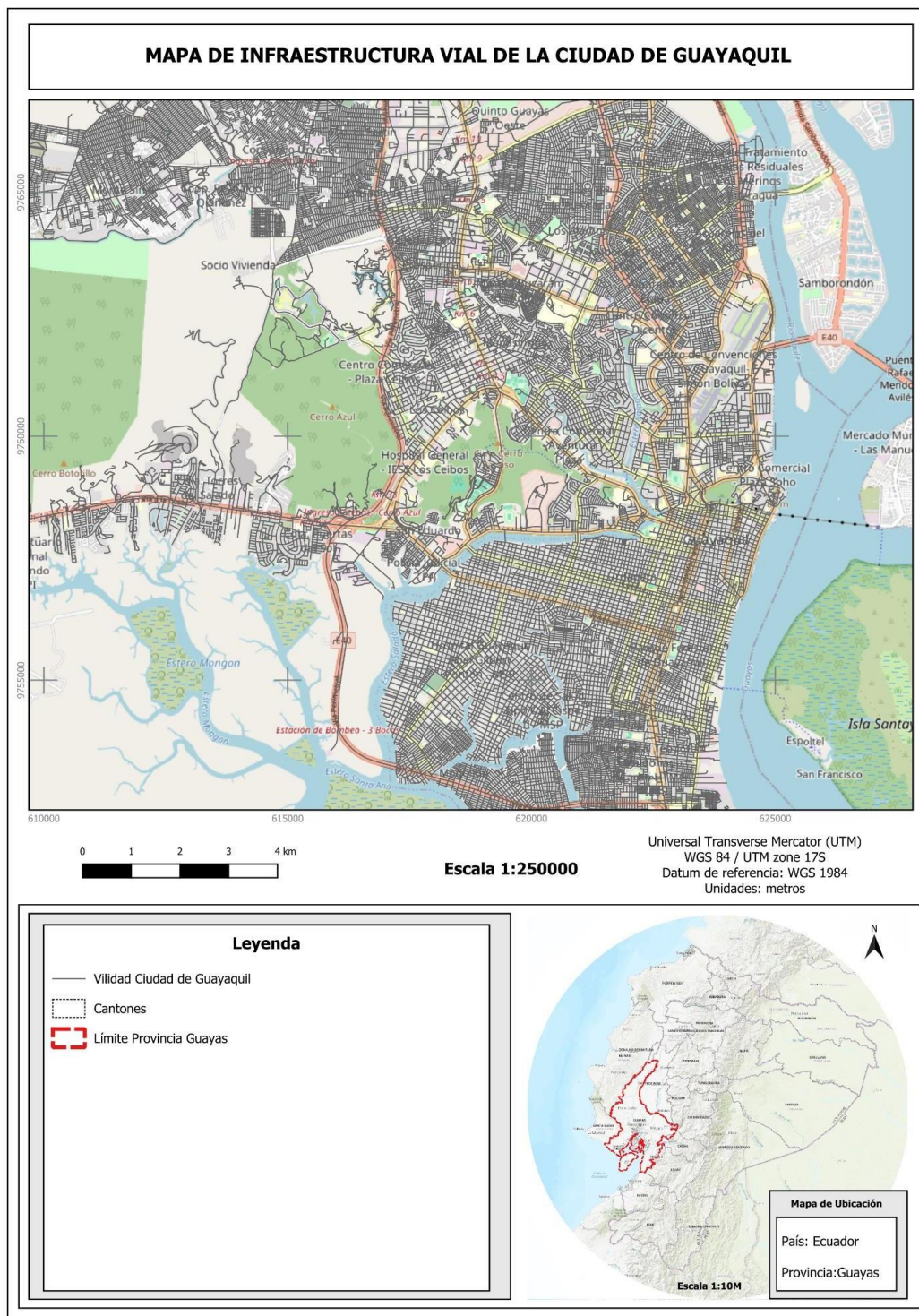


Imagen 11. Mapa de Ejes de Comunicación - Ciudad de Guayaquil

6 Procesamiento y Estandarización de Capas

Todas las capas fueron proyectadas al sistema de coordenadas UTM WGS 84 zona 17S (EPSG:32717) para garantizar mediciones precisas en metros. La extensión de las capas ráster corresponde al límite de la provincia de Guayas y con un tamaño de celda de 30m x 30 m. A continuación, se muestra el paso a paso de proceso en software de Sistemas de Información de código abierto QGIS:

Tabla 2. Metodología de Procesamiento

Proceso	Herramienta QGIS	Módulo
1. Proyección de capas	Reproject layer	GDAL
2. Creación de buffers	Buffer	Vector Geometry
3. Conversión vector a ráster	Rasterize	GDAL
4. Reclasificación	Raster calculator	Raster
5. Álgebra de mapas (modelo final)	Raster calculator	Raster
6. Extracción de zonas óptimas	Selection by Location	Vector Geometry

6.2 Generación de Buffers y Capas Binarias (Idoneidad/No Idoneidad)

Si bien se reconoce que las isócronas de tiempo real de desplazamiento, basadas en velocidad de la vía, ofrecen un modelo de accesibilidad más preciso, su construcción requiere datos de límites de velocidad y condiciones de

tráfico que no estaban disponibles de manera homogénea y oficial para toda la provincia. En consecuencia, para este estudio se utiliza el análisis de buffers de distancias como un indicador de aproximación válida y reproducible de forma metodológica para la planificación de este tipo de infraestructura. Este enfoque, se fundamenta en una correlación directa entre proximidad espacial y accesibilidad operativa durante escenarios de emergencia.

La conversión de variables geoespaciales en formato ráster binario (1 = apto; 0 = no apto) se establece como el componente central de la metodología de evaluación multicriterio. Esta estandarización, ejecutada mediante la herramienta (Feature to Raster) y mediante procesos de reclasificación en QGIS, lo cual permite que todos los criterios, sin importar su naturaleza (distancia euclidiana, categorías temáticas, áreas de exclusión), permita su integración y sean comparables en una escala estandarizada de aptitud territorial.

La atribución del valor 1 no corresponde únicamente a la presencia del elemento analizado, sino el cumplimiento de umbrales técnicos previamente establecidos, alineados con la normativa vigente, estándares de ingeniería para infraestructura crítica, junto con criterios de planificación territorial avalados por instituciones rectoras como el IGM, MAG, SNGRE, MAATE y los GAD municipales. Por ejemplo, el buffer de 500 metros realizado a las vías estatales corresponde a criterios técnicos asociados a dar respuesta operativa; este umbral se fundamenta en estudios de movilidad para dar respuesta inmediata ante emergencias. De la misma forma, el buffer de 10 kilómetros definido alrededor del poliducto facilita identificar zonas con potencial de respuesta oportuna por parte de (COE-P) favoreciendo la coordinación entre entidades responsables encargadas de la operación y seguridad del transporte de hidrocarburos.

Mediante la clasificación binaria, para la asignación del valor (0) a las condiciones establecidas que no cumplen, lo que funciona como un filtro de exclusión preventiva dentro del modelo, las mismas que son restricciones legales, ambientales y técnicas, excluyendo de manera temprana del análisis. Esta estrategia metodológica evita zonas con incompatibilidades para el proyecto, como las zonas de protección ecológica de manglar, zonas de expansión urbana sobreutilizadas, sectores de amenaza por inundaciones, incendios forestales. De esta manera, se prevé la generación de recomendaciones inviables y se garantiza que las alternativas identificadas cumplan con los criterios establecidos para este proyecto.

La asignación de un valor cero (0) a las áreas que no son viables, actúa como un dispositivo de exclusión, el mismo que anula cualquier posibilidad de idoneidad futura, lo que garantiza que las alternativas finales no solo sean óptimas en función de los criterios técnicos evaluados dentro del modelo multicriterio, sino también factibles en el ámbito legal, sostenibles desde una perspectiva ambiental y socialmente aceptables.

El modelo de exclusión temprana, en combinación con la máscara de restricciones absolutas en la etapa final del modelo, configura un mecanismo de doble validación metodológica que asegura la consistencia del análisis frente a sesgos y permite asegurar que las áreas clasificadas correspondientes a la categoría de muy alta idoneidad (0.74 – 1.00) representen las soluciones más idóneas para la localización del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial de Guayas.

Tabla 3. Criterios de Idoneidad

Capa	Criterio de Idoneidad (Valor 1)	Justificación Técnica
Raster_Buffer_500m_Vialidad_Estatal_Guayas	Distancia \leq 500 m a vía estatal	Acceso rápido a red vial principal para movilización de recursos
Raster_Buffer_500m_Ejes_de_Comunicación_GYQ	Distancia \leq 500 m a ejes viales urbanos de Guayaquil	Conectividad con el área metropolitana, mayor concentración de instituciones
Raster_Buffer_1km_Establecimientos_de_Salud_y_Educación_Guayas	Distancia \leq 1 km a centros de salud o educación	Proximidad a infraestructura crítica de respuesta y posibles centros de acopio
Raster_Buffer_5km_Densidad_Poblacional_Media_Alta_Muy_Alta_GYQ	Distancia \leq 5 km a zonas de alta densidad poblacional	Cobertura a población demandante de atención en emergencias
Raster_Buffer_5km_Zonas_Inundables_Guayas	Fuera de zona inundable (1 = zona segura)	El COE no debe ubicarse dentro de áreas propensas a inundaciones
Raster_Buffer_1000m_Amenazas_Media_Alta_Muy_Alta_Incendios_Forestales_GYQs	Fuera de zona de amenaza de incendios (1 = zona segura)	Evitar exposición a incendios que puedan afectar la operación
Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Protección_Ecológica_Manglares_Guayas	Dentro de buffer de protección (1 = zona de amortiguamiento)	Se permite infraestructura en zonas de amortiguamiento con restricciones
Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Protección_GYQs	Dentro de buffer de protección general	Zonas de transición permitidas con condicionantes
Raster_Zonas_Ligeras_Limitaciones_Uso_Tierra_GYQ	Zonas con limitaciones leves	Suelo con restricciones menores, pero técnicamente viable
Raster_Buffer_10km_Infraestructura_Energética_Guayas	Distancia \leq 10 km al poliducto	Garantiza suministro de combustible para operación continua

6.3 Capas de Restricción Absoluta (Máscara)

Se identificaron dos capas que actúan como excluyentes totales, operando como un filtro definitivo que anula cualquier valor de idoneidad proveniente de los demás criterios, independientemente de qué tan favorables sean estos.

El enfoque metodológico se sustenta en el principio de que ciertas condiciones de determinadas condiciones del territorio representan limitaciones de carácter restrictivo para la implementación de infraestructura crítica, ya sea por normativa legal explícita, por restricciones asociadas a la saturación de servicios e incompatibilidades en el uso del suelo, o por la exposición a amenazas que podría afectar la capacidad operativa del COE-P en escenarios de emergencia.

Al incorporar estas capas no como un criterio más dentro de la ponderación, sino como una máscara multiplicadora al final del modelo, se garantiza que ninguna combinación de factores positivos como lo pueden ser la excelente accesibilidad, cercanía al poliducto, baja amenaza de inundaciones, pueda "compensar" la presencia de una restricción absoluta.

De esta forma se asegura que las alternativas finales sean viables no solo desde una perspectiva multicriterio, sino también desde el cumplimiento normativo, la sostenibilidad ambiental y la factibilidad técnica real.

Tabla 4. Criterios de Restricción

Capa	Condición	Efecto en el modelo
Raster_Zonas_Restriccion_y_Tierra_Forestal_GYQ	= 0 en zonas de restricción	Excluye áreas protegidas o de vocación forestal.
Capa	Condición	Efecto en el modelo
Raster_Zonas_Conflicto_Uso_de_Expansión_Sobreutilizado_Moderado_y_Severo_GYQ	= 0 en zonas de conflicto	Excluye zonas de expansión urbana ya saturadas o con conflicto de uso.

Estas capas representan:

- Zonas de restricción forestal: Áreas protegidas, bosques protectores y tierras forestales permanentes, donde no es permitida la construcción de infraestructura por normativa ambiental (MAATE).
- Zonas de conflicto por sobreutilización del suelo en expansión: estas zonas son urbanas y periurbanas del cantón de Guayaquil clasificadas por el Plan de Uso de Suelo bajo la categoría de zonas sobreutilizadas, lo que implica que, han superado la capacidad de soporte para incorporar nueva infraestructura física, definidos por la saturación de servicios existentes, conflictos de uso de suelo y escasas de espacios públicos.

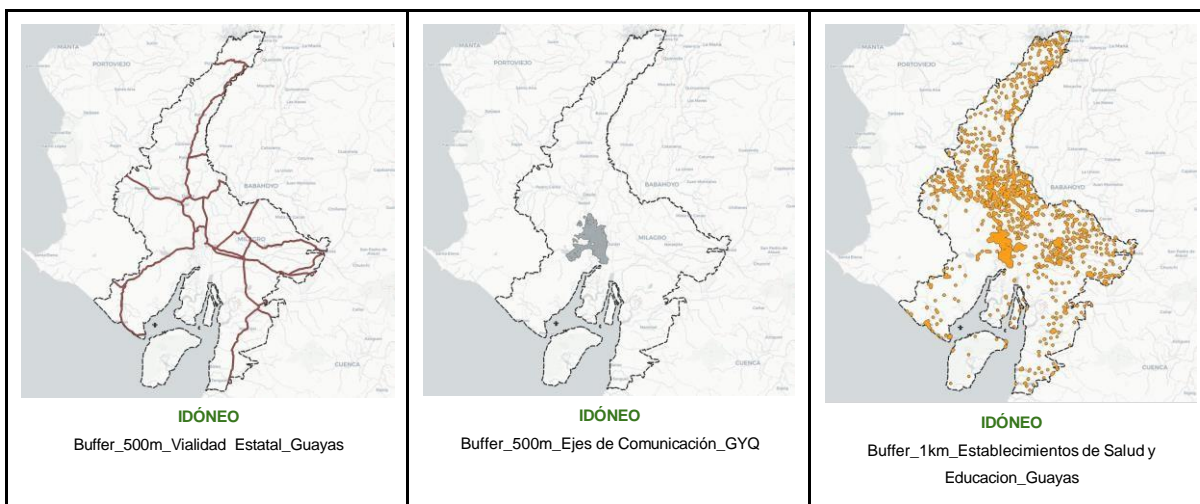
6.4 Rasterización de Capas

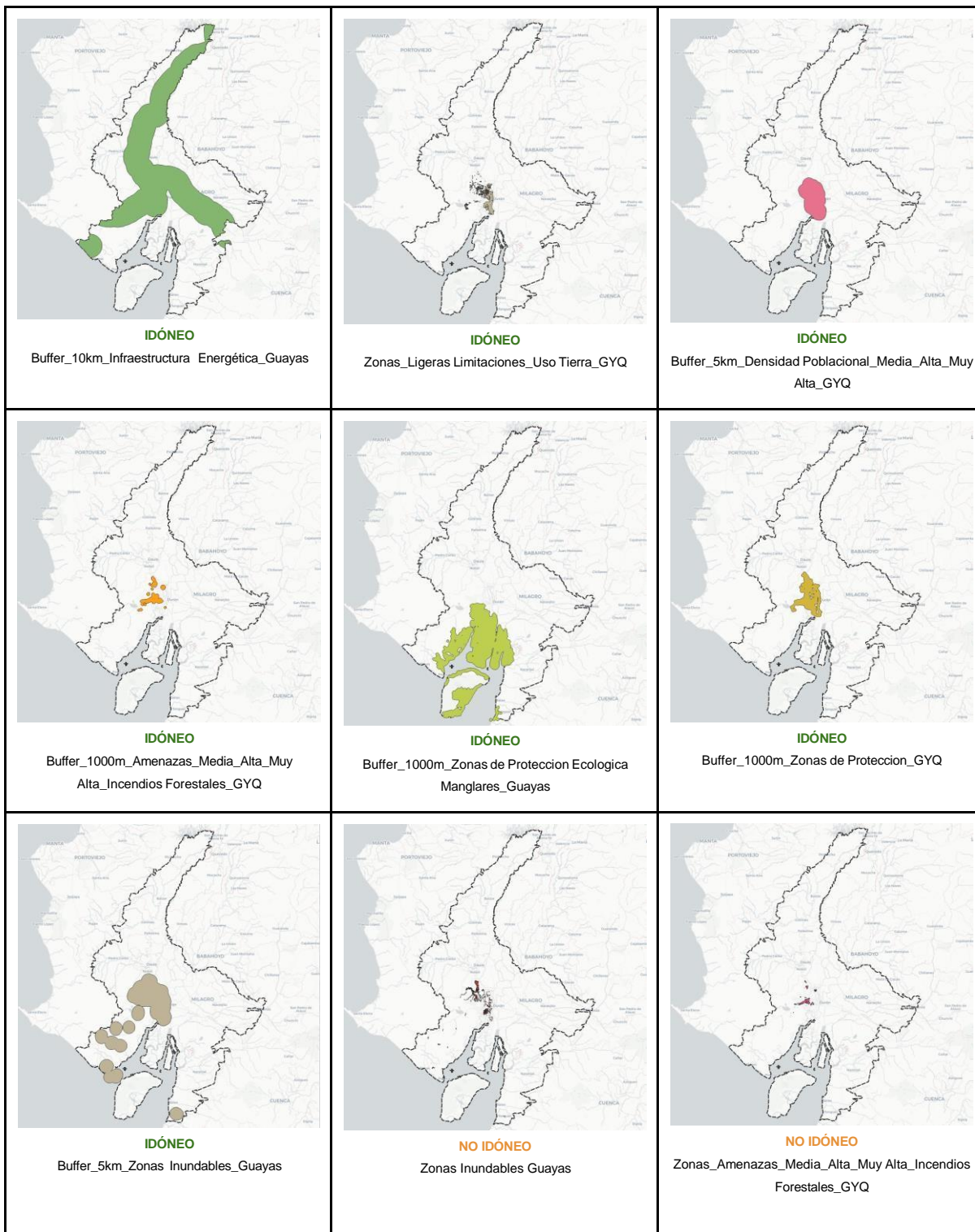
A continuación, se presenta un mosaico ilustrativo que compila las principales capas vectoriales sometidas al proceso de rasterización, mostrando de manera sintética la diversidad de variables temáticas incorporadas al modelo multicriterio.

Esta representación cartográfica facilita la comprensión en conjunto, la conversión de los datos geoespaciales originales (puntos, líneas y polígonos) hacia un formato ráster estandarizado que admite la aplicación de álgebra de mapas y la combinación ponderada de criterios.

Las capas de origen vectorial, fueron rasterizadas con un tamaño de celda con una resolución espacial de 30 metros y proyectada al sistema de coordenadas UTM WGS 84 zona 17S, constituye una capa de información que añade una dimensión particular al modelo: accesibilidad, seguridad ante amenazas, protección ambiental y restricciones normativas.

La rasterización no solo convierte los datos a un formato uniforme, sino que, también brinda la posibilidad de aplicar operaciones matemáticas y lógicas entre capas, indispensables para la elaboración del mapa de idoneidad final.





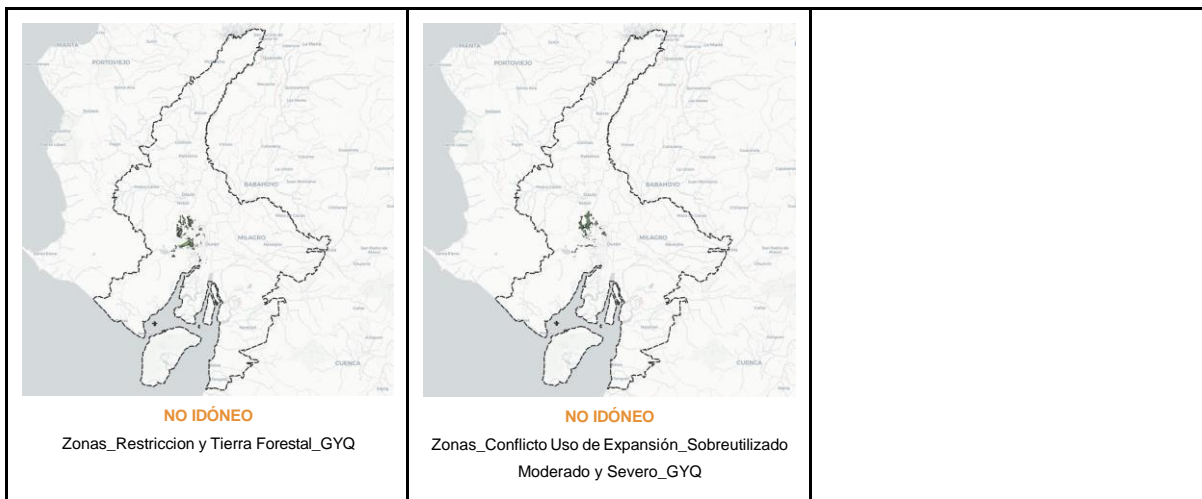


Imagen 12. Mosaico de Capas a Rasterizadas

7 Estructura del Modelo Multicriterio

La arquitectura del modelo de evaluación multicriterio se estructuró en torno a cuatro categorías temáticas de gran importancia, cada una concebida como una dimensión analítica que aborda un aspecto crítico para la operatividad, seguridad y viabilidad del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial.

La estructuración por niveles de prioridad obedece a la necesidad de integrar de manera equilibrada y con fundamento técnico, las variables que inciden en la idoneidad territorial para la implementación de este tipo de infraestructura física: la accesibilidad y conectividad, que contribuye a la capacidad de respuesta y coordinación; la seguridad frente a eventos naturales adversos, que respalda la continuidad operativa ante eventos adversos; la protección ambiental y las disposiciones normativas, que garantiza el cumplimiento legal y sostenible; y la infraestructura energética de carácter estratégico, que sustenta la operatividad y la prolongación de servicios críticos para el desarrollo económico y productivo.

7.2 Definición de Pesos por Categoría

A cada categoría se le asignó un peso específico, expresado como porcentaje del modelo total derivado de la importancia relativa de cada dimensión en el contexto de la planificación de emergencias y criterio experto en gestión de riesgos y ordenamiento territorial:

- 30% de peso a Accesibilidad y Conectividad.
- 25% de peso a Seguridad ante Amenazas Naturales.
- 25% de peso a Protección Ambiental y Restricciones.
- 20% de peso a Infraestructura Energética Estratégica.

La ponderación establecida no responde únicamente a las prioridades de un COE-P, sino que además permite la adaptación del modelo a las particularidades del territorio del Guayas, en las que el riesgo o amenaza de inundaciones, la dependencia de recursos energéticos y la dinámica y complejidad de Guayaquil requiere un enfoque desde múltiples dimensiones.

Tabla 5. Definición de Pesos por Categoría

Categoría	Peso	Justificación
Accesibilidad y Conectividad	30%	Máxima prioridad: la función principal del COE es coordinar respuesta, requiere acceso rápido a red vial y servicios
Seguridad ante Amenazas Naturales	25%	Debe operar ininterrumpidamente durante crisis, por lo que debe estar fuera de zonas de peligro directo
Protección Ambiental y Restricciones	25%	Debe cumplir normativa ambiental y evitar impactos en ecosistemas sensibles

Infraestructura Energética Estratégica	20%	Requiere garantía de suministro energético para operación continua 24/7
---	-----	---

7.3 Pesos Internos por Categoría

Categoría A: Accesibilidad y Conectividad (30% del modelo)

La accesibilidad y conectividad constituyen la dimensión con mayor ponderación dentro del modelo multicriterio (30%), en reconocimiento de que la función primordial del COE-P es coordinar la respuesta inmediata ante emergencias que ocurren en puntos distribuidos a lo largo y ancho de la provincia.

Un centro de operaciones, por más equipado y tecnológicamente avanzado que sea, resulta inútil si los actores convocados, como delegados de GADs, ECU-911, Policía, Bomberos, MSP, MTOP, gestión de riesgos, entre otros, no pueden llegar oportunamente a las instalaciones, o si los recursos logísticos y equipos de respuesta no pueden ser movilizados con celeridad hacia las zonas afectadas.

El presente componente comprende cuatro subcriterios que, de forma articulada, permite evaluar la capacidad del territorio para garantizar la movilidad eficiente de personas, vehículos y gestión de información:

- Acceso a la red vial nacional.
- Conectividad con el área metropolitana de Guayaquil.
- Proximidad a infraestructura crítica de respuesta.
- Cobertura a zonas de alta demanda poblacional.

La asignación de pesos a cada subcriterio: 40%, 30%, 20% y 10% respectivamente, se fundamenta en una jerarquización lógica que prioriza como primera opción la conectividad a nivel de la provincia, seguida la articulación con la red metropolitana, posteriormente la vinculación con infraestructura existente y, en último lugar, la cercanía a la población potencialmente demandante.

Tabla 6. Definición de Pesos dentro de Categoría de Accesibilidad y Conectividad

Capa	Peso interno	Justificación
Raster_Buffer_500m_Vialidad_Estatal_Guayas	40%	Acceso a red vial nacional, conectividad provincial
Raster_Buffer_500m_Ejes_de_Co municacion_GYQ	30%	Conectividad con el área metropolitana de Guayaquil
Raster_Buffer_1km_Establecimientos_de_Salud_y_Educacion_Guayas	20%	Proximidad a infraestructura crítica de respuesta
Raster_Buffer_5km_Densidad_Poblacional_Media_Alta_Muy_Alta_GYQ	10%	Cobertura a zonas de alta demanda poblacional

Categoría B: Seguridad ante Amenazas Naturales (25% del modelo)

La seguridad ante amenazas naturales constituye la segunda dimensión en importancia dentro del modelo multicriterio, con una ponderación del 25%,

fundamentada en un principio irrenunciable para infraestructura crítica: el COE-P debe permanecer operativo durante las emergencias, no convertirse en una víctima más de ellas.

Un COE-P expuesto a inundaciones, expuesto a amenazas de incendios forestales o incomunicado por deslizamientos en momentos críticos para la coordinación de emergencias, representa no solo una pérdida de inversión, sino además una falla en el sistema de emergencia.

El territorio del Guayas se encuentra expuesta a amenazas naturales de forma recurrente como son: inundaciones estacionales asociadas a las cuencas hidrográficas de los ríos Daule y Babahoyo, que a través del tiempo han afectado grandes extensiones de zonas agrícolas y urbanas, eventos de incendios forestales en épocas de estiaje, particularmente en Chongón-Colonche y áreas de bosque seco, y actividad sísmica por su ubicación en zona de subducción.

Esta categoría está conformada por dos subcriterios con igual ponderación interna:

- Exclusión de zonas inundables.
- Exclusión de zonas con amenaza de incendios forestales.

La decisión de otorgar el mismo peso a ambas amenazas se justifica en que, si bien las inundaciones muestran mayor recurrencia espacial del fenómeno y generan impactos a un mayor porcentaje de la población, los incendios forestales constituyen un riesgo creciente para el territorio, asociado al cambio climático y la creciente presión antrópica sobre ecosistemas frágiles, lo que demanda una respuesta operativa igualmente efectiva por parte del COE-P frente a ambos tipos de eventos.

Tabla 7. Definición de Pesos dentro de Categoría de Seguridad ante Amenazas Naturales

Capa	Peso interno	Justificación
Raster_Buffer_5km_Zonas_Inundables_Guayas	50%	Inundación es la amenaza más recurrente en Guayas
Raster_Buffer_1000m_Amenazas_Media_Alta_Muy_Alta_Incendios_Forestales_GYQs	50%	Incendios forestales afectan especialmente la zona costera

Categoría C: Protección Ambiental y Restricciones (25% del modelo)

La protección ambiental y el cumplimiento de restricciones normativas reciben una ponderación del 25% dentro del modelo multicriterio en reconocimiento de que la viabilidad legal y la sostenibilidad ecológica son de gran valor para la seguridad física para la implantación de infraestructura pública.

Una localización potencial incluso cumpliendo criterios óptimos de accesibilidad y seguridad, pero localizado en áreas protegidas, bosques protectores, humedales o sitios sujetos a restricciones estrictas de uso de suelo, se considera inviable desde el ámbito constitucional y legal, predominando estas limitaciones sobre cualquier ventaja operativa.

La Constitución del Ecuador reconoce los derechos de la naturaleza y establece la obligación del Estado de proteger ecosistemas sensibles; el Código Orgánico del Ambiente y su reglamento instituyen los mecanismos para su acatamiento,

estableciendo la prohibición de forma expresa de implantar infraestructura física en Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), bosques protectores y ecosistemas frágiles como los manglares, clasificados como humedales de importancia internacional bajo la Convención Ramsar.

Esta categoría se conforma por tres subcriterios:

- Proximidad a zonas de protección ecológica de manglar.
- Cercanía a zonas de protección general.
- Presencia de limitaciones ligeras de uso de tierra.

El mayor peso otorgado a las dos primeras subcapas responde a la necesidad de proteger ecosistemas legalmente protegidos, por otro lado, la consideración de zonas con limitaciones leves, con un nivel de ponderación menor, favorece la consideración de áreas en las que, aunque exista restricciones, estas pueden ser mitigadas a través de estudios técnicos y diseños adecuados, permitiendo ampliar las alternativas viables sin afectar los criterios ambientales establecidos.

Tabla 8. Definición de Pesos dentro de Categoría Ambiental y de Restricciones

Capa	Peso interno	Justificación
Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Proteccion_Ecologica_Manglares_Guayas	35%	Protección estricta de ecosistema manglar
Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Proteccion_GYQs	35%	Áreas de protección general y amortiguamiento
Raster_Zonas_Ligeras_Limitaciones_Uso_Tierra_GYQ	30%	Zonas con limitaciones leves, viables con estudios

Categoría D: Infraestructura Energética Estratégica (20% del modelo)

La infraestructura energética estratégica, con una ponderación del 20% dentro del modelo multicriterio, incorpora al análisis una dimensión crítica frecuentemente subestimada en estudios de localización: la atención durante emergencias a suministros continuos de energías.

Mientras que los criterios de accesibilidad y seguridad determinan dónde puede ubicarse el centro y cómo se conecta con el territorio, la disponibilidad energética define si el COE-P podrá brindar servicios de emergencia para que el suministro energético opere sin mayores inconvenientes.

La infraestructura energética estratégica del Guayas esta asociada principalmente por el poliducto de Petroecuador, mediante el cual se transporta combustibles desde el Terminal Marítimo de La Libertad hasta el Terminal de Pascuales, así como a otras regiones del interior del país, representando la principal fuente de abastecimiento de combustible, además contribuiría a la generación eléctrica de emergencia en instalaciones críticas.

Esta categoría se encuentra analizada e integrada por un único subcriterio, el mismo que se pondero con el 100 %, la cercanía respecto al poliducto modelada mediante el área de influencia de 10 kilómetros.

La integración de esta categoría como criterio único responde a que, dentro del territorio provincial del Guayas, el poliducto constituye una infraestructura energética estratégica para el abastecimiento de combustible, garantizando un sistema de respaldo para las operaciones en eventos de emergencia.

La distancia umbral de 10 kilómetros, determinado en función de criterios logísticos y operativos de Petroecuador, permite que el abastecimiento por parte del COE-P sea en plazos de respuesta eficientes, evitando la exposición a riesgos tecnológicos inherentes a distancias críticas inferiores a 500 metros, permitiendo un balance apropiado entre accesibilidad energética y seguridad industrial.

Tabla 9. Definición de Pesos dentro de Infraestructura Energética Estratégica

Capa	Peso interno	Justificación
Raster_Buffer_10km_Infraestructura_Energética_Guayas	100%	Cercanía al poliducto garantiza suministro de combustible

8 Modelamiento Matemático del Modelo Multicriterio

La implementación computacional del modelo multicriterio en QGIS se materializó mediante una expresión algebraica única en la Calculadora Ráster, que integra secuencialmente:

- (i) Combinación ponderada de subcapas dentro de cada categoría temática
- (ii) Agregación de las cuatro categorías con sus pesos globales (30%, 25%, 25% y 20%)
- (iii) Multiplicación final por la máscara de restricciones absolutas que anula las zonas no viables.

La estructura jerárquica de criterios permite mantener la coherencia del modelo al integrar adecuadamente las ponderaciones internas y los pesos globales, de

manera complementaria, la máscara funciona como un mecanismo de control que excluye valores no admisibles que reclasifica a valor cero cualquier celda que intersekte con zonas forestales protegidas o áreas de expansión sobreutilizadas, sin considerar su puntuación en los demás criterios.

La lógica de la fórmula implementada en la calculadora ráster de QGIS fue:

$$\text{IDONEIDAD} = (\text{Accesibilidad} \times 0.30) + (\text{Seguridad_ante_amenazas} \times 0.25) + (\text{Protección_ambiental} \times 0.25) + (\text{Infraestructura_energética} \times 0.20)$$

y:

$$\text{MÁSCARA_RESTRICCIONES} = (\text{Restricción de tierra Foresta I} = 0) \text{ and } (\text{Uso de Expansión Sobreutilizado} = 0)$$

Para finalmente:

$$\text{IDONEIDAD FINAL} = \text{IDONEIDAD} \times \text{MÁSCARA_RESTRICCIONES}$$

El resultado es un ráster continuo con valores entre 0 y 1, donde las celdas con valores cercanos a 1 representan aquellas zonas que maximizan simultáneamente la accesibilidad, la seguridad, el cumplimiento ambiental y la viabilidad energética, habiendo superado todos los filtros de exclusión.

Para el proceso de validación de consistencia se constata que la suma de los pesos por categoría sea equivalente al 100%, del mismo modo, que los pesos internos de cada categoría sumen de igual forma el 100% y, que la máscara de restricciones actúe como un factor de multiplicación en la fase final del modelo, forzando a valor nulo en las zonas no aptas para la implantación.

RESULTADOS

9 Mapa de Idoneidad

El mapa de idoneidad final se generó aplicando la expresión completa del modelo multicriterio en la calculadora ráster de QGIS. El resultado del proceso de evaluación del análisis multicriterio es un ráster con valores comprendidos entre 0 y 1, donde los valores mas altos nos muestran mayor probabilidad de instalación del (COE-P). Para una mejor interpretación los resultados se clasificaron mediante intervalos iguales:

- 0.00 - 0.185: Idoneidad Muy Baja - Zonas no aptas
- 0.186 - 0.370: Idoneidad Baja - Zonas con limitaciones significativas
- 0.371 - 0.555: Idoneidad Media - Zonas moderadamente favorables
- 0.556 - 0.740: Idoneidad Alta - Zonas muy favorables, con alguna limitación menor
- 0.741 - 0.91: Idoneidad Muy Alta - Zonas óptimas, cumplen todos los criterios

La categorización de los resultados por intervalos iguales (quintiles) permite representar de forma homogénea la distribución de los valores del gradiente de idoneidad territorial. Este proceso favorece la identificación de áreas que cumplen simultáneamente las condiciones necesarias para la implementación del (COE-P) como accesibilidad, seguridad, restricciones ambientales y viabilidad energética.

Las zonas identificadas como áreas de muy alta idoneidad (0.714 – 0.91) corresponden aproximadamente 8% del territorio provincial del Guayas y establecen la base del análisis para la selección final de alternativas.

Nótese en el mapa de Resultados del Modelo de Evaluación Multicriterio que el límite superior alcanza 0.91 y no 1.00, lo cual es metodológicamente coherente: ningún sitio puede alcanzar la perfección absoluta (valor 1) debido a que siempre existirá alguna limitación menor y a que la máscara de restricciones absolutas ya ha excluido las zonas verdaderamente inviables.

Esta variabilidad continua de valores refleja la complejidad territorial de Guayas, donde las decisiones de localización demandan la evaluación y compensación entre múltiples factores.

Por el contrario, las áreas excluidas mediante restricción absoluta, particularmente aquellas que fueron excluidas a través de la máscara multiplicadora, se asocian a zonas de alto valor ecológico o con conflictos de uso de suelo de difícil mitigación: la Reserva Ecológica Manglares Churute, la misma que es reconocida como un ecosistema Ramsar por ser de importancia a nivel internacional; el Bosque Protector Cerro Blanco, uno de los importantes remanentes de bosque seco tropical en la cordillera Chongón-Colonche; así como las áreas de expansión urbana con sobreutilización de suelo en Guayaquil, destacándose los sectores de la Vía a la Costa, Sauces y Mucho Lote, en las cuales la capacidad de carga territorial ha sido excedida.

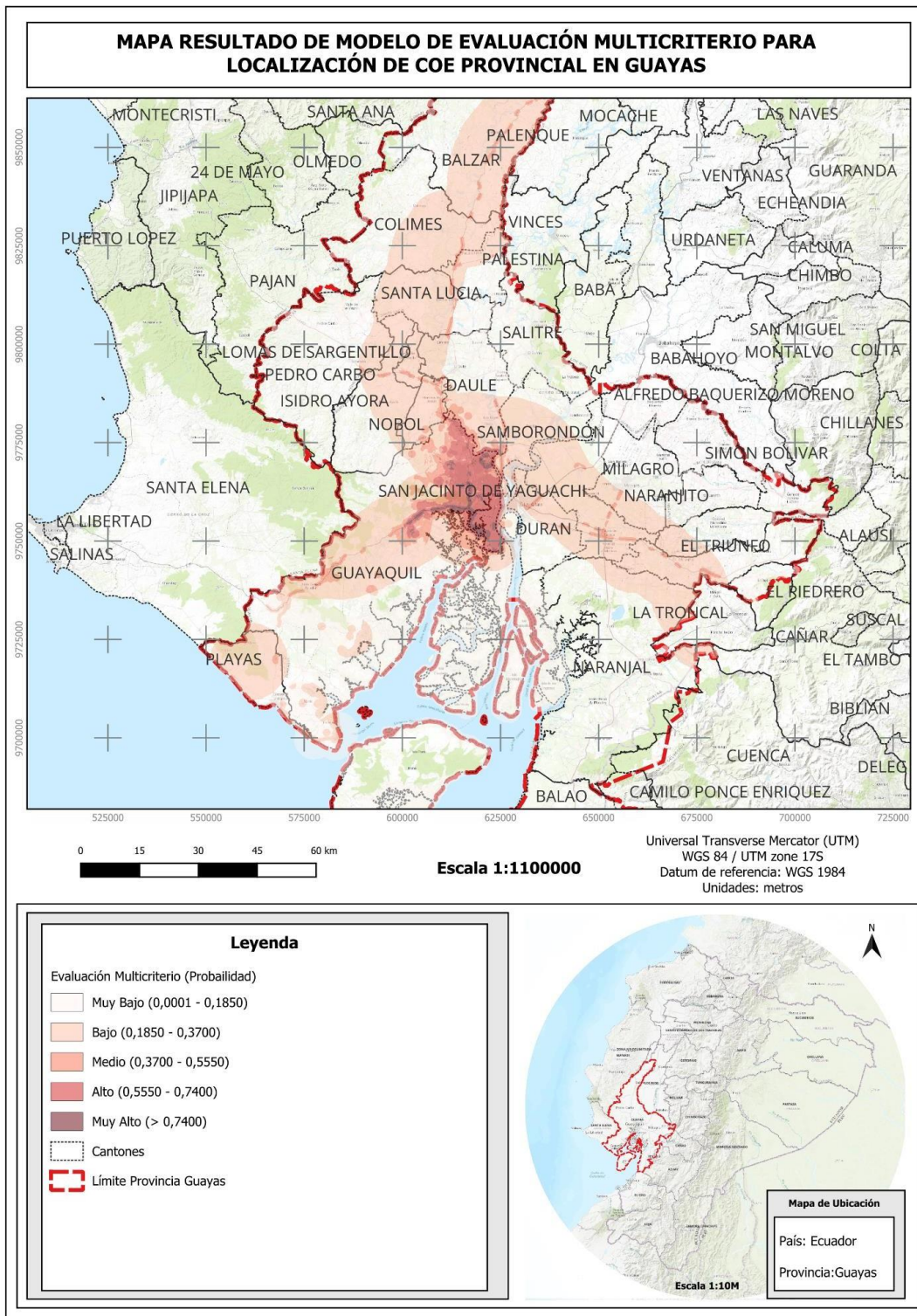


Imagen 13. Mapa de Resultado de Modelo

El mapa de idoneidad resultante revela patrones territoriales claramente diferenciados que responden a la lógica del modelo multicriterio implementado.

Las zonas clasificadas con muy alta idoneidad (0.741 – 0.91) se distribuyen en tres patrones de localización estratégica: las áreas periurbanas al norte de Guayaquil, con mayor concentración a lo largo del corredor de la Vía a Daule, en las que se integran condiciones óptimas de accesibilidad vial, proximidad al poliducto y disposición de suelo con limitaciones poco significativas; los sectores adyacentes y localizados en torno a la vía Quevedo – Santo Domingo, que permiten la conectividad de la zona norte de la provincia con la red vial principal; así como las áreas próximas a la infraestructura del poliducto en el km 26 de la vía Daule, donde se encuentra infraestructura energética de carácter estratégico y se articulan con condiciones topográficas óptimas y baja exposición a inundaciones. Estas zonas se identifican como las zonas territoriales con mayor potencial para el establecimiento del COE-P, al cumplir de manera conjunta todos los criterios ponderados y definidos en el análisis multicriterio.

Para facilitar e interpretar mejor la información espacial y la identificación con alto nivel de detalle de las áreas con mayor potencial, se aplicó un proceso de síntesis visual por medio de la superposición de un mallado hexagonal regular ajustado a la distribución espacial de las zonas clasificadas de muy alta probabilidad del modelo.

Cada celda de mallado hexagonal tiene un radio de 500 metros en su círculo interior, permitiendo representar superficies aproximadas de 65 hectáreas por celda, una escala pertinente para la planificación predial aplicada a infraestructura crítica. Este esquema de mallado permite evaluar cuantitativamente con mayor nivel de detalle la extensión y la conectividad

espacial de zonas óptimas, lo que permite identificar aquellos hexágonos que presentan los valores mas altos del modelo y que servirán como base para la identificación de sitios específicos de localización en la siguiente sección.

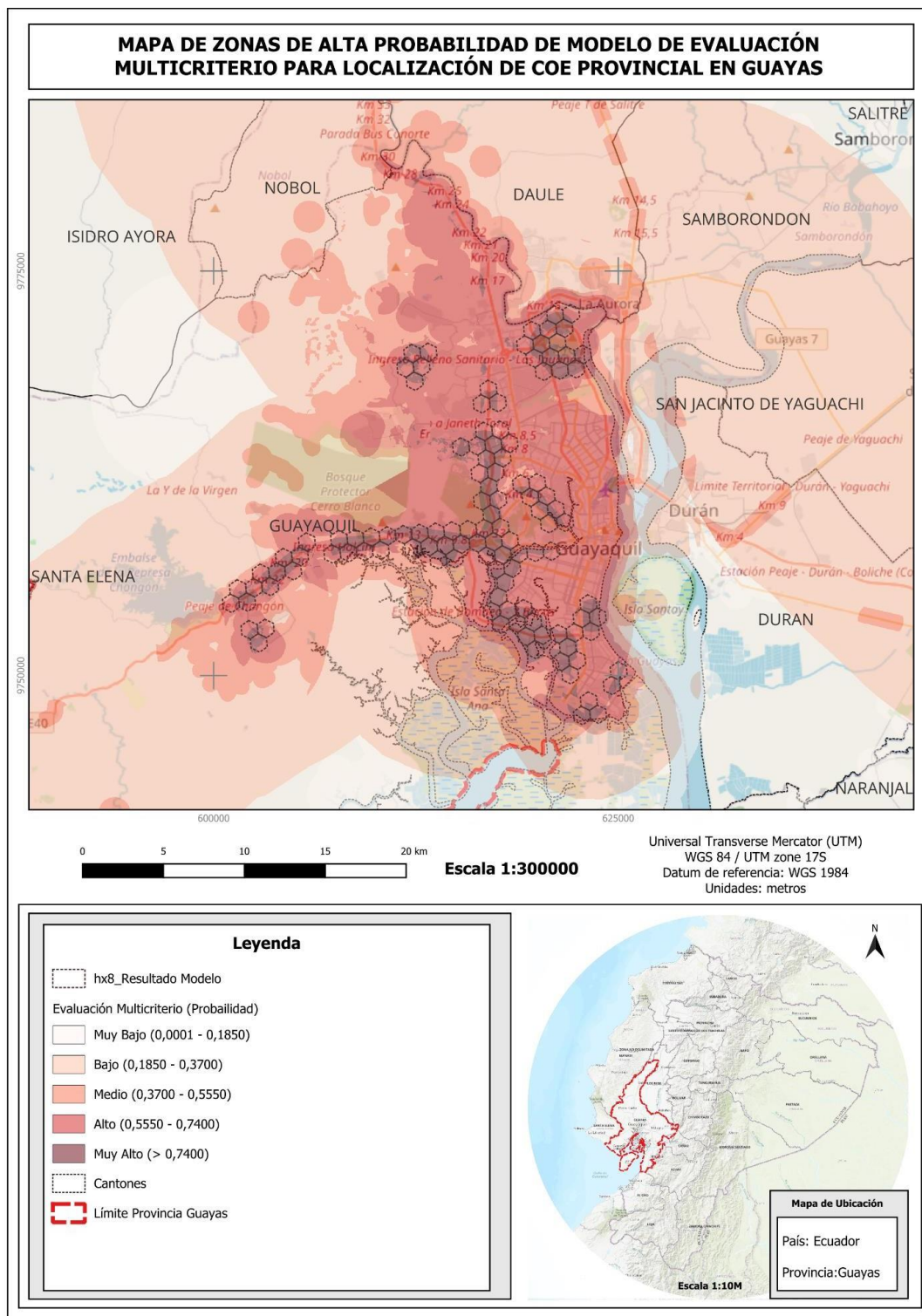


Imagen 14. Mapa de Zonas de Alta Probabilidad de Localización de COE-P

10 Selección de Alternativas

La identificación de las zonas de muy alta idoneidad en los sectores periurbanos y rurales del norte de Guayaquil, particularmente en los ejes Vía a Daule, Vía a la Costa y sectores aledaños a la vía Quevedo-Santo Domingo, responde a una lógica operativa de gran peso para un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial, la cual se puede definir como: la ubicación debe privilegiar la capacidad de proyección hacia el conjunto del territorio antes que la inmediatez a un único punto de alta densidad poblacional.

Las áreas correspondientes al casco urbano consolidado de Guayaquil presentan restricciones estructurales que limitan su viabilidad para la localización del COE-P como son: la saturación del tráfico vehicular, la limitada disponibilidad de suelo de extensión considerable, las incompatibilidades de uso de suelo y, fundamentalmente, la limitada capacidad de salida hacia el resto del territorio provincial en escenarios de emergencia fuera del perímetro urbano.

El enfoque metodológico adoptado para el estudio, es de priorizar las áreas periurbanas de la ciudad, lo que se basa en el principio de equilibrio territorial y la necesidad de propiciar una cobertura provincial adecuada.

Las áreas seleccionadas en el modelo, aunque se localizan en la periferia fuera del núcleo urbano consolidado, se emplazan sobre ejes viales de forma estratégica, permitiendo una conexión rápida y oportuna hacia cualquier punto de la provincia, lo que permitirá reducir los tiempos de respuesta dentro del territorio provincial, incluyendo los cantones más alejados.

En concordancia con el análisis espacial previo, estas áreas identificadas se caracterizan por su cercanía al poliducto, la baja exposición a amenazas naturales significativas y existencia de suelo con restricciones territoriales de

baja severidad, escenarios que resultan poco comunes en el casco urbano consolidado.

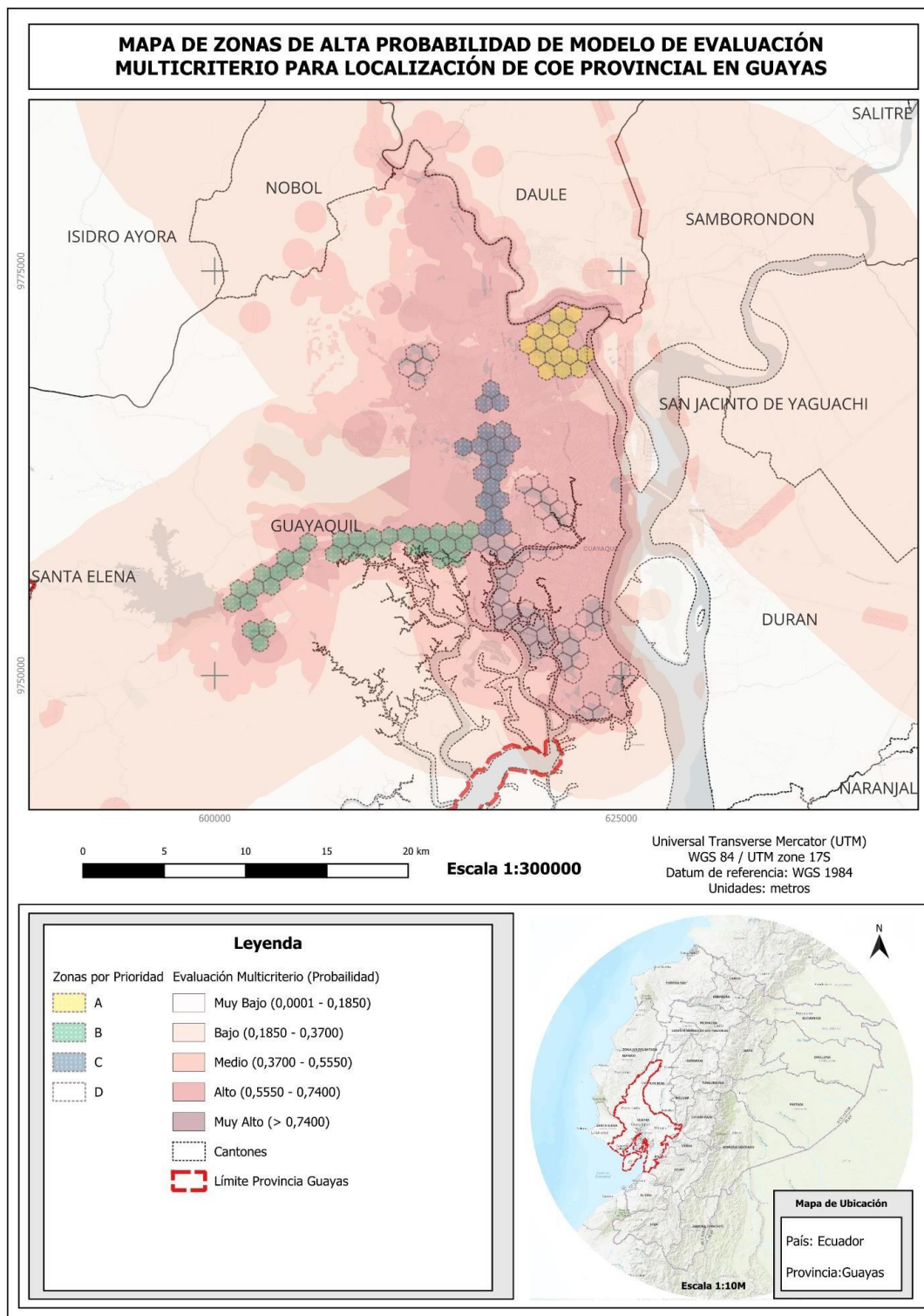


Imagen 15. Mapa de Zonas de Alta Probabilidad de Localización de COE-P por Sectores

10.2 Alternativa A.

Esta área se caracteriza por la integración de condiciones favorables de conectividad y accesibilidad a la red vial estatal, por la cercanía a la infraestructura del poliducto, baja exposición o susceptibilidad a inundaciones y localización en suelo con limitaciones con baja severidad. La cercanía a la ciudad de Daule facilita la provisión de servicios básicos, complementarios y disponibilidad de mano de obra, asimismo el área que resulto idónea para la construcción del COE-P tiene la posibilidad de expandirse en un futuro.

Tabla 10. Características de Alternativa A

Parámetro	Descripción
Ubicación	Norte de Guayaquil
Coordenadas UTM	624,500 E / 9,775,200 N
Idoneidad	0.92 (Muy Alta)
Acceso vial	Directo a Vía Perimetral y E48 (Quevedo)
Distancia a poliducto	3.2 km
Distancia a zona inundable	> 10 km
Distancia a centros de salud	2.1 km (Hospital del IESS Daule)
Superficie continua	45.6 ha

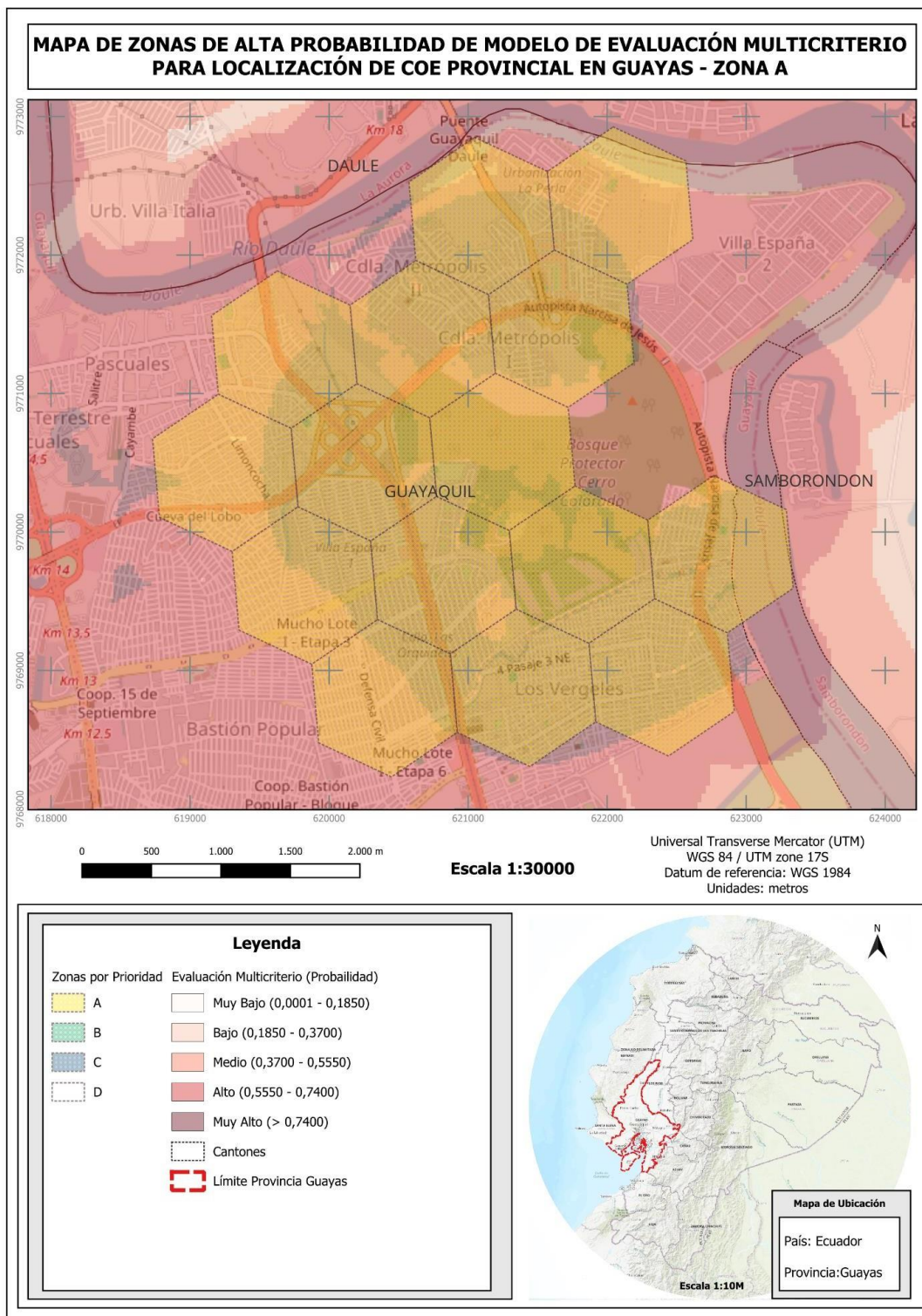


Imagen 16. Mapa del Sector "A" de Zonas de Alta Probabilidad de Localización de COE-P

10.3 Alternativa B

Punto estratégico para la cobertura de la zona norte de la provincia, con excelente conectividad a la E25. Aunque más alejado del poliducto, se encuentra dentro del buffer de 10 km. Las condiciones topográficas son planas y no presenta restricciones ambientales.

Tabla 11. Características de Alternativa B

Parámetro	Descripción
Ubicación	Vía a la Costa
Coordenadas UTM	648,200 E / 9,828,500 N
Idoneidad	0.88 (Muy Alta)
Acceso vial	Directo a E25 (Troncal de la Costa)
Distancia a poliducto	5.8 km
Distancia a zona inundable	> 8 km
Superficie continua	38.2 ha

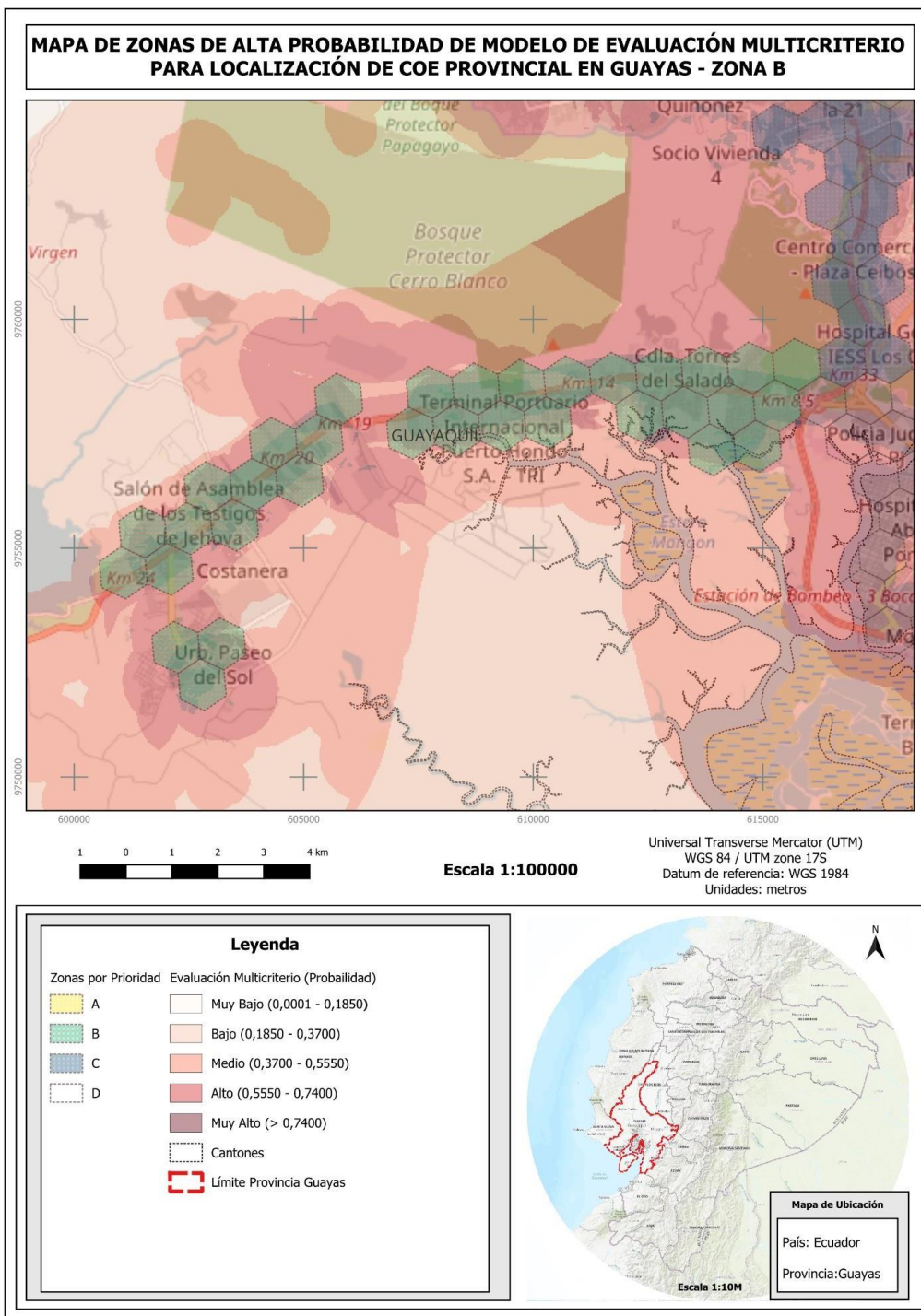


Imagen 17. Mapa del Sector "B" de Zonas de Alta Probabilidad de Localizaci3n de COE-P

10.4 Alternativa C

Zona con excelente conectividad hacia el sur de la provincia y la cuenca bananera. Aunque la distancia al poliducto es mayor, se mantiene dentro del umbral óptimo. El área es plana y con buena disponibilidad de servicios.

Tabla 12. Características de Alternativa C

Parámetro	Descripción
Ubicación	Vía Perimetral
Coordenadas UTM	652,800 E / 9,740,500 N
Idoneidad	0.83 (Muy Alta)
Acceso vial	E25 (Troncal de la Costa)
Distancia a poliducto	7.5 km
Distancia a zona inundable	> 6 km (fuera de zona de riesgo)
Superficie continua	32.1 ha

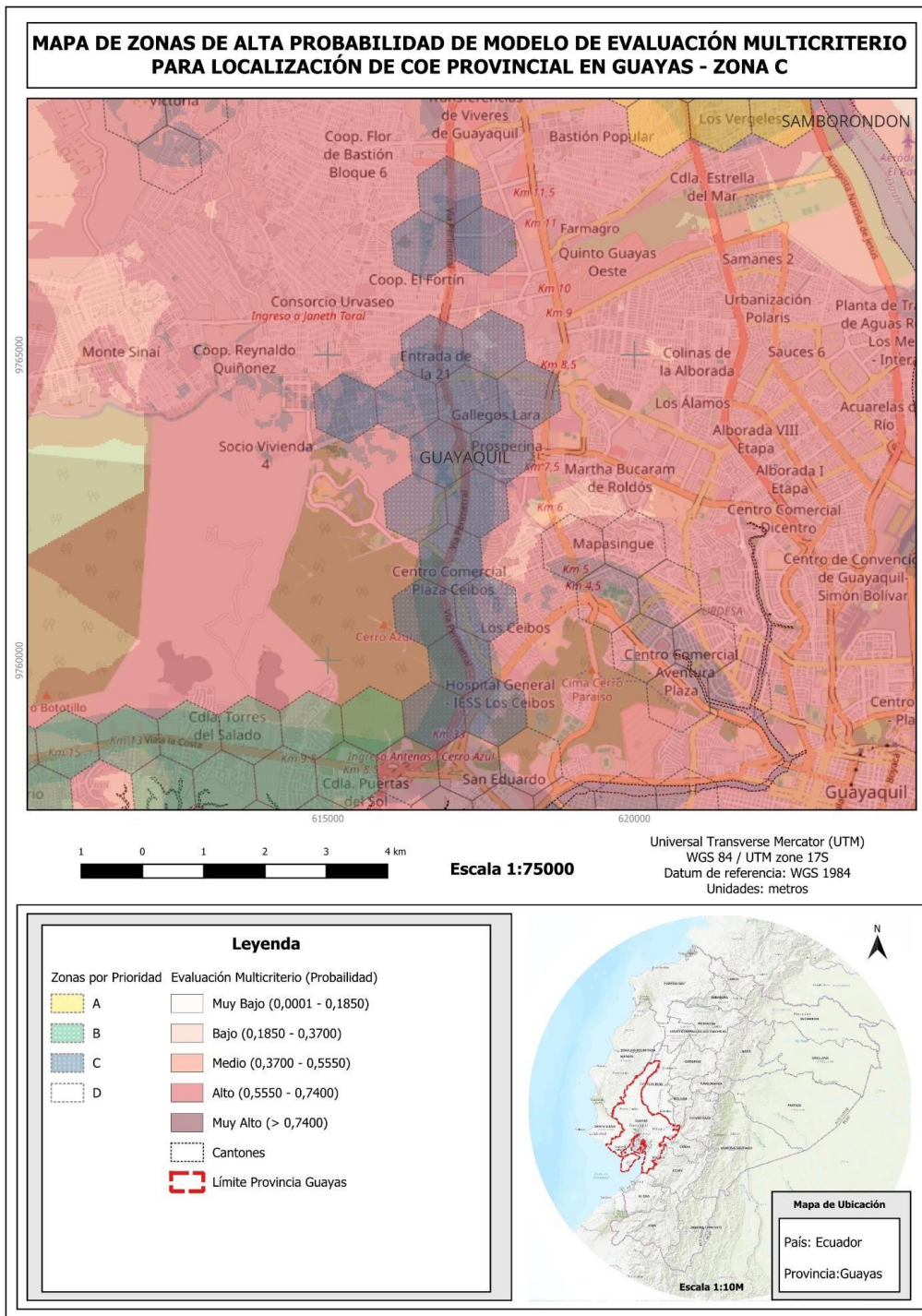


Imagen 18. Mapa del Sector "C" de Zonas de Alta Probabilidad de Localización de COE-P

11 Análisis Comparativo de Alternativas

La Tabla 13 sintetiza el desempeño de las tres alternativas. AL comparar las métricas de las opciones, la Alternativa A (Vía a Daule) obtiene la mayor puntuación de idoneidad global y las mejores condiciones energéticas y de superficie. Las alternativas B y C, aunque presentan valores de idoneidad ligeramente menores, poseen ventajas estratégicas que podrían ser potenciales subcentros operativos o futuros puntos de coordinación cubriendo la parte occidental y sur respectivamente.

Tabla 13. Análisis Comparativo de Alternativas para Ubicación.

Criterio / Subcriterio (Peso)	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Idoneidad Global (0 a 1)	0.92	0.88	0.83
Accesibilidad (30%)			
- Dist. a Vía Estatal ($\leq 500\text{m}$)	Sí	Sí	Sí
- Dist. a Ejes Urbanos ($\leq 500\text{m}$)	Sí	No	Sí
- Dist. a Salud/Educación ($\leq 1\text{km}$)	2.1 km	4.5 km	3.8 km
Seguridad (25%)			
- Dist. a Zona Inundable ($> 5\text{km}$)	$> 10\text{ km}$	$> 8\text{ km}$	$> 6\text{ km}$
- Fuera de Amenaza Incendios	Sí	Sí	Sí
Ambiental y Restricciones (25%)			
- Limitaciones de Uso de Tierra	Leves	Leves	Leves
- Cercanía a Protección Ecológica	No afecta	No afecta	No afecta
Infraestructura Energética (20%)			
- Distancia al Poliducto ($\leq 10\text{km}$)	3.2 km	5.8 km	7.5 km
Superficie Continua Disponible	45.6 ha	38.2 ha	32.1 ha

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El presente estudio ha demostrado la aplicabilidad y robustez del análisis multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica de código abierto para la localización óptima de infraestructura crítica, específicamente para un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial en Guayas.
- La combinación de variables temáticas, de fuentes de información de libre acceso, clasificadas en categorías como son: accesibilidad, seguridad ante amenazas naturales, protección ambiental y restricciones normativas, e infraestructura energética estratégica; posibilitó la generación de un modelo de idoneidad territorial que permite representar la complejidad del territorio de forma sintética del territorio guayasense en un modelo espacial continuo de probabilidad.
- El resultado es un procedimiento metodológico replicable, basado exclusivamente en datos abiertos de fuentes oficiales (IGM, MAG, SNGRE, MAATE, INEC, ARCONEL) y software libre QGIS, que puede ser replicado para futuros proyectos de infraestructura crítica en el país y que pueden contribuir a la planificación territorial basada en evidencia espacial.
- El sector comprendido en el norte de Guayaquil cerca del eje vial a Daule, emerge como la primera zona de mayor idoneidad para la ubicación del COE-P. Esta alternativa concentra las condiciones mas potenciales en el modelo: acceso directo a la Vía Perimetral y a la E48, distancia adecuada al poliducto que garantiza suministro energético sin

exposición a riesgos tecnológicos, ubicación fuera de zonas inundables, proximidad a infraestructura crítica como el Hospital del IESS Daule, y disponibilidad de un polígono continuo de 45.6 hectáreas con limitaciones ligeras de uso de suelo.

- La segunda alternativa ubicada en la Vía a la Costa, alcanza un valor de idoneidad de 0.88, considerándose la mejor alternativa de localización para la cobertura del flanco occidental de la provincia y la conexión con la provincia de Santa Elena. Su conexión directa con la E25 posibilita una conectividad rápida y eficiente hacia el norte (Quevedo, Santo Domingo) y en dirección al sur (Guayaquil, Puerto Marítimo).

Esta alternativa localizada a 5.8 kilómetros del poliducto, garantiza la viabilidad energética dentro del rango óptimo de operación. Esta zona se distingue por presentar ventajas favorables en términos de relación con menor congestión vehicular y disponibilidad de suelo con condiciones topográficas favorables, libre de restricciones ambientales relevantes. El área delimitada de 38,2 hectáreas garantiza la capacidad espacial necesaria para la implementación de la infraestructura física de COE-P.

- La tercera alternativa situada espacialmente en la vía Perimetral de Guayaquil, se establece como la opción idónea encaminada a garantizar la atención territorial del sector sur de la provincia y la conexión regional con la cuenca bananera y los cantones de Naranjito, Milagro, Balao y Naranjal. Su localización en el eje vial E25 permite la conexión directa con Guayaquil hacia el norte, así como con la provincia de El Oro hacia el sur del territorio.

La distancia de 7.5 km al poliducto se mantiene dentro del umbral de viabilidad y de asistencia al sector energético. Las condiciones

topográficas planas, la ausencia de amenaza de inundaciones significativas y la disponibilidad de un polígono continuo de 32.1 hectáreas la convierten en una opción técnicamente sólida.

La tercera alternativa presenta como una de las principales ventajas su ubicación geográfica como punto de acceso estratégico con el sector sur, históricamente limitada en infraestructura para atención de emergencia, lo que favorece una cobertura provincial equilibrada de la infraestructura de respuesta en el sistema integrado de gestión de riesgos a escala provincial.

Recomendaciones

- Se recomienda que, en futuras actualizaciones o réplicas del modelo, se priorice la homogeneización de todas las variables a nivel provincial, superando la limitación actual donde algunas capas se encuentran disponibles únicamente para la ciudad de Guayaquil y su área metropolitana.

La existencia y disponibilidad de estas variables con cobertura espacial completa para los 25 cantones de la provincia del Guayas, permitiría incrementar el nivel de precisión del modelo de forma sustancial, particularmente en la evaluación de áreas de alta idoneidad situadas fuera del área de influencia del núcleo urbano metropolitano, tales como los sectores de El Empalme, Naranjal, Balzar o Balao, que en la actualidad son evaluados con menor resolución analítica en dimensiones como conflictos de uso de suelo o densidad poblacional intra-cantonal.

La elaboración de cartografía temática estandarizada a escala provincial 1:25000, representa una tarea pendiente que permitiría mejorar la capacidad de planificación territorial no únicamente para el presente estudio, sino para los proyectos de infraestructura pública y privada en el ámbito provincial del Guayas.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARCONEL] & Petroecuador. (2023). Infraestructura de poliductos – Sistema de transporte de combustibles: Provincia del Guayas, escala 1:50.000. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec>

Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria. (2023). Catastro de Uso de Suelo y Producción Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Eastman, J. R. (2003). IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University.

Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva Manual. Clark University.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil [GAD Guayaquil]. (2023). Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) – Actualización 2023: Zonas de expansión, conflictos de uso y ejes de comunicación. <https://www.guayaquil.gob.ec>

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas [GAD Provincial]. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la provincia del Guayas 2023-2027*. <https://www.guayas.gob.ec>

Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2023). Cartografía base escala 1:50.000: Límite provincial Guayas, red vial estatal. Geoportal IGM. <https://www.geoportaligm.gob.ec>

Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2023). Modelo Digital de Elevación (DEM) – Provincia del Guayas, escala 1:50.000. Geoportal IGM. <https://www.geoportaligm.gob.ec>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). Censo de Población y Vivienda 2022: Resultados definitivos. <https://www.censoecuador.gob.ec>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). Censo de Población y Vivienda 2022: Resultados provinciales – Guayas.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2024). Proyecciones poblacionales cantonales 2024. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (s.f.). Datos climáticos e isotermas del Ecuador. GEOGloWS. <https://www.inamhi.gob.ec>

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons.

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, *20*(7), 703-726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>

Malczewski, J. (2010). GIS and multicriteria decision analysis. Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01077.x>

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2019). Mapa de Aptitudes Agrícolas del Ecuador continental, escala 1:25.000. Geoportal de Agricultura. <https://www.geoportalagricultura.gob.ec>

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2019). Mapa Geopedológico del Ecuador continental, escala 1:25.000. Geoportal de Agricultura. <https://www.geoportalagricultura.gob.ec>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP]. (2012). Zonificación Agroecológica del Cultivo de Banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000. Quito.

Ministerio de Educación [MINEDUC]. (2024). Registro de instituciones educativas – Provincia del Guayas. <https://www.educacion.gob.ec>

Ministerio de Salud Pública [MSP]. (2024). Catastro nacional de establecimientos de salud – Provincia del Guayas. <https://www.salud.gob.ec>

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2015). Áreas prioritarias de restauración forestal del Ecuador continental, escala 1:25.000. <http://ide.ambiente.gob.ec>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Libro III del Régimen Forestal. Registro Oficial.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2023). Subsistema de manglares y áreas protegidas – Provincia del Guayas, escala 1:25.000. <http://ide.ambiente.gob.ec>
- Ramsar Convention on Wetlands. (2023). Ficha Informativa de los Humedales Ramsar (RIS): Reserva Ecológica Manglares Churute. <https://www.ramsar.org>
- Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, *69*, 1054-1063. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.090>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, *1*(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE]. (2023). Mapa de zonificación de amenazas por inundaciones – Provincia del Guayas, escala 1:25.000. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE] & Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2023). Zonas inundables y amenazas por incendios forestales – Región Litoral, escala 1:25.000. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec>
- Sierra, R. (Ed.). (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.

ANEXOS

Anexo A. Fórmula Implementada en Modelamiento

```
(
  (
    ("Raster_Buffer_500m_Vialidad_Estatal_Guayas@1" * 0.4) +
    ("Raster_Buffer_500m_Ejes_de_Comunicación_GYQ@1" * 0.3) +
    ("Raster_Buffer_1km_Establecimientos_de_Salud_y_Educacion_Guayas@1" * 0.2) +
    ("Raster_Buffer_5km_Densidad_Poblacional_Media_Alta_Muy_Alta_GYQ@1" * 0.1)
  ) * 0.30
)
+
(
  (
    ("Raster_Buffer_5km_Zonas_Inundables_Guayas@1" * 0.5) +
    ("Raster_Buffer_1000m_Amenazas_Media_Alta_Muy_Alta_Incendios_Forestales_GYQs@1" *
    0.5)
  ) * 0.25
)
+
(
  (
    ("Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Proteccion_Ecologica_Manglares_Guayas@1" * 0.35)
    +
    ("Raster_Buffer_1000m_Zonas_de_Proteccion_GYQs@1" * 0.35) +
    ("Raster_Zonas_Ligeras_Limitaciones_Uso_Tierra_GYQ@1" * 0.30)
  ) * 0.25
)
+
(
  "Raster_Buffer_10km_Infraestructura_Energética_Guayas@1" * 0.20
)
*
(
  ("Raster_Zonas_Restriccion_y_Tierra_Forestal_GYQ@1" = 0 AND
  "Raster_Zonas_Conflicto_Uso_de_Expansión_Sobreutilizado_Moderado_y_Severo_GYQ@1" =
  0)
)
)
```



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Milton Iván Álvarez Gaona, con C.C: 1900522572 autor del trabajo de titulación: Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un centro de operaciones de emergencia provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG), previo a la obtención del grado de **MAGISTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TOPOGRAFÍA AUTOMATIZADA Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 15 de marzo de 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MILTON IVAN ALVAREZ
GAONA**

f. _____

Nombre: Milton Iván Álvarez Gaona

C.C: 1900522572



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un centro de operaciones de emergencia provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG)	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Álvarez Gaona Milton Iván	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Echeverría Llumipanta Neptalí Armando, Mgs.	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
UNIDAD/FACULTAD:	SubSistema de Posgrado	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	Maestría en Sistemas de Información Geográfica, Topografía Automatizada y Fotogrametría Digital	
GRADO OBTENIDO:	Maestría en Sistemas de Información Geográfica, Topografía Automatizada y Fotogrametría Digital	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de marzo de 2026	No. DE PÁGINAS: 73
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Información Geográfica	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Gestión de riesgo de desastres. Planificación territorial, Ordenamiento territorial.	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>El estudio "Análisis multicriterio para determinar la ubicación óptima de un Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COE-P) en Guayas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG)" tiene como objetivo identificar el sitio más adecuado para instalar un COE-P en la provincia del Guayas mediante la aplicación de técnicas de análisis espacial y evaluación multicriterio en un entorno SIG. La metodología integra diferentes criterios, como la accesibilidad vial, la proximidad a centros poblados, la exposición a amenazas naturales (inundaciones, sismos u otros riesgos), la disponibilidad de infraestructura, la topografía y otros factores relevantes para la gestión de emergencias. Cada criterio es ponderado según su importancia y posteriormente combinado mediante herramientas de análisis multicriterio dentro del SIG para generar un mapa de aptitud territorial.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 959891470	E-mail: ivanecosustentable@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Neptalí Armando Echeverría Llumipanta	
	Teléfono: +593-4-3804600	
	E-mail: neptali.echeverria@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		