

**Universidad Andina Simón Bolívar**

**Sede Ecuador**

**Área de Gestión**

Maestría Profesional en Gestión del Riesgo de Desastres

**Análisis de la relación entre la susceptibilidad a fenómenos de  
remoción en masa y el crecimiento urbano en el barrio Protección  
Guamaní, Quito**

**Una aproximación mediante herramientas SIG y proyecciones al año 2030**

Myriam Andrea Pullas Fuertes

Tutor: Abel López Díez

Quito, 2024





## **Cláusula de cesión de derecho de publicación**

Yo, Myriam Andrea Pullas Fuertes, autora de la tesis intitulada “Análisis de la relación entre la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa y el crecimiento urbano en el barrio Protección Guamaní, Quito: Una aproximación mediante herramientas SIG y proyecciones al año 2030”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Gestión del Riesgo de Desastres en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que, en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

27 de septiembre de 2024

Firma: \_\_\_\_\_



## Resumen

El objetivo principal de este trabajo de titulación es responder la pregunta: ¿Existe una relación entre los cambios de los niveles de susceptibilidad y el crecimiento urbano en los barrios de la ciudad de Quito?

Al igual que en toda la ciudad de Quito, en los últimos años y según datos del último censo de población y vivienda realizado por el INEC en el 2022, el barrio Protección Guamaní, ha experimentado un alto crecimiento urbano en su parte norte comparando los censos realizados en los años 2010 y 2022. Para determinar la tasa de crecimiento de esta zona, se analizó la ortofoto del año 2019 y los datos del censo del 2022 tomada de la base de datos del geoportal del DMQ. En el estudio, también se utilizó la matriz de Saaty para la elaboración del mapa de susceptibilidad. Esta matriz permite ponderar las variables de manera jerárquica, lo que ayudó a determinar la relación entre los cambios de los niveles de susceptibilidad y el crecimiento urbano en los barrios de la ciudad de Quito. Una vez obtenidos los datos necesarios, se proyectó la tasa de crecimiento observada en la zona norte del barrio Protección Guamaní hacia la zona sur del mismo para el año 2030. Además, se elaboró un mapa de susceptibilidad a FRM (Fenómeno de Remoción en Masa) para responder a la pregunta de investigación sobre la relación entre los cambios de los niveles de susceptibilidad y el crecimiento urbano en los barrios de la ciudad de Quito

Con base en los mapas elaborados y la metodología propuesta, se ha observado que la variación de la susceptibilidad muy alta aumentó un 1.63% entre los años 2019 y 2022. Durante el mismo período, se registró una disminución del 1.63% en el nivel de susceptibilidad alta. Por otro lado, los niveles de susceptibilidad media y baja no mostraron variaciones significativas. Comparando los mapas realizados entre los años 2022 y 2030, se observa un aumento del 0,036% en el nivel de susceptibilidad muy alto, un 0,018 % en el nivel de susceptibilidad alto, un 0,018% y, finalmente, el nivel de susceptibilidad bajo no presenta cambios significativos, con menos del 1% de diferencia. Con el método propuesto, las construcciones representan una variable importante en los niveles de susceptibilidad, motivo por el cual la variación de los niveles de susceptibilidad muy alto, alto y medio se presentan principalmente en las zonas donde se proyectó el crecimiento urbano.

Palabras clave: FRM, susceptibilidad, crecimiento urbano, matriz de Saaty, proyección, ponderación de parámetros

A mi madre, por apoyar nuevamente mi educación, quien me ha enseñado a no rendirme  
y ha inculcado valores que quedarán conmigo toda mi vida.

A lo más valioso que tengo en esta vida, ese ser que tan solo con mover su colita alegre  
mi día, quien ha limpiado mis lágrimas y ha bailado a mi lado. Binga María Milanesa.





## **Agradecimientos**

A mi tutor Abel López, por todo lo que me ha enseñado e incentivado durante este proceso. No ha sido fácil, pero ha valido la pena el esfuerzo y sus constantes palabras de aliento. Gracias por haberme acompañado en este proceso. A mi gran amigo y colega Luis Alban, quien ha aportado con sus conocimientos en este trabajo de titulación y me ha apoyado durante mi vida profesional, gracias por creer en mí. A mis amigos, Shirley, Alexis, Paola, Cristina, Nathalie, Martín, Diego, Estefanía y Daniela, por siempre estar presentes en mi vida: gracias.



## Tabla de contenidos

Glosario .....	15
Introducción.....	17
Capítulo primero Marco teórico. Caracterizando al DMQ.....	21
1. Ordenamiento territorial .....	21
2. Urbanización y crecimiento urbano.....	21
3. Crecimiento urbano en Quito .....	22
4. Los problemas de la urbanización .....	24
5. Antecedentes históricos de la parroquia Guamaní .....	25
6. Universo y delimitación del área de estudio.....	27
7. Susceptibilidad de la ciudad de Quito a FRM .....	28
8. Contexto geográfico del área de estudio.....	32
8.1. Clima .....	32
8.2. Rasgos geológicos .....	33
8.3. Vulcanismo.....	37
8.4. Suelo .....	39
9. Amenazas naturales .....	40
9.1. Amenaza volcánica.....	40
9.2. Sismicidad .....	43
9.3. Movimientos de ladera .....	43
3.1. Proyecciones de población .....	44
3.2. Matriz de Saaty .....	44
3.2.1. 3.4 Factor desencadenante-Parámetro precipitación .....	47
Capítulo segundo Metodología.....	51
1. Etapa exploratoria.....	51
2. Construcción del marco teórico .....	52
3. Proyecciones de población .....	52
4. Insumos.....	53
3.3. Mapa de uso y ocupación del suelo .....	54
3.4. Mapa de pendientes .....	55
3.5. Mapa de geomorfología.....	56
3.6. Mapa de geología.....	57
3.7. Ponderación de parámetros.....	58

3.7.1.	Factor condicionante-geología.....	59
3.7.2.	Factor condicionante-geomorfología.....	60
3.7.3.	Factor condicionante-pendiente.....	61
3.7.4.	Factor condicionante-cobertura vegetal.....	62
3.7.5.	Factor desencadenante-precipitación anómala.....	63
4.	Elaboración del mapa de susceptibilidad.....	65
Capítulo tercero Resultados.....		67
4.1.	Método para la construcción de proyecciones de urbanización.....	67
1.	Tendencias del crecimiento urbano zona norte de estudio.....	69
2.	Tendencias del crecimiento urbano zona sur de estudio.....	70
3.	Análisis de los mapas de susceptibilidad.....	73
3.1.	Mapa de susceptibilidad 2019.....	73
3.2.	Mapa de susceptibilidad 2022.....	74
3.3.	Mapa de susceptibilidad 2030.....	76
4.	Discusión.....	77
Conclusiones y recomendaciones.....		81
Lista de referencias.....		85

## Figuras y tablas

Figura 1. Mapa de crecimiento urbano desarrollado en la ciudad de Quito entre el periodo de 1760 hasta el año 2015.....	23
Figura 2. Ubicación del área de estudio .....	27
Figura 3. Delimitación del área de estudio .....	28
Figura 4. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. Fuente: (Geoportal del Distrito Metropolitano de Quito).....	30
Figura 5. Susceptibilidad del área de estudio .....	32
Figura 6. Unidades volcánicas del complejo Atacazo Ninahuilca .....	35
Figura 7. Geología del Barrio Protección Guamaní .....	37
Figura 8. Volcanes cuaternarios del Ecuador Continental .....	38
Figura 9. Localización del complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca.....	39
Figura 10- Número de posibles poblados afectados clasificados por espesor de ceniza y evento analizado del volcán Guagua Pichincha. ....	40
Figura 11- Número de posibles zonas urbanas afectadas clasificados por espesor de ceniza y evento analizado del volcán Guagua Pichincha. ....	41
Figura 12- Ejemplo de estructura jerárquica .....	46
Figura 13. Matriz de datos de clima en Guamaní.....	48
Figura 14- Precipitación media de la estación Izobamba entre los años 1962 - 2019....	48
Figura 15. Factores condicionantes utilizados.....	49
Figura 16. Flujo de trabajo .....	51
Figura 17. Mapa de uso y ocupación del suelo.....	55
Figura 18. Mapa de pendientes.....	56
Figura 19. Mapa de geomorfología del Barrio Guamaní.....	57
Figura 20. Proyección Aritmética.....	68
Figura 21. Proyección Geométrica .....	68
Figura 22. Proyección Exponencial.....	69
Figura 23. Representación gráfica de las viviendas presentes en la zona norte de estudio. Elaboración propia.....	70
Figura 24. Representación gráfica de las viviendas presentes en la zona sur de estudio. ....	71
Figura 25. Evolución del crecimiento urbano en la zona sur de estudio. ....	72

Figura 26. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2019 .....	74
Figura 27. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2023 .....	75
Figura 28. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2030 .....	77
Tabla 1 Crecimiento urbano experimentado en la ciudad de Quito .....	23
Tabla 2 Niveles de susceptibilidad del Barrio Protección Guamaní .....	29
Tabla 3 Niveles de susceptibilidad del área norte de estudio del DMQ año 2015 .....	30
Tabla 4 Niveles de susceptibilidad del área sur de estudio del DMQ año 2015 .....	31
Tabla 5 Escalas para poder hacer la ponderación de los diferentes parámetros.....	45
Tabla 6.....	46
Tabla 7 Precipitación media de la estación meteorológica Izobamba.....	48
Tabla 8 Insumos Utilizados .....	53
Tabla 9 Matriz de Comparación de pares de los factores condicionantes.....	58
Tabla 10 Matriz de Normalización de pares de los factores condicionantes.....	59
Tabla 11 Matriz de comparación de pares del parámetro Geología .....	59
Tabla 12 Matriz de normalización de pares del parámetro Geología.....	59
Tabla 13 Matriz de Comparación de pares del parámetro Geomorfología .....	60
Tabla 14 Matriz de Normalización de pares del parámetro Geomorfología .....	61
Tabla 15 Matriz de Comparación de pares del parámetro pendiente .....	61
Tabla 16 Matriz de Normalización de pares del parámetro Pendiente.....	62
Tabla 17 Matriz de Comparación de pares del parámetro de cobertura vegetal .....	62
Tabla 18 Matriz de Normalización de pares del parámetro de cobertura vegetal .....	62
Tabla 19 Matriz de comparación de pares del parámetro precipitación.....	63
Tabla 20 Matriz de normalización de pares del parámetro de precipitación.....	63
Tabla 21 Resumen de factores utilizados .....	64
Tabla 22 Resumen de cálculos realizados .....	64
Tabla 23 Rangos de las distintas susceptibilidades calculadas en el Barrio Protec Guamaní .....	65
Tabla 24 Proyecciones aritméticas, geométricas y exponenciales .....	67
Tabla 25 Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2019 .....	74
Tabla 26 Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2022 .....	75
Tabla 27 Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2030 .....	77

## Glosario

**atributo.** Característica de una entidad geográfica de un mapa, contienen la información temática de los objetos representados en el mapa (Lloret y Olivella s. f.).

**cangahua.** El nombre dado a un tipo de depósito volcánico que es frecuente en los Andes del centro y norte de Ecuador. Estos depósitos se distinguen por ser suelos que contienen una cantidad significativa de materiales volcánicos y que presentan una escasez de materiales orgánicos. Tienen un color que varía entre caqui y café claro, una textura moderadamente endurecida y un espesor que puede alcanzar varios metros (Andrade et al. 2012). Es común encontrar depósitos de erupciones intercaladas en su interior. Se ha estimado que la cangahua se depositó bajo condiciones atmosféricas frías y se cas, durante un período de tiempo comprendido entre los 200 mil y los 10 mil años antes del presente (Andrade et al. 2012).

**capa.** Representación visual de la información geográfica en un mapa en un formato digital (Lloret y Olivella s. f.).

**ceniza volcánica.** Fragmentos de roca volcánica de tamaño menor a dos milímetros, expulsados a la atmósfera durante las explosiones volcánicas (Andrade et al. 2012).

**crecimiento urbano.** Expansión geográfica y demográfica de una ciudad referente al crecimiento de su área urbana de construcción como de su población. Esto ocurre generalmente debido a ambos aspectos, es decir, tanto por la extensión física del tejido urbano como por el incremento en las densidades de construcción y población. Esta expansión puede darse en forma espontánea o en forma planificada (Martínez 2013).

**digitalización.** Proceso de convertir entidades de un mapa de papel o análogo a un formato digital; las coordenadas x, y de las entidades son almacenadas como datos espaciales (Martínez 2013).

**proyección de población.** Es el resultado de un conjunto de estimaciones demográficas, matemáticas o de otro tipo, por medio de las cuales se busca establecer las tendencias de las variables determinantes de la dinámica poblacional, y con ello la derivación de los volúmenes de población y de sus principales características ha el futuro (Martínez 2013).

**SIG.** Articulación funcional de hardware, software, información y conocimiento humano, con el fin de capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar información georreferenciada (Martínez 2013).

**sismicidad.** El número de sismos que ocurren en una zona, como por ejemplo un volcán, durante un lapso específico de tiempo. La sismicidad es una medida estadística de la actividad de un volcán (Andrade et al. 2012).

**volcán.** Cualquier fractura u orificio de la superficie de la Tierra por donde sale magma. Con el mismo nombre se denomina a la elevación que se forma por la acumulación de material volcánico erupcionado por un cráter (Andrade et al. 2012).



## Introducción

América Latina es una de las regiones del mundo que más sufre de los efectos a fenómenos meteorológicos, hidrogeológicos y geofísicos, responsables de cerca de 367 desastres en esta región entre 1970 y 2011 y estos eventos tienen una relación directa con el subdesarrollo y el crecimiento urbano (CEPAL 2013). Los países con mayores niveles de pobreza y falta de acceso a infraestructuras básicas son los más vulnerables a los efectos negativos de esos desastres (Fay, Chesquiere y Tova 2003). La pobreza y la vulnerabilidad a los fenómenos naturales están estrechamente relacionadas en la región de las Américas. Además, estos efectos pueden tener consecuencias prolongadas en la economía, la infraestructura y la salud de una comunidad. Por otra parte, más del 40 % de la población urbana está en riesgo directo o indirecto ante estos fenómenos (D'Ercole et al. 1994).

En las últimas décadas Quito ha presentado una urbanización sin precedentes, pasando de una población de 52 565 habitantes, según el censo de población de las parroquias urbanas y rurales en 1941 (Kingman Garcés 2006), a una población estimada de 2 827 106 en el 2021 (Vela 2022). Además, el crecimiento urbano de Quito está estrechamente relacionado con la vulnerabilidad de la ciudad ante los peligros naturales como terremotos y fenómenos de remoción en masa (FRM), por lo que es necesario abordarlos en el marco de una planificación territorial, de prevención y mitigación de riesgos adecuada (Ulloa y Pérez 2022).

A partir de los análisis efectuados Basabe (1993), quien dirigió un estudio regional de peligrosidad de terrenos inestables en la ciudad de Quito y además trabajó en un estudio piloto para las quebradas de mayor peligrosidad utilizando el método Morgenthen/Price, determinó que, incluso en condiciones secas, el 33 % de los taludes se encuentran bajo el límite crítico con factor de seguridad menor a 1,0. Si el nivel freático aumenta, el porcentaje mencionado se eleva al 60 %. Además, si los suelos se saturan, el 87 % de estas pendientes estarían en una condición crítica. Hasta ahora, estos desastres no han ocurrido debido al efecto beneficioso de las raíces de la vegetación. Sin embargo, el riesgo de desastres es muy alto en años lluviosos y se vuelve inevitable si la deforestación continúa (Zevallos s. f.).

CODIGEN-DHA/UNDRO (1993) concluyó que los lugares más inestables relacionados con la gestión de riesgos de desastres y la erosión se encuentran en diversos

sectores con pendientes superiores al 25 %, en las orillas o rellenos de la red natural de drenaje y en algunas áreas del subsuelo de la ciudad, que consisten en depósitos lacustres y niveles freáticos superficiales. Los fenómenos identificados son accidentes del sistema de drenaje urbano, cuya frecuencia y distribución espacial están relacionadas con la intensidad de las precipitaciones, el crecimiento urbano y las condiciones de la infraestructura de drenaje de la ciudad.

La planificación de las ciudades se presenta como uno de los mayores desafíos que enfrenta la sociedad actual en temas urbanos. El aumento de la población tiene un impacto significativo en el territorio, acelerando el proceso de conurbación, particularmente en las grandes ciudades impulsadas por el desarrollo económico. Según informe de la ONU, “el crecimiento de la población ha sido el mayor factor en el crecimiento de las ciudades en países en vía de desarrollo, mientras que las ciudades de países desarrollados han crecido a su actual tamaño por la migración rural-urbana” (ONU 2012).

El crecimiento de la población ha tenido un impacto significativo en el territorio y el suelo urbano debido a la expansión física y la transformación de las ciudades. Este crecimiento representa un desafío para el desarrollo territorial, ya que los procesos de uso y ocupación del suelo son muy dinámicos y están influenciados por las transformaciones de la economía global. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación es prever cómo se comportará el suelo y cómo se puede modificar la susceptibilidad del terreno a los fenómenos relacionados con el riesgo natural, teniendo en cuenta el crecimiento urbano, la impermeabilización de los suelos, la deforestación y otros factores que han afectado la zona norte del área de estudio (barrio Protección Guamaní). De esta manera, se pueden tomar medidas de prevención y mitigación para reducir la vulnerabilidad de la población ante eventos extremos y realizar una gestión integral del riesgo. Además, la investigación de la relación entre crecimiento urbano y ocurrencia-susceptibilidad a FRM también puede fomentar prácticas sostenibles y responsables en la ocupación del territorio, lo que contribuirá a la construcción de ciudades más resilientes frente al cambio climático y eventos climáticos extremos.

Los objetivos que se pretenden alcanzar son: analizar el crecimiento urbano ocurrido en el norte del barrio Protección Guamaní, entre el periodo 2010-2020, estudiar el cambio de susceptibilidad del terreno a FRM en el norte del barrio Protección Guamaní, entre el periodo 2010-2020 y proyectar los datos obtenidos hacia la parte sur del barrio Protección Guamaní para prever el crecimiento urbano que se pueda dar hasta el 2030, así como también prever el cambio de los niveles de susceptibilidad del terreno a FRM.

El presente trabajo se elaboró siguiendo una secuencia metodológica, en la etapa inicial se seleccionó el tema de estudio después de evaluar su viabilidad en función de la disponibilidad de datos, en este caso se recurrió a los datos de libre acceso en el geoportal del Distrito Metropolitano de Quito, mismo que cuenta con una amplia variedad de datos y en especial abarca la zona de interés, barrio Protección Guamaní. Luego, se llevaron a cabo los procesos relacionados con el estudio y el análisis de la información, se tomaron en cuenta los datos de geología, geomorfología, censos, pendiente y uso y ocupación del suelo, en este trabajo se decidió trabajar con el software ArcGIS, mismo que cuenta con las herramientas de análisis necesarias para la filtración y el trabajo con los datos antes mencionados. Una vez obtenida toda la información necesaria se utilizó la matriz de Saaty, herramienta utilizada en el método de las jerarquías analíticas, con ello se calcularon los rangos de vulnerabilidad. Posteriormente se procedió a realizar un análisis mediante imágenes obtenidas de Google Earth, y con ayuda de los datos obtenidos de INEC, se obtuvo una proyección del crecimiento urbano en la zona sur del Barrio Protección Guamaní. Finalmente se construyó el mapa de susceptibilidad a FRM en la zona sur.

En el marco teórico, se abordarán conceptos generales para comprender mejor la problemática, como el ordenamiento territorial, el diagnóstico territorial, la planificación territorial, la gestión territorial, el crecimiento urbano, la susceptibilidad a deslizamientos, la delimitación del área de estudio, y los contextos generales como el clima, la geología, el vulcanismo, los suelos y las amenazas naturales. Todo esto ayudará a comprender mejor la dinámica que atraviesa el área de estudio.

En el tercer capítulo se aborda la metodología, que contiene los principales insumos necesarios para responder a la pregunta de investigación. También se incluyen diversos tipos de mapas temáticos, como pendientes, geomorfología, geología y uso y ocupación del suelo. En este capítulo se hace referencia a la matriz de Saaty, una herramienta utilizada para jerarquías analíticas, que se emplea para evaluar y ponderar diferentes criterios en un proceso de toma de decisiones. Los criterios considerados en la matriz de Saaty son: geología, geomorfología, pendientes, uso de suelo, y como factor condicionante se toma en cuenta la precipitación. Con todos los insumos mencionados, se procedió a la elaboración de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el barrio Protección Guamaní. Además, se realizó una proyección de la población del barrio utilizando proyecciones aritméticas, geométricas y exponenciales.

En el cuarto capítulo se exponen los resultados, donde se evidencian de manera clara las tendencias de crecimiento que ha experimentado la zona de interés. También se presentan los resultados de las proyecciones poblacionales y se realiza un análisis en conjunto con los mapas de susceptibilidad elaborados, con el fin de responder a la pregunta de investigación planteada.

## **Capítulo primero**

### **Marco teórico. Caracterizando al DMQ**

En el presente capítulo se encuentran las definiciones necesarias para entender de mejor manera el contexto social y espacial del área de estudio. Aquí se abordan términos relacionados con el ordenamiento territorial, expansión urbana, contexto geológico y climático del DMQ, así como también sus principales amenazas.

#### **1. Ordenamiento territorial**

Existen diversas definiciones de ordenamiento territorial. Según la Secretaría Técnica Planifica Ecuador (2014), el ordenamiento territorial es el proceso mediante el cual se organiza las actividades y recursos en un territorio, teniendo en cuenta las estrategias de desarrollo socioeconómico y tomando en consideración las características geográficas y culturales específicas. Por otro lado, Vargas (2002) define el ordenamiento territorial como la regulación y control de la ocupación, utilización y modificación del espacio o territorio, teniendo en cuenta el bienestar colectivo, la prevención de desastres y el aprovechamiento sostenible de los recursos.

El ordenamiento territorial desempeña diversas funciones cruciales, entre ellas identifica, distribuye y regula las actividades humanas dentro de un área determinada, con el objetivo de organizar el espacio de manera adecuada para albergarlas. Además, se considera un instrumento relevante para el desarrollo, ya que refleja en el espacio las políticas económicas, sociales, culturales y ambientales que buscan una definición clara del desarrollo en el territorio. Su propósito principal es lograr un equilibrio en el desarrollo socioeconómico, mejorar la calidad de vida, gestionar los recursos adecuadamente y utilizar el espacio de manera racional (Montes 2001).

#### **2. Urbanización y crecimiento urbano**

La urbanización se refiere al fenómeno de crecimiento y transformación de áreas urbanas como consecuencia de cambios locales y globales a lo largo del tiempo. Algunas investigaciones empíricas sugieren que la urbanización ocurre cuando la tasa de

crecimiento de la población en áreas urbanas supera la tasa de crecimiento de la población en general (Mejía 2014).

El crecimiento urbano, de acuerdo con Alvarado (2010) se refiere a la ampliación tanto física como demográfica de las ciudades, que puede ser el resultado del incremento en la densidad de construcción y población, la expansión territorial del tejido urbano, o de ambos aspectos. Este proceso de expansión puede ser tanto espontáneo como planificado.

En términos generales, la urbanización y el crecimiento urbano están estrechamente relacionados en el contexto de la ciudad de Quito, Ecuador. La urbanización se refiere al proceso de transformación de tierras rurales en áreas urbanas, mientras que el crecimiento urbano implica la expansión y el desarrollo de las áreas urbanas existentes.

### **3. Crecimiento urbano en Quito**

El proceso de consolidación de las metrópolis en la región andina dista mucho del desarrollo que sucedió en las metrópolis europeas, norteamericanas o incluso a las del Cono Sur latinoamericano. Esto se debe principalmente a que la migración del campo a la ciudad no fue impulsada por la industrialización de la economía, en cambio, se observa un proceso de tercerización de la economía sin pasar por una fase de industrialización fordista, algo característico de las metrópolis occidentales (Durán, Martí Costa y Mérida 2016)

De acuerdo con Soja (2008) el proceso de metropolización fordista se sustenta en la producción y consumo en masa a partir de la consolidación de una clase media basada en el contrato social establecido tras el fin de la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, en América Latina y concretamente en Ecuador, esta clase media está restringida a un grupo reducido de la sociedad, misma que se benefició de los favores generados por las regalías petroleras y la ampliación del empleo público durante la década de 1970.

En referencia a Quito, durante el período comprendido entre 1962 y 1980, el crecimiento del área urbana experimentó un aumento del 500 % (Molina, Ercolani, y Angele 2017), lo cual resultó en una conurbación fragmentada y discontinua que modificó los patrones de vivienda previos.

Tomando en consideración la información disponible en el Geoportal del DMQ, se observa un crecimiento de más del 1000% entre el periodo registrado entre los años

1760 y 1956, así mismo, Quito presentó un crecimiento de más del 400% entre el periodo de 1956 y 1987, para finalmente en el año 2015 llegar a tener 44948.15 ha (ver Figura 1 y Tabla 1).

Tabla 1  
Crecimiento urbano experimentado en la ciudad de Quito

Periodo	Superficie (ha)	Crecimiento urbano (%)
1760	234.181	-
1760 - 1956	3149.06	1344
1956 - 1987	14840.63	471.27
1987 - 2015	44948.15	302.87

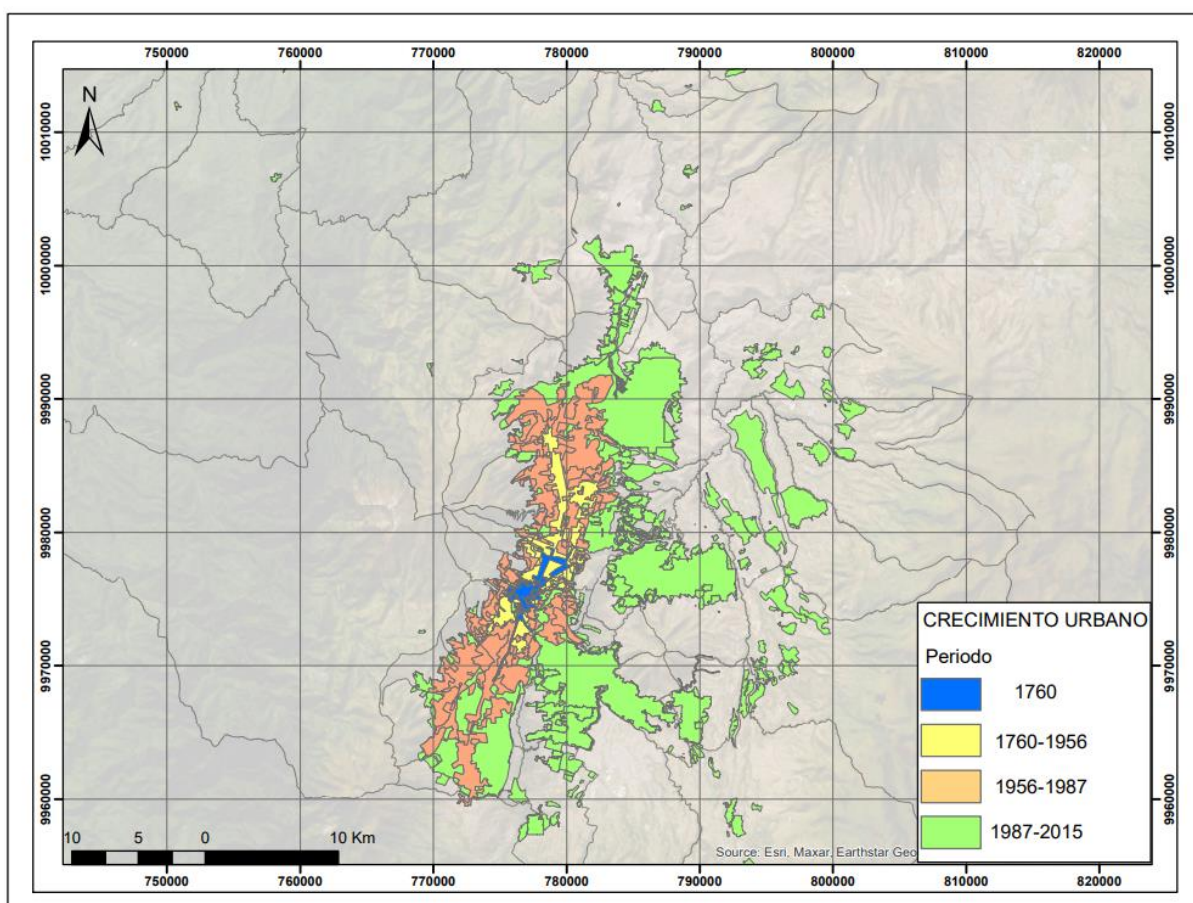


Figura 1. Mapa de crecimiento urbano desarrollado en la ciudad de Quito entre el periodo de 1760 hasta el año 2015.

Fuente: DMQ. Elaboración propia.

La forma de organización urbana-territorial que surgió de la crisis urbana se caracterizó por una segregación residencial específica que se extendía de norte a sur, con zonas homogéneas en su interior y heterogéneas entre sí. En el norte se encontraban los sectores de altos ingresos, en el centro los tugurizados y en el sur los de bajos ingresos. El rápido y desigual proceso de desarrollo y habilitación del suelo urbano logró, en un período de 18 años (1904-1922), cuadruplicar el tamaño de la ciudad y fomentó la especulación con la tierra urbana (Castillo 2020). Pero fue a partir de finales de 1990 y comienzos de la década de los años 2000 que la ciudad vivió un desbordamiento radical fomentado por la ampliación de los ejes transversales de la ciudad y los nuevos proyectos inmobiliarios que vieron en la dolarización un aliciente para la especulación (Durán, Martí Costa y Mérida 2016).

Todo ello ha dado lugar a que las causas del crecimiento urbano de Quito sean diversas y se incluyan factores como el aumento de la población, la complejidad de la geografía, la migración de áreas rurales a urbanas, la especulación del precio del suelo, la expansión de la economía y la concentración de servicios y oportunidades en áreas urbanas. También se pueden considerar factores históricos y políticos como la descentralización de los servicios gubernamentales y la inversión en infraestructura urbana. El escaso control de las áreas designadas para la expansión urbana según los planes de uso y ocupación del suelo ha provocado que el crecimiento urbano no se ajuste a lo planificado. Esto ha generado problemas relacionados con la provisión de servicios básicos y el aumento de los niveles de riesgo en ciertas zonas del Distrito (DMQ 2022).

#### **4. Los problemas de la urbanización**

El rápido y caótico proceso de urbanización en la ciudad de Quito ha resultado en la exacerbación de desequilibrios, desajustes y segregación en las áreas regionales, rurales y urbanas, así como en el abandono y la pobreza en el campo. Además, ha dado lugar a problemas sociales y políticos crecientes y graves, así como déficits en los servicios de infraestructura y equipamiento urbano que las autoridades de gestión no han logrado resolver. El crecimiento urbano está transformando a las ciudades en centros de hacinamiento, congestión y condiciones sanitarias deficientes, lo que se traduce en una falta de comodidad y una disminución general del bienestar (Achig 1983).

El crecimiento desequilibrado se ve principalmente afectado por la escasez de oportunidades laborales y de alimentos, ya que el aumento demográfico no está



respaldado por un crecimiento económico que pueda absorber la mano de obra migrante. Esto resulta en desajustes y segregación dentro de las ciudades (Achig 1983).

La falta de recursos económicos obliga a la población marginada a establecerse en áreas que experimentan un proceso de tugurización (Achig 1983). Esta situación, combinada con la ineficiencia de los organismos encargados de control y gestión urbana, dificulta la provisión de servicios hospitalarios, educativos, recreativos, así como de calles pavimentadas y servicios públicos básicos, como el suministro de agua potable, electricidad y alcantarillado, entre otros. Es importante destacar que estas limitaciones tienen un impacto significativo en la calidad de vida de estas personas y requieren una acción decidida por parte de las autoridades correspondientes para abordar este problema.

## **5. Antecedentes históricos de la parroquia Guamaní**

El desarrollo urbano de Guamaní fue impulsado por los ingresos del petróleo, que comenzó a ser explotado en 1971. Esto permitió al país aumentar su capacidad productiva de tal manera que, para 1974, el volumen de exportaciones se elevó un 400% y entre 1970 y 1977, el presupuesto del Estado creció un 550% (Báez 1995). En este contexto, la segunda reforma agraria, promulgada en 1973, fomentó el capitalismo agrícola, lo que resultó en la ruina de un gran número de pequeños productores campesinos, quienes comenzaron a migrar masivamente a las ciudades en busca de mejores oportunidades laborales para sostener sus economías familiares (Mahuarca 2019).

El estado, por su parte, promovió una política de desarrollo industrial en un país donde el sector secundario tenía un escaso desarrollo. Para alcanzar este objetivo, se implementó una estrategia de inyección de créditos destinada a estimular el mercado, se otorgaron protecciones arancelarias y se facilitaron beneficios tributarios para la industria nacional. Además, se congelaron los salarios, lo que llevó a una disminución del salario real del 23,5% entre 1972 y 1974, y se derogaron algunos derechos laborales (Báez 1995). Durante la década de 1970, también se destinaron recursos al desarrollo de infraestructura. En este contexto, la migración hacia la ciudad de Quito aumentó notablemente. Los nuevos pobladores que llegaron al sector de Guamaní provenían, específicamente, de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Loja (Salazar 2019), siendo las tres primeras con una significativa presencia de población indígena organizada en comunidades. Estos nuevos habitantes, en busca de satisfacer sus necesidades básicas, se integraron gradualmente en una zona de la ciudad que, debido a

su escaso desarrollo urbano y del sector moderno de la economía, ofrecía acceso a viviendas económicas. Aunque enfrentaban privaciones en comparación con las áreas consolidadas de la ciudad, la situación no era tan distante de la que vivían en sus lugares de origen. Las características del crecimiento en el sur de Quito llevaron a la formación de barrios y cooperativas de vivienda en condiciones de improvisación y precariedad en cuanto a planificación urbana, infraestructura sanitaria y equipamiento humano (Alomoto 2016). Como resultado, estos espacios periurbanos recibieron un significativo flujo migratorio entre la década de 1970 y 2000, período durante el cual el crecimiento demográfico de las zonas suburbanas fue responsable de la mayor parte del aumento de la población de Quito (Alomoto 2016), que se encontraba en condiciones precarias para la producción y reproducción de la economía de las unidades domésticas (Mahuarca 2019). Las zonas periurbanas, especialmente del sur de la ciudad, permanecieron durante décadas en la condición de “barrios informales” al no reunir las condiciones que el Municipio de Quito exigía para la regularización de los asentamientos humanos o porque los trámites de legalización se extendían durante años. Además, en el sector fue frecuente la presencia de traficantes de tierras que a través de engaños situaban a cientos de familias en predios que eran objetos de litigios interminables con los propietarios originales o con una cadena más o menos extensa de compradores informales, sin que medie ningún documento legal en las transacciones realizadas para el efecto. En 2001, el Municipio de Quito creó la administración Zonal Quitumbe (AZQ), donde se incluye Guamaní, en razón del fuerte crecimiento poblacional de este sector de la ciudad (Mahuarca 2019). Por su parte, Guamaní dejó de ser un barrio y se convirtió en una de las parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito. Está conformada por 120 barrios, entre los más conocidos se encuentran Matilde Álvarez, Guamaní Alto, Paquisha, San Fernando, La Victoria y Nueva Aurora. Los límites de la parroquia son: al norte la parroquia Quitumbe, al sur las faldas del volcán Atacazo (cantón Mejía), al este la parroquia de Turubamba al este y al oeste limita con la parroquia La Ecuatoriana (Mahuarca 2019).

En ese contexto, los cambios producidos en las bases sociales y económicas de la ciudad, sumados a su considerable crecimiento territorial y a la recordada reforma agraria dieron paso a que las tierras, utilizadas hasta entonces para la agricultura y la ganadería, sirvan para ocupaciones ciudadinas (Gallegos, Unda y Vivero 2003).

## 6. Universo y delimitación del área de estudio

El área de estudio corresponde al barrio conocido como Protección Guamaní, se localiza en el sur oeste de la ciudad de Quito, en la administración zonal Quitumbe, en la parroquia Guamaní, hacia las laderas del Atacazo. Limita al norte con los barrios: Protec. Ecuatoriana, Manuela Sáenz, Los Pedestales; al este limita con los barrios Tospamba, Esperanzaguamal T y José Peralta; al oeste con el barrio San Juan de Chillogallo y al sur con el cantón Mejía (Figura 2).

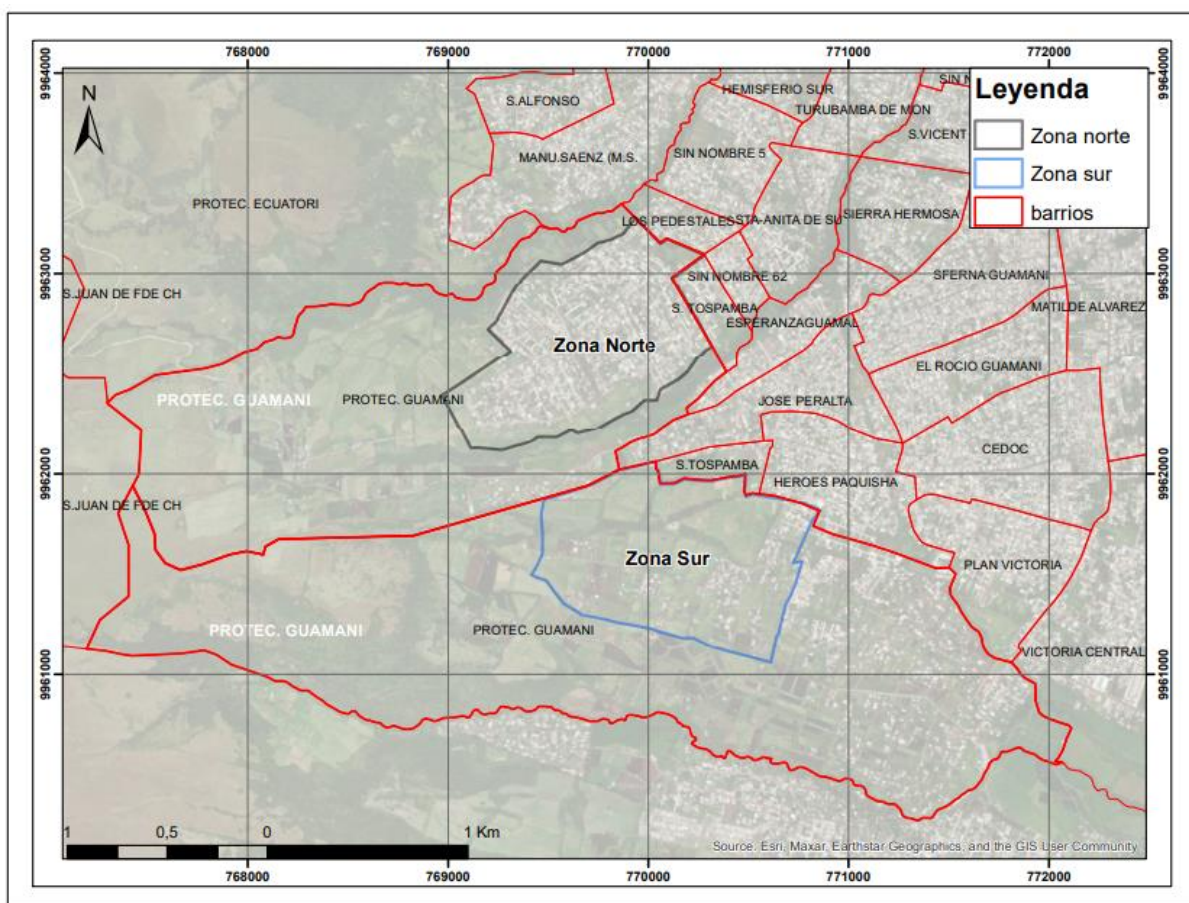


Figura 2. Ubicación del área de estudio

Fuente: DMQ. Elaboración propia.

Considerando la urbanización presente en el barrio, se han tomado dos áreas representativas del mismo, designándolas como zona norte y zona sur. Dichas áreas de estudio fueron tomadas con base de la división de la manzana censal preexistente y a una consideración de porcentajes estimados de ocupación. De acuerdo con los cálculos realizados, la zona norte tiene una superficie de 8894 ha, mientras que, la zona sur tiene una superficie de 94,63 ha. Como se puede observar en la Figura 3, la zona norte de

estudio, según el PUOS, se encuentra en una zona residencial urbana de baja densidad, por otro lado, la zona sur de estudio se encuentra mayormente en una zona de protección ecológica.

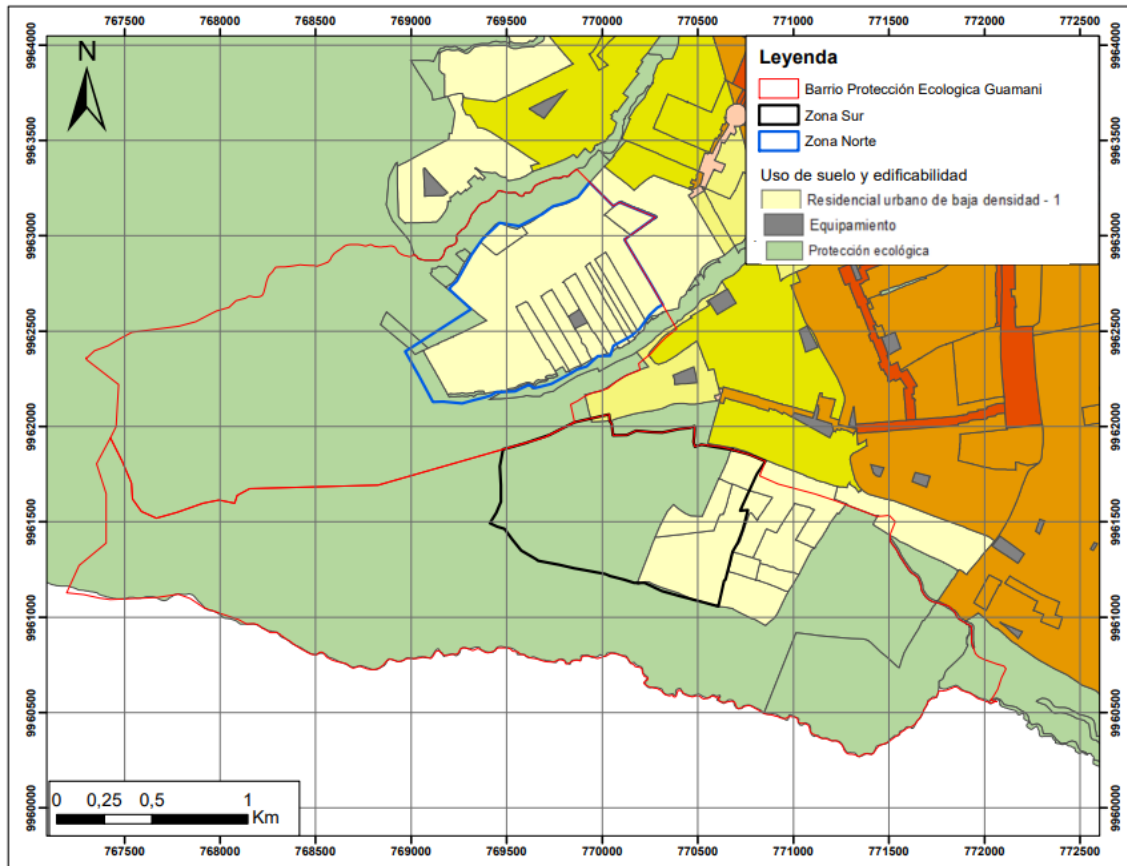


Figura 3. Delimitación del área de estudio

Fuente: DMQ. Elaboración propia.

## 7. Susceptibilidad de la ciudad de Quito a FRM

La exposición del territorio a diferentes amenazas es un factor fundamental en la vulnerabilidad espacial de la ciudad de Quito. Cuando un territorio está expuesto a una o varias amenazas, los elementos que se encuentran dentro de él se vuelven frágiles y aumenta el riesgo asociado. La presencia de amenazas, ya sean de origen natural (como terremotos, ciclones o erupciones volcánicas), antropogénicas (como actos de violencia o explosiones en fábricas químicas) o mixtas (como deslizamientos de tierra, inundaciones o epidemias), puede tener efectos devastadores en la población, los bienes, el patrimonio y las actividades del territorio en cuestión. Estas amenazas se caracterizan por su intensidad, frecuencia y extensión espacial, aunque en ocasiones puede ser difícil

definirlas con precisión. Además, la presencia de amenazas genera incertidumbre y desafíos políticos para gestionar los riesgos asociados (D'Ercole 2015).

En el entorno urbano, las amenazas pueden tener un origen natural, pero son rápidamente influenciadas por la conducta humana, las actividades y el uso del suelo. Esto implica que los procesos físicos pueden ser afectados en distintos niveles debido a la intervención del ser humano en el entorno. En otras palabras, los fenómenos naturales no siempre son los únicos responsables de la destrucción en el entorno urbano, sino que a menudo son modificados por la interacción humana con el medio ambiente.

Dependiendo de la zona geográfica y de las condiciones geológicas, Quito presenta altas susceptibilidades a FRM, aproximadamente el 50 % del área metropolitana de Quito presenta condiciones favorables para este tipo de amenazas (geomorfológicas) (Dávila 1992). Además, se ha identificado que algunos barrios de la ciudad son especialmente vulnerables a los deslizamientos (D'Ercole 2015), como ejemplos se tiene al barrio La Libertad, ubicado en San Roque, mismo que ha experimentado desprendimientos de tierra, y el barrio Manuela Sáenz, que se encuentra en el extremo sur de Quito.

Con ayuda del mapa de susceptibilidad, ver figura 4, realizado por el Municipio Metropolitano de Quito 2015, se puede observar que el barrio Protección Guamaní presenta diferentes niveles de susceptibilidad (Tabla 2). Según el mapa, se identifican las siguientes categorías de susceptibilidad y sus respectivos porcentajes:

Tabla 2  
Niveles de susceptibilidad del Barrio Protección Guamaní

Susceptibilidad	Superficie (ha)	Porcentaje
Muy alta	120.88	16.24 %
Alta	242.23	32.56 %
Moderada	160.21	21.53 %
Baja	220.73	29.66 %

Fuente: DMQ 2015  
Elaboración propia

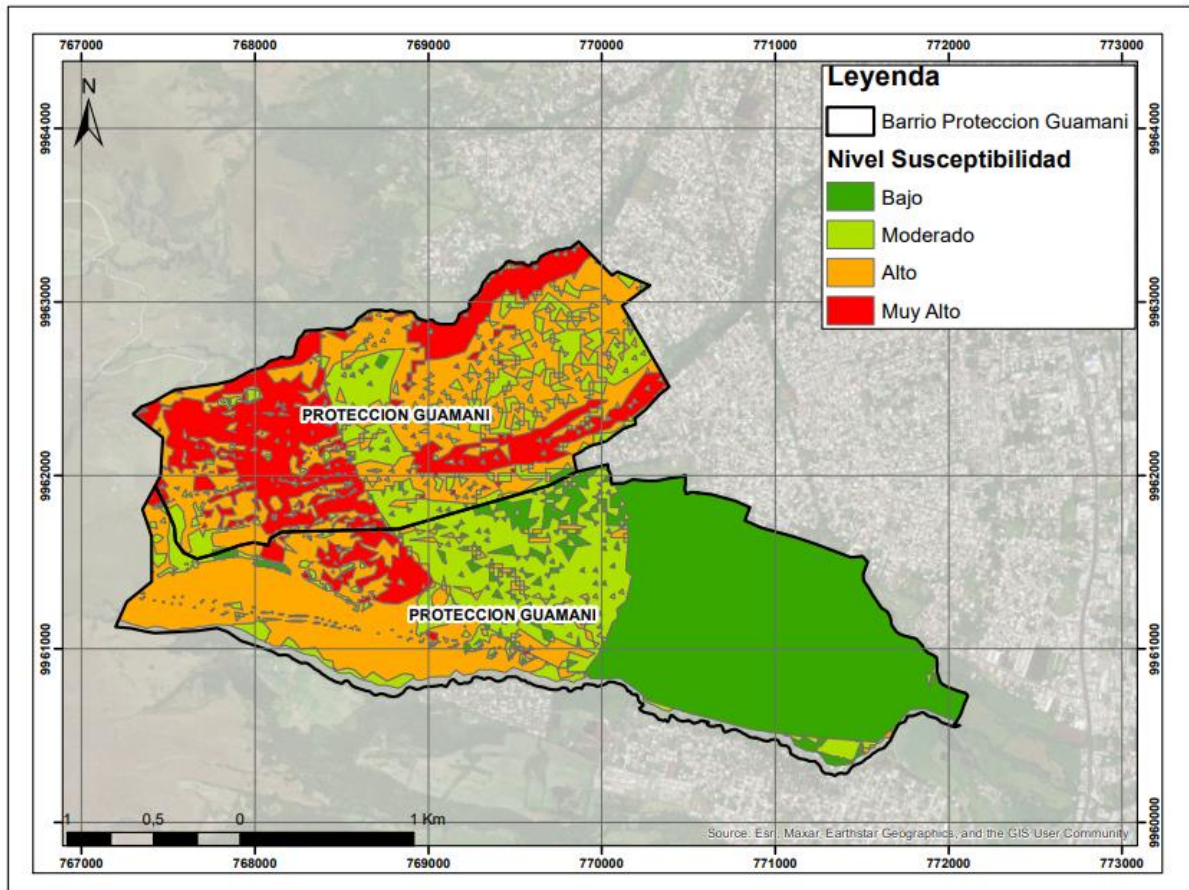


Figura 4. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. Fuente: (Geoportal del Distrito Metropolitano de Quito).

Fuente: DMQ. Elaboración propia.

Al analizar la capa de susceptibilidad (DMQ 2015) en el área de estudio específica del barrio Protección Guamaní (Figura 5), se observa que la zona norte presenta diferentes niveles de susceptibilidad, donde, se identifican los siguientes porcentajes de susceptibilidad, Tabla 3.

Tabla 3

**Niveles de susceptibilidad del área norte de estudio del DMQ año 2015**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Muy alta	6.10	6.85%
Alta	55.11	61.97%
Moderado	27.73	31.18%

Fuente: DMQ 2015  
Elaboración propia

Es importante destacar que la susceptibilidad más representativa en esta área es la susceptibilidad alta, con un porcentaje del 61,97 %. (Figura 5)

Al analizar la zona sur de estudio, se evidencia un contraste en los niveles de susceptibilidad, teniendo los siguientes porcentajes. tabla 4.

Tabla 4  
Niveles de susceptibilidad del área sur de estudio del DMQ año 2015

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Alta	1.66	1.75%
Moderada	32.85	34.71%
Baja	60.13	63.56%

Fuente: DMQ 2015  
Elaboración propia

Es notable que, en la zona sur, la susceptibilidad baja es la más representativa, con un porcentaje del 63,54 %. Le sigue la susceptibilidad moderada, con un 34,71 %, y finalmente la susceptibilidad alta, con tan solo un 1,75 %, ver Figura 5 (DMQ 2015). Hay que destacar que, por la escala, los polígonos que se observan en la Figura 5, se han suavizado, motivo por el cual se presentan en forma de triángulos.



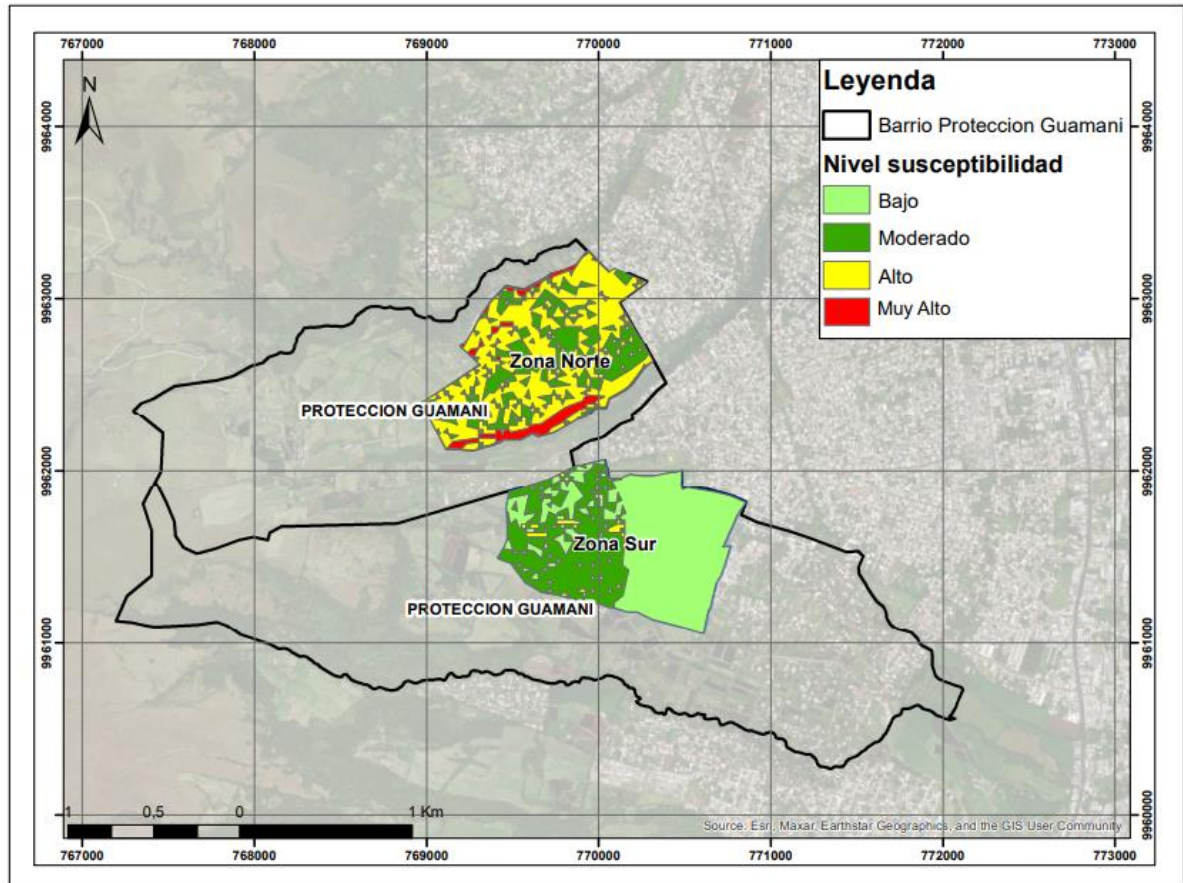


Figura 5. Susceptibilidad del área de estudio  
Fuente: DMQ. Elaboración propia.

## 8. Contexto geográfico del área de estudio

### 8.1. Clima

La región de Quito se sitúa en un área con un patrón de lluvias típico del Callejón Interandino, donde se experimentan dos temporadas húmedas: de febrero a mayo y de octubre a noviembre, influenciadas de manera alterna por masas de aire provenientes del Pacífico y de la Amazonía. No obstante, la posición de la ciudad en relación con el volcán Pichincha es crucial, ya que actúa como una barrera para los vientos del suroeste, lo que explica la menor cantidad de precipitaciones en la zona norte. El gradiente de lluvias de norte a sur es especialmente notable, mostrando una variación anual de precipitaciones que oscila entre 600 mm y 1,400 mm en aproximadamente 16 km. Además, la variación climática diaria puede ser significativa, alcanzando una amplitud térmica de hasta 20 °C (Portilla 2018).



De acuerdo con la clasificación climática propuesta por (Arias, 2007) dentro del área de estudio se encuentran los siguientes pisos climáticos.

- Muy húmedo frío. Este tipo de clima se localiza en las partes altas de la cordillera y coincide con la distribución espacial de los páramos.
- Húmedo mesotérmico. Este tipo de clima se encuentra distribuido en toda el área, por debajo del clima muy húmedo frío.
- Seco mesotérmico. Se encuentra ocupando el extremo nororiental del área, a la altura de Cotocollao. Tanto el clima muy húmedo frío como el seco mesotérmico permiten el desarrollo de actividades agropecuarias y forestales con restricciones. El Área de Influencia del Río Ecuador (AIER) conecta dos regiones con condiciones climáticas muy diferentes. Hacia el sur, se encuentra una zona fría y húmeda alrededor de las laderas del Atacazo, la cual en el pasado tenía las condiciones propicias para albergar densos bosques húmedos que continuaban la selva de Uyumbicho. En contraste, hacia el norte se encuentran los valles de Pomasqui y Lulubamba (San Antonio de Pichincha), los cuales tienen bajos niveles de precipitación durante todo el año (Ribadeneira 2019).

## 8.2. Rasgos geológicos

El Complejo Volcánico Atacazo-Ninahuilca (Figura 6), situado aproximadamente a 10 km al suroeste del área urbana de Quito, forma parte de la cordillera occidental de Ecuador. Sus coordenadas son 0°21' S (latitud) y 78°37' W (longitud). Este complejo se asienta sobre diversas formaciones y unidades geológicas.

- Fm. Pallatanga: Constituida de basaltos, microgabros, diabasas, peridotitas, pillow lavas, hialoclastitas y doleritas provenientes de un plateau oceánico con edades de  $87.1 \pm 1.66$  My. en circones y  $123 \pm 12$  My. en anfíboles (Vallejo 2007).
- Unidad San Juan: Secuencia ultramáfica de peridotitas serpentinizadas, peridotitas, dunitas, gabros, noritas, anortositas y doleritas provenientes de la parte intrusiva de un plateau oceánico con edades de  $87.1 \pm 1.66$  My. (Vallejo 2007).

- Fm. Yunguilla: Consiste de turbiditas, cherts, areniscas de grano fino y calciturbiditas depositadas posiblemente en una cuenca antearco de edad Maastrichtiense (Vallejo 2007).
- Fm. Silante: Está formada por conglomerados, lodolitas, lutitas y tobas violetas. Dentro de esta formación está la facies Tandapi que constituye una secuencia volcánica con andesitas y conglomerados y brechas volcánicas. Todas estas rocas son formadas en un ambiente de arco volcánico continental que tiene una edad de Maastrichtiense a Paleoceno Temprano (Vallejo 2007).
- Unidad Macuchi: Consiste de pillow lavas, tobas ricas en líticos de composición basáltica y andesítica, brechas basálticas, intrusiones andesíticas, turbiditas y cherts provenientes de un arco insular con edades que varían entre  $42.62 \pm 1.3$  My y  $35.12 \pm 1.66$  My (Vallejo 2007). El complejo Volcánico Atacazo-Ninahuilca está formado por tres edificios volcánicos que son del más antiguo al más joven: La Carcacha, Atacazo y Ninahuilca (Figura 6). El edificio La Carcacha se encuentra ubicado en la parte NNE del complejo volcánico. Posee un diámetro aproximado de 4,5 km y una altura máxima de 3 880 m s. n. m. (Figura 6). Este edificio está altamente erosionado por lo cual su relieve forma pendientes muy suavizadas. Petrográficamente está formado de andesitas con dos piroxenos y olivino que tienen una edad de 1,3 Ma para su parte más joven (Hidalgo 2006).

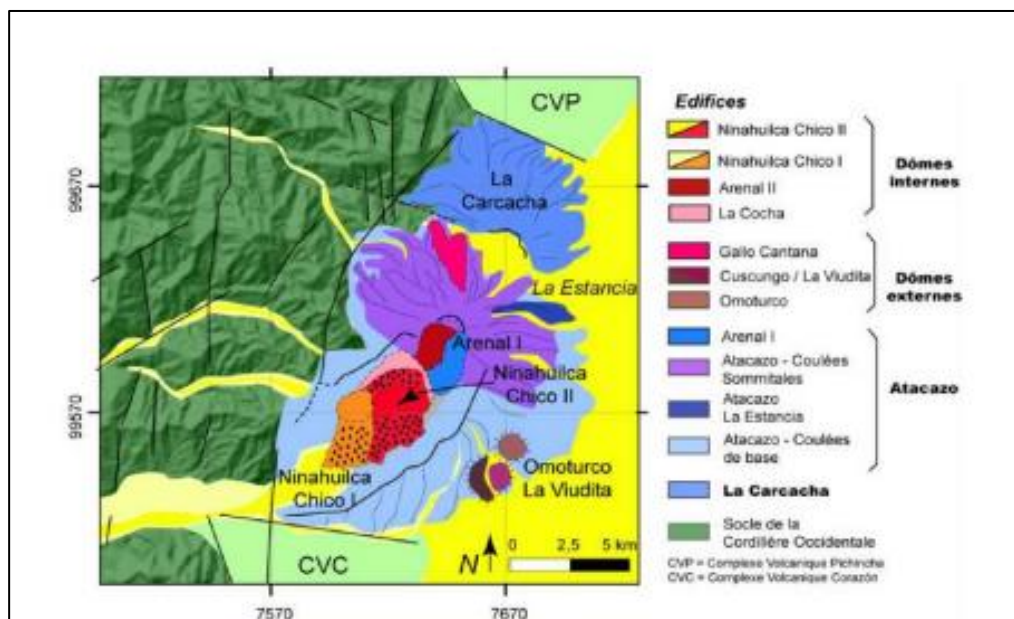


Figura 6. Unidades volcánicas del complejo Atacazo Ninahuilca

Fuente: Hidalgo 2006

El edificio Atacazo está formando la mayor parte del complejo volcánico. Con una forma elíptica de 10x12 km de diámetros y con su eje principal en dirección NE-SO, alcanza una altura de 4 455 m s. n. m. (Figura 6). Petrográficamente posee dos tipos de formaciones rocosas: coladas de lava de composición andesítica y domos de lava de composición dacítica. Las coladas de lava se encuentran formando la mayor parte del edificio volcánico y sus edades varían de 220 a 195 ka para las más antiguas y 83 ka para las más recientes (Hidalgo 2006).

Los domos de lava que presentan composición dacítica se encuentran distribuidos en la parte norte, centro y suroriente del edificio Atacazo y lo conforman los domos Gallo Cantana, Omoturco, Cuscungo, Arenal I y La Viudita (Figura 6), siendo este último datado y presentando edades de 71ka (Hidalgo 2006).

Resumiendo, el edificio Atacazo ha tenido erupciones efusivas que originaron las coladas de lava andesíticas. En uno de estos periodos eruptivos, se produjo una erupción que causó el colapso del flanco SO del edificio Atacazo, formando de esta manera una estructura en forma de anfiteatro abierta hacia el SO; este periodo eruptivo fue definido N1, representando el final de la actividad del edificio Atacazo e inicio de la actividad del edificio Ninahuilca (Almeida 1996).

Los periodos eruptivos del Ninahuilca han sido definidos N1, N2, N3, N4, N5 y N6 (Almeida, 1996), de los cuales N5 y N6 han generado grandes depósitos de caída de piroclastos y flujos asociados. Los depósitos de caídas de piroclastos tienen espesores

aproximados de 25 cm al oriente y 100 cm al occidente; por otra parte, los espesores de corrientes de densidad piroclástica asociados superan los 5 m al oriente y 100 m al occidente (Andrade 2012). La estimación de los volúmenes para la caída de piroclastos es de al menos  $1,4 \text{ km}^3$  para N5 y  $1,0 \text{ km}^3$  para N6 (Hidalgo 2008).

Su edificio volcánico muestra evidencia de erosión y actividad pasada, lo que indica que es un volcán viejo. En términos de actividad volcánica reciente, no se han registrado erupciones históricas en el volcán Atacazo. Sin embargo, esto no descarta la posibilidad de que pueda volver a entrar en erupción en el futuro, ya que se considera un volcán potencialmente activo (Andrade, Hidalgo y Monzier 2012).

La zona de estudio se encuentra hacia los flancos del volcán Atacazo, donde se pueden encontrar coluviales antiguos y flujos de piroclastos. Así mismo se observa la presencia de superficie de conos de deyección. El mapa geológico se lo tomó de los datos de acceso libre del geo portal del Distrito Metropolitano de Quito y se lo validó con el realizado por Andrade, Hidalgo y Monzier (2012)

Analizando el mapa de geología tomado del geoportal del Municipio de Quito (2015), se pueden describir los siguientes depósitos y formaciones (ver Figura 7).

- Depósitos Aluviales: Los depósitos cuaternarios de este tipo están mayormente compuestos por sedimentos como arcillas, limos y arenas que han sido transportados por cuerpos aluviales.
- Depósitos coluvio aluviales: Estos depósitos son el resultado de la deposición de materiales aluviales por corrientes fluviales, combinados con los aportes laterales de los relieves circundantes debido a la acción gravitacional.
- Formación Cangahua: La cangahua está compuesta principalmente por arcillas, limos y arenas, y su origen volcánico se debe a la caída de material piroclástico fino, como cenizas, que posteriormente se endurece por procesos edáficos.
- Volcánicos del Atacazo. Estas rocas están expuestas en las partes más altas del volcán. Se encuentra formado principalmente de flujos de lavas andesíticas (EC MAGAP 2013).

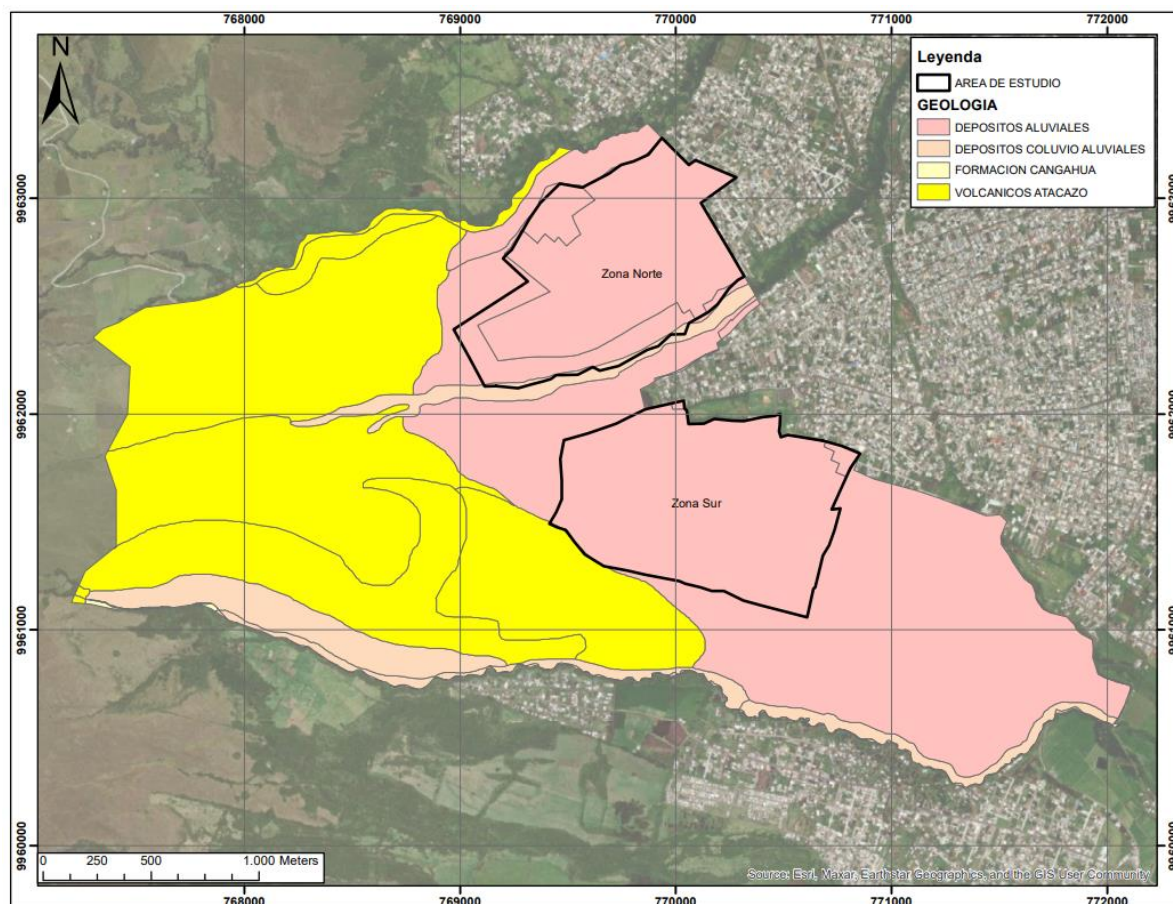


Figura 7. Geología del Barrio Protección Guamaní  
Fuente: DMQ. Elaboración propia.

### 8.3. Vulcanismo

En el norte de Ecuador, el vulcanismo ha continuado hasta la actualidad, dando lugar a la formación de al menos 84 centros volcánicos en los últimos 2.58 millones de años (Bernard y Andrade 2011). De estos centros, 20 han mostrado actividad confirmada en el Holoceno, y, además, 6 podrían haber tenido actividad en este mismo periodo (Santamaria 2017). Todo este fenómeno volcánico se ha desarrollado en cuatro regímenes diferentes: el Frente Volcánico, el Valle Interandino, El Arco Principal y el Tras Arco; cada uno con sus propias similitudes y diferencias (Figura 8).

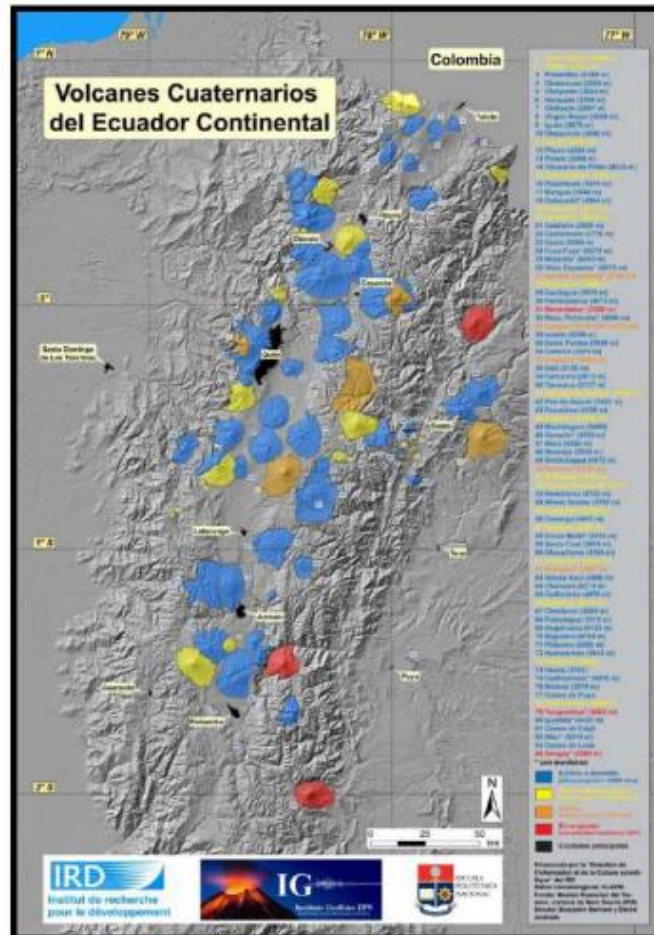


Figura 8. Volcanes cuaternarios del Ecuador Continental  
Fuente: IGEPN 2011

El Frente Volcánico, ubicado en la Cordillera Occidental, posee un basamento volcánico basáltico del Cretácico (Reynaud et al. 1999; Spikings et al. 2005; Spikings et al. 2002; Vallejo et al. 2009); su extensión abarca desde el Volcán Chimborazo al sur hasta el Chiles al norte; siendo algunos de sus centros volcánicos el Chiles, Cuicocha, Pululahua, Pichincha, Atacazo-Ninahuilca, Corazón - Bómboli, Illinizas, entre otros, que están compuestos de manera general por andesitas y dacitas (Barberi et al. 1988; Hall & Beate 1991; Hall et al. 2008; Santamaria 2017). Dentro de la cordillera occidental se hallan varios estratovolcanes y complejos dómicos que pueden alcanzar alturas de hasta 6 263 m s. n. m. como es el caso del Chimborazo y las edades más antiguas de estos edificios rondan los 1.3 Ma (Barberi et al. 1988).

Durante el Holoceno, la actividad volcánica observada mediante los depósitos es menor en comparación con el Pleistoceno, evidenciándose que se produjeron erupciones con un VEI=5 en los casos de los volcanes Pululahua y Atacazo-Ninahuilca (Andrade et al. 2012) y VEI=6 en el volcán Quilotoa (Hall & Mothes 2008). Históricamente solo 8



centros volcánicos han tenido actividad, entre los más importantes constan los volcanes Tungurahua, Guagua Pichincha, Reventador y Cotopaxi con erupciones que no superaron un VEI 4 como en el caso del Reventador en 2002 (Santamaria 2017).

El complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca se ubica 10 km al suroccidente del perímetro urbano de Quito (Figura 9). Como parte de la Cordillera Occidental del Ecuador, este complejo se encuentra entre el Complejo Volcánico Corazón-Bómboli al sur y el Complejo Volcánico Pichincha al norte.

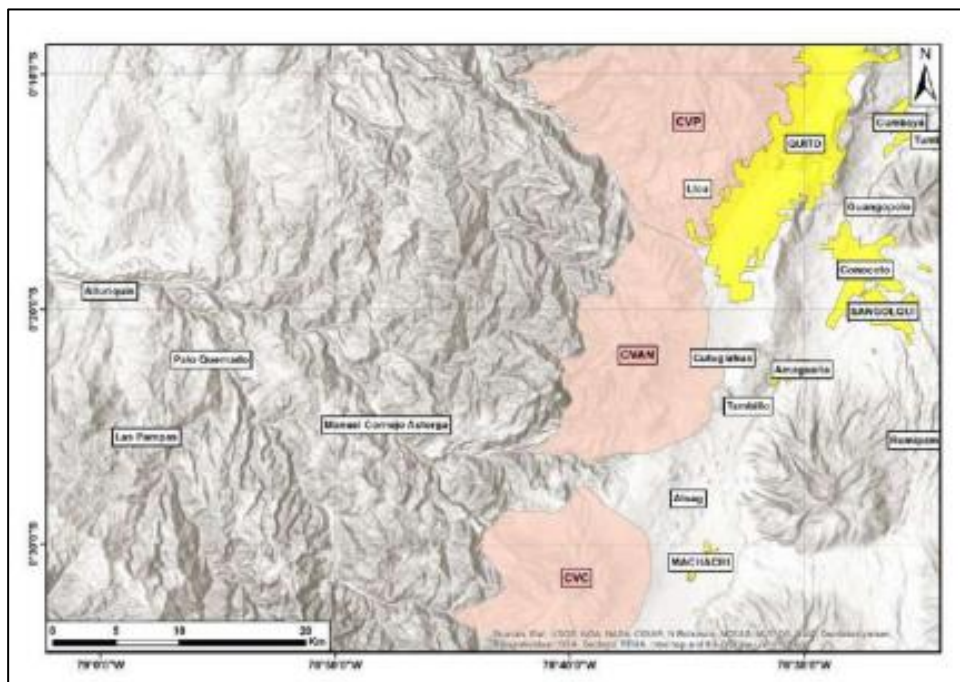


Figura 9. Localización del complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca

Fuente: Proaño 2018

#### 8.4.Suelo

Las laderas del volcán Atacazo se caracterizan por la presencia de andisoles, que son un tipo de suelo que se desarrolla sobre cenizas volcánicas. Estos suelos son generalmente muy jóvenes y, a diferencia de otros tipos de suelo, se renuevan en su parte superior cada vez que hay una nueva caída de cenizas. En contraste, en otros tipos de suelo es la parte superior la que siempre evoluciona más (Andrade, Hidalgo, y Monzier 2012).

Debido a la composición de los depósitos volcánicos, que contienen una alta proporción de vidrios, se produce una rápida alteración de los suelos andisoles. Esto conduce a la formación de complejos aluminio-orgánicos y minerales poco cristalizados como los alófanos y la imogolita (Mena, Castillo, y Flores 2011).

## 9. Amenazas naturales

### 9.1. Amenaza volcánica

La amenaza más severa está relacionada con la eventual erupción del volcán Guagua Pichincha y la potencial reactivación del complejo volcánico Atacazo Ninahuilca.

#### -Guagua Pichincha

La última erupción del volcán Guagua Pichincha en 1999 registró múltiples consecuencias por caída de ceniza en las zonas afectadas (D'Ercole y Metzger, 2000); entre ellas se pueden mencionar evacuación de la población del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), y de la comunidad rural de Lloa, pérdidas económicas, cierre del aeropuerto y exportaciones desde la capital, entre otras. En este sentido, a medida que se incrementa el VEI; el número afectados lo haría también (Figuras 10 y 11).

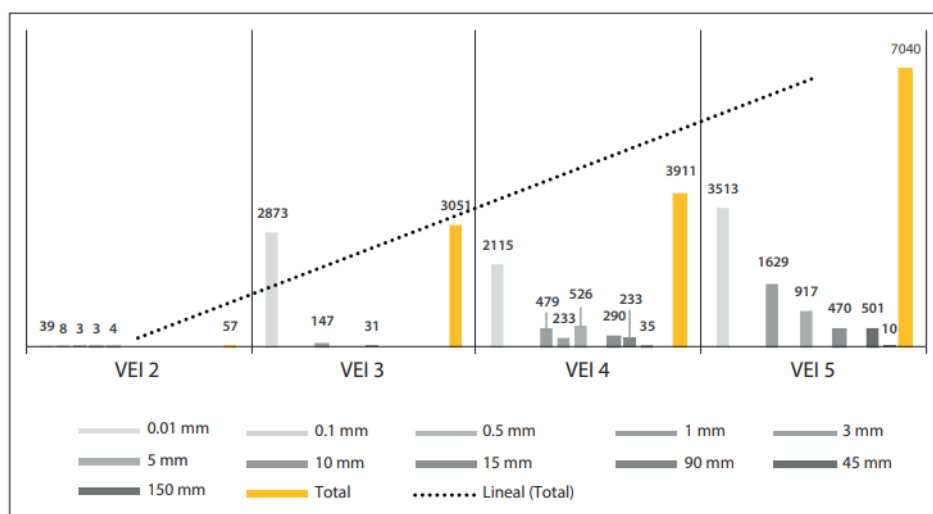


Figura 10- Número de posibles poblados afectados clasificados por espesor de ceniza y evento analizado del volcán Guagua Pichincha.

Fuente: Pavón 2021



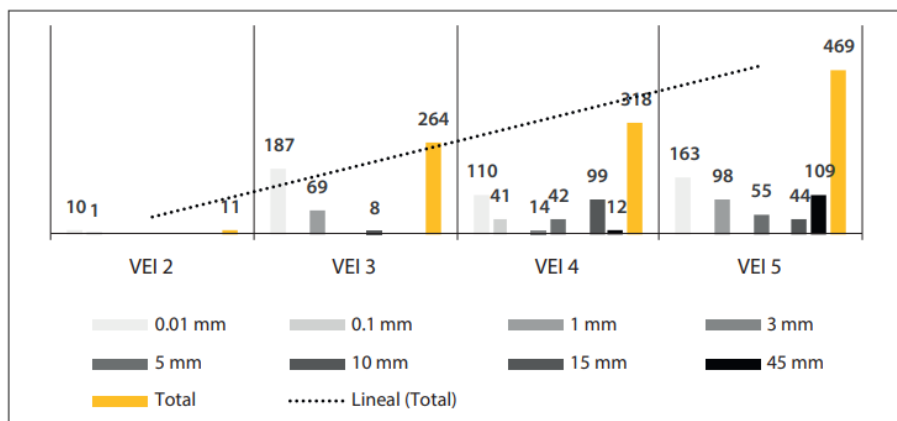


Figura 11- Número de posibles zonas urbanas afectadas clasificados por espesor de ceniza y evento analizado del volcán Guagua Pichincha.

Fuente: Pavón 2021

Según el estudio de: Zonificación de la amenaza por dispersión y caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha, el volcán Guagua Pichincha presenta 5 escenarios planteados (VEI2, VEI3, VEI4, VEI4 y VEI5) al 75% de probabilidad de ocurrencia.

Guagua Pichincha VEI2: revela que un total de 57 poblados se verían afectados por la caída de ceniza con espesores 0.01 mm hasta 5 mm de acumulación. De estos posibles poblados afectados, 15 corresponden a cabeceras parroquiales y 11 son zonas urbanas (Pavón y Contreras 2021).

Guagua Pichincha VEI3: daría como resultado un total de 3 678 poblados y 318 zonas urbanas afectadas por caída de ceniza con espesores de 0.01 mm hasta 45 mm de acumulación. De estos posibles poblados afectados, 50 corresponden a cabeceras parroquiales. Considerando el impacto y su localización territorial, 20 parroquias registrarían un impacto alto, 119 parroquias impacto medio y 78 parroquias tendrían un impacto bajo; dando un total de 4 520 750 habitantes afectados, considerando los datos disponibles (Pavón y Contreras 2021)

Guagua Pichincha VEI4: un total de 3 051 posibles poblados serían los afectados ante la caída de ceniza de un evento grande del volcán Guagua Pichincha (VEI4), Los espesores esperados se encontrarían entre los 0.01 mm y 90 mm de acumulaciones, afectando a 56 cabeceras parroquiales y 264 zonas urbanas. Considerando el impacto y su localización territorial, en 98 parroquias se obtendría un impacto medio y en 66 el impacto sería bajo; registrando 4 240 559 habitantes directamente afectados, acorde a los datos disponibles (Pavón y Contreras 2021).

Guagua Pichincha VEI5: afectaría a un total de 7 040 poblados, 71 cabeceras parroquiales y 469 zonas urbanas. Esta afectación presentaría acumulaciones de ceniza de al menos 0.01 mm hasta espesores que alcanzarían los 150 mm en zonas proximales al volcán. Considerando el impacto y su localización territorial, 33 parroquias registrarían un impacto alto, 235 parroquias un impacto medio y 139 parroquias un impacto bajo; con un total de 6 470 176 habitantes afectados, tomando en cuenta los datos analizados (Pavón y Contreras 2021).

-Atacazo Ninahuilca

Se ha estudiado los depósitos de sus erupciones (corrientes de densidad piroclástica y capas de ceniza) en algunos trabajos previos (Hidalgo, 2006; Hidalgo et al., 2008), en base a lo cual se ha deducido tres escenarios eruptivos probables. Dichos escenarios son descritos a continuación:

Escenario 1: Erupción con Índice de Explosividad Volcánica (VEI) 1 a 2 con una altura de columna eruptiva de 4 km sobre el nivel del cráter, expulsando un volumen de 0.001 km<sup>3</sup>. Corresponde a una actividad eruptiva vulcaniana, poco explosiva con expulsión de material volcánico. Depósitos comunes son la caída de tefra y ceniza en las cercanías del volcán (Proaño 2018).

Escenario 2: Erupción con Índice de Explosividad Volcánica (VEI) 3 a 4 con una altura de columna eruptiva de 13 km sobre el nivel del cráter, expulsando un volumen de 0.1 km<sup>3</sup>. Corresponde a una actividad eruptiva vulcaniana a pliniana, explosiva con expulsión de material volcánico. Depósitos comunes son de caída la tefra y ceniza a distancias moderadas del volcán, corrientes de densidad piroclástica en las proximidades del volcán con emisión de domos pequeños y generación de lahares secundarios de poco volumen (Proaño 2018).

Escenario 3: Erupción con Índice de Explosividad Volcánica (VEI) 5 con una altura de columna eruptiva de 29.5 km sobre el nivel del cráter, expulsando un volumen de 0.8 km<sup>3</sup>. Corresponde a una actividad eruptiva pliniana a ultra-pliniana, muy explosiva con expulsión de material volcánico. Depósitos comunes son la caída de tefra y ceniza a distancias lejanas del volcán, corrientes de densidad piroclástica con alcances moderados desde el volcán, emisión de domos grandes, flujos de lava y lahares secundarios de grandes volúmenes (Proaño 2018).

## **9.2. Sismicidad**

La ciudad de Quito se encuentra expuesta a un alto riesgo sísmico. En el Valle Interandino, se han registrado numerosos sismos que han afectado tanto a la ciudad como a las áreas circundantes, dicho riesgo sísmico está estrechamente relacionado a la falla de Quito, conocida como la falla EC-3, misma que se caracteriza por ser una falla inversa. Esta falla se extiende a lo largo de las pendientes que apuntan hacia los Valles de Tumbaco y los Chillos, con bloques que se encuentran en diferentes alturas. El bloque de Quito se encuentra más elevado que el de los valles, lo que hace que la ciudad esté aproximadamente 400 metros más arriba. La falla de Quito ha sido responsable de la formación de una cadena de colinas en el perfil oriental de la ciudad, como El Tablón, Puengasí, Lumbisí, Batán-La Bota, Carcelén-El Inca, Calderón-Bellavista y Catequilla. Se han registrado eventos sísmicos relacionados con esta falla, algunos de los cuales han causado daños en la ciudad (Yepes 2014).

La última vez que Quito sufrió daños por un terremoto fue en 1990, en la noche del 10 de agosto, en que un temblor de magnitud Mw 5.3 ubicado a escasos dos kilómetros al norte del epicentro del temblor del día 12 de agosto de 2014 (Mw 5.1), destruyera casas de adobe y tapial en un radio de 12 km a la redonda, además de algunas construcciones modernas sobre todo en las zonas de Pomasqui y Pusuquí (Yépez 2014).

## **9.3. Movimientos de ladera**

El término deslizamiento de tierras corresponde a un término general que involucra los diferentes tipos de movimientos de ladera, este no debe confundirse con el término deslizamiento, mismo que es uno de los tipos particulares de movimiento (Chacón 2012).

Desde una perspectiva mecánica, los tres tipos fundamentales de movimientos son: caídas, deslizamientos y flujos. Se distinguen entre sí porque los dos primeros están relacionados con rupturas en el terreno dentro del ámbito del comportamiento frágil, mientras que el tercero, los flujos, se vincula a deformaciones que ocurren principalmente en el dominio plástico o viscoso. Las caídas y los deslizamientos se diferencian en que, en las caídas, hay una ruptura generalmente frágil que define un bloque de cualquier tamaño, seguido de una trayectoria libre desde el punto de origen hasta el lugar de reposo.

Por otro lado, en los deslizamientos, el desplazamiento ocurre sobre una superficie plana o cilíndrica (Chacón 2012).

### **3.1. Proyecciones de población**

A nivel global y regional, la distribución de la población sobre el territorio presenta una gran variabilidad. No existe una uniformidad en la forma en que las personas se distribuyen en diferentes partes del mundo o incluso dentro de una misma región. Algunas áreas pueden estar densamente pobladas, mientras que otras pueden tener una densidad de población muy baja (Martínez 2013).

Cada ciudad, ya sea grande o pequeña, tiene un escenario único que se caracteriza por una combinación específica de factores. Estos factores incluyen la disponibilidad de recursos naturales, como agua y tierra fértil, y el nivel de desarrollo socioeconómico, que puede incluir aspectos como la infraestructura, la educación y las oportunidades de empleo (Arquipino 2012). Estos factores pueden influir en gran medida en la concentración o dispersión de la población. Por ejemplo, las ciudades con abundantes recursos naturales y un alto nivel de desarrollo socioeconómico pueden atraer a más personas, resultando en una alta concentración de población (Martínez 2013).

Existen varios tipos de métodos que se pueden utilizar para realizar la proyección de la población, entre ellos se tiene:

- Proyección aritmética
- Proyección geométrica
- Proyección exponencial

La confiabilidad de estas proyecciones se expresa mediante el coeficiente de determinación  $R^2$ , siendo los resultados más confiables cuando  $R^2$  es igual a 1 o se acerca a 1. A medida que  $R^2$  se aleja de 1, el resultado de la proyección se vuelve más frágil y menos confiable (Aguilera 2006). El valor de  $R^2$  cuantifica la proporción de la variación de la variable dependiente (y) con respecto a la variable independiente (x) (Martínez 2013).

### **3.2. Matriz de Saaty**

La matriz de Saaty es una herramienta utilizada en el método de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés) desarrollado por Thomas Saaty (1980). Esta matriz se utiliza para evaluar y ponderar diferentes criterios o alternativas en un proceso

de toma de decisiones. La matriz de Saaty permite comparar de manera sistemática y estructurada las diferentes opciones en función de su importancia relativa, esta matriz permite convertir aspectos cualitativos en valores cuantitativos, facilitando la comparación entre las alternativas y generando resultados más objetivos y confiables (Ramirez 2004).

La escala numérica para jerarquizar las variables se muestra a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5  
**Escalas para poder hacer la ponderación de los diferentes parámetros**

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
1	Igual ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Saaty, Thomas 1994

Elaboración propia

Como primer paso se seleccionan alternativas en función de una serie de criterios o variables que suelen entrar en conflicto, y se establece una estructura jerárquica.

- El objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores.
- Para que sea eficaz se debe elegir bien los criterios y subcriterios, los cuales deben estar bien definidos, ser relevantes y mutuamente excluyentes. Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones a pares.

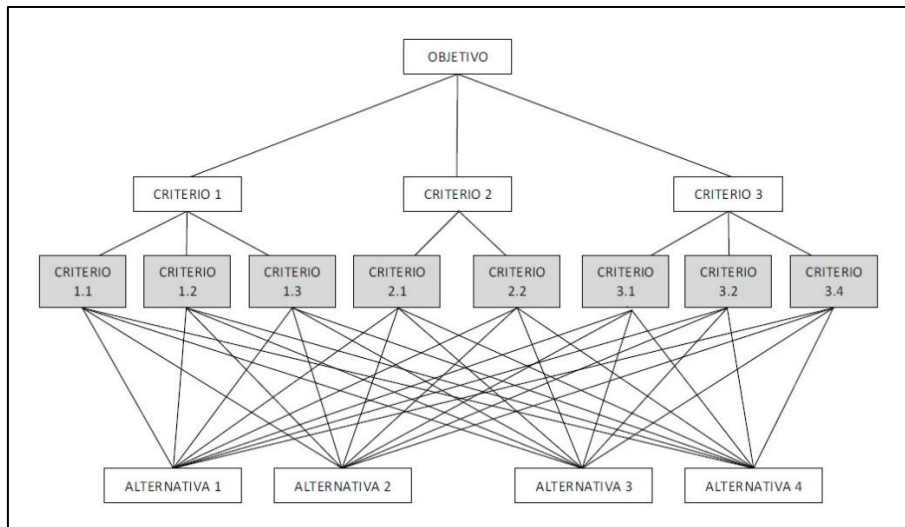


Figura 12- Ejemplo de estructura jerárquica  
Fuente: Saaty, Thomas 1994

La segunda etapa consiste en comparar los criterios del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior para la cual se utiliza una escala fundamental, esto se realiza dentro de una matriz de decisión (Tabla 5).

La matriz se completa de la siguiente manera.

1. Construir una matriz cuyas filas y columnas contengan los objetivos a comparar.
2. Comparar cada fila con todas las columnas y anotar el valor resultante en la casilla correspondiente, se toma el primer objetivo verticalmente y se compara con cada uno de los demás objetivos horizontalmente (Tabla 6).

Tabla 6

**Comparación de Criterios**

	C1	C2	Cn	Pesos W
<b>A =</b> C1	1	5		
C2	1/3	1		
Cn			1	

Fuente: Saaty, Thomas 1980

3. Comprobar valores asignados.
4. Sumar puntuaciones por columnas (Pi).
5. Se calcula los autovectores (Wi), se multiplica los valores de la toda la fila y se eleva a la 1/n.

6. Calcular los pesos  $C_i$  ( $W_i/P$ ).
7. Si se prefiere se puede indicar el porcentaje de cada fila.
8. Priorizar cada objetivo según los valores obtenidos.

Los fundamentos del análisis multicriterio son:

- Muestra una estructuración del modelo jerárquico
- Prioriza los elementos del modelo jerárquico.
- Compara relaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación los elementos por asignación de pesos.
- Clasificación de acuerdo con los pesos dados (Gallardo 2009)

Por otro lado, las ventajas del análisis se enumeran a continuación.

- Sustento matemático
- Estudiar el problema por partes.
- Mide criterios cuantitativos y cualitativos por medio de una escala común.
- Facilita la incorporación de la participación de diversas personas o grupos con intereses variados y lograr un acuerdo general

### **3.2.1. 3.4 Factor desencadenante-Parámetro precipitación**

Las lluvias son un factor clave en la formación de flujos de escombros y otros tipos de movimientos en masa. Se pueden generar en una cuenca en función al área de captación, las alturas, pendientes y cobertura vegetal (Faustino 2006); la respuesta del evento de escorrentía se producirá de forma inmediata o tardará un tiempo hasta alcanzar el cauce de la quebrada a través del desplazamiento de un flujo por sus afluentes.

La parroquia de Guamaní tiene un clima cálido en verano, con temperaturas que van desde los 10 a 24 °C, y un clima frío en invierno, con temperaturas de 3 a 14 °C. La temperatura media varía entre 19 °C y 28 °C según el INAMHI 2021 (Tabla 13). Estas variaciones se deben a la ubicación de la parroquia en un bosque andino, que cuenta con diferentes ecosistemas, como reservas naturales y fuentes de agua (Espinoza 2021).



Figura 13. Matriz de datos de clima en Guamaní  
Fuente: INAMHI 2021

Analizando los datos de la estación meteorológica M003 IZOBAMBA, la más cercana al área de interés, desde el año 1962 hasta 2019 se tiene la tabla 7 y la imagen 14.

Tabla 7  
Precipitación media de la estación meteorológica Izobamba

IZOBAMBA														
LATITUD 00° 22.0' S		LONGITUD 78°33.0' W				ELEVACION 3058MTS								
PARAMETRO (Valores medios)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media	TOTAL
PRECIPITACIÓN (mm)	131.5	158.6	186.9	196.8	147.2	66.2	32.3	37.2	80.0	134.8	143.0	130.7	120.4	1445.3

Fuente: INHAMI  
Elaboración propia

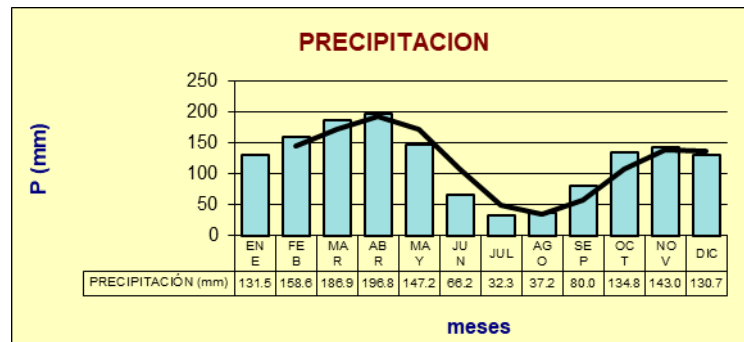


Figura 14- Precipitación media de la estación Izobamba entre los años 1962 - 2019  
Fuente: INHAMI

Analizando el conjunto de datos se tiene que los meses más lluviosos en la zona de interés se encuentran entre los meses de febrero a mayo, siendo el mes con más lluvias el mes de abril, mientras que los meses más secos corresponden a los meses de junio hasta septiembre. Siendo el mes de julio el mes más seco (Figura 14), y la tabla con el resumen de los datos se encuentra en el anexo 1.



En la Figura 15 se observa los factores condicionantes y desencadenantes utilizados.

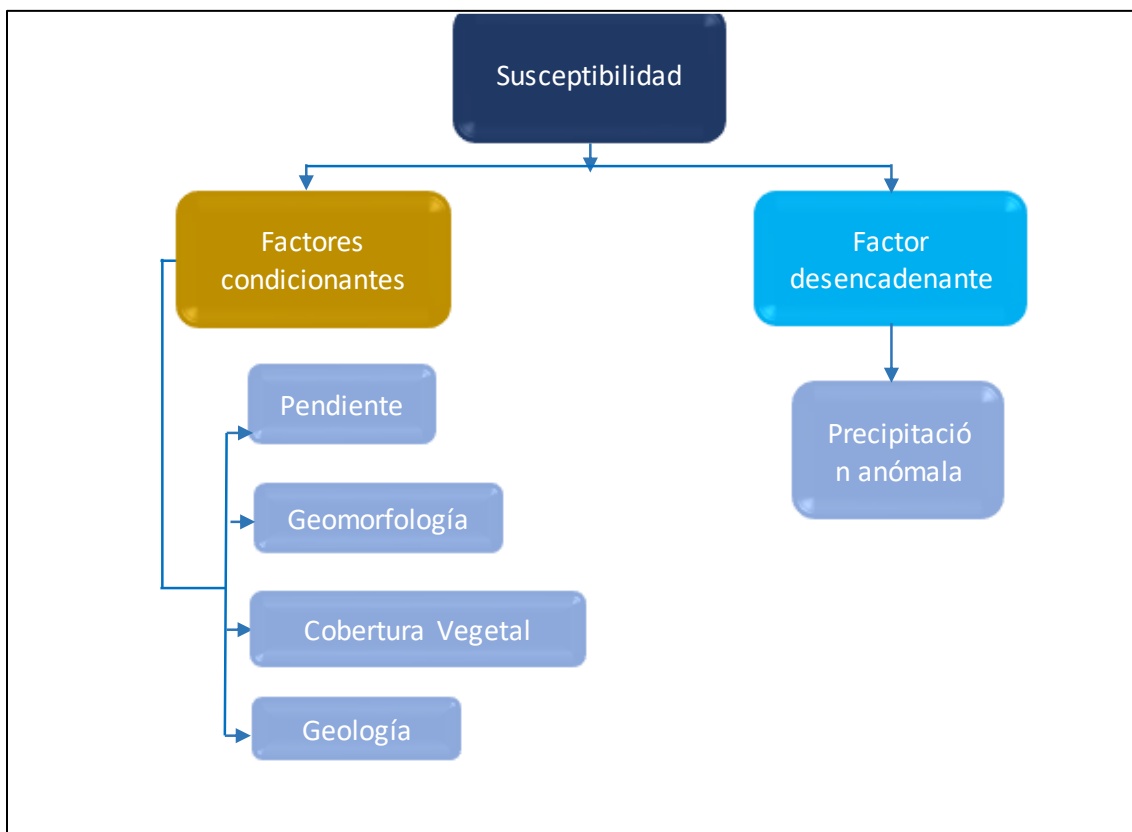


Figura 15. Factores condicionantes utilizados.  
Elaboración propia.



## Capítulo segundo

### Metodología

El presente trabajo escrito fue elaborado siguiendo una secuencia metodológica constituido por seis fases principales que han perseguido la consecución de los objetivos planteados. En la Figura 16 se esquematizan las diferentes etapas ejecutadas:

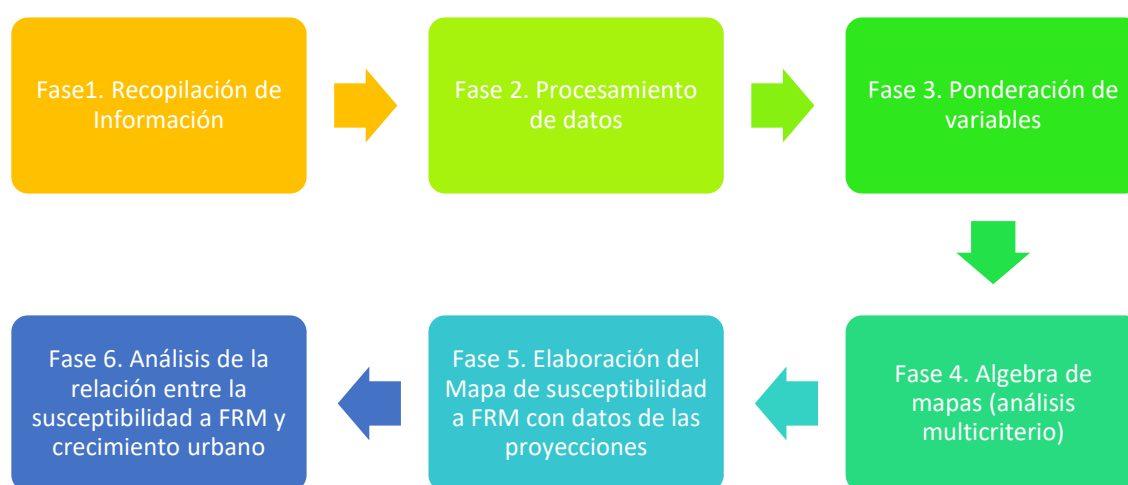


Figura 16. Flujo de trabajo  
Elaboración propia.

#### 1. Etapa exploratoria

En la etapa inicial se seleccionó el tema y el área de estudio después de evaluar su viabilidad en función de la disponibilidad de datos requeridos para el análisis e interpretación. A continuación, se analizaron los pasos necesarios para alcanzar los objetivos de la investigación, partiendo del objetivo principal del proyecto. En esta etapa se investigó las fuentes bibliográficas disponibles, tanto de manera digital como física, esto con el objetivo de tener suficiente información para desarrollar el tema. Las principales fuentes tomadas en cuenta fueron los datos del geoportal del Municipio de Quito, aquí las principales capas tomadas en cuenta fueron: shape de geología, geomorfología, pendientes, uso de suelo, mapa de susceptibilidad a movimientos en masa. Todas las capas antes mencionadas corresponden al año 2015.

Una vez establecido el enfoque de la investigación, asegurando también la disponibilidad de datos, se delimitó el ámbito geográfico de estudio, en este caso específico dos zonas del barrio Protección Guamaní, dichas áreas se determinaron en función de delimitaciones barriales preexistentes. A partir de ahí, se inició el proceso de análisis de los datos obtenidos, la digitalización de las viviendas en la zona de interés en los años 2019 (ortofoto 2019) y 2022 (datos del censo 2022), misma información que es necesaria para la proyección de construcciones, posteriormente se elaboraron mapas de susceptibilidad de los mismos años.

## **2. Construcción del marco teórico**

El marco teórico presentado consideró las características más relevantes para comprender y cumplirlos objetivos establecidos en el proyecto de investigación. Se tuvieron en cuenta las amenazas naturales que afectan a la zona, la geología característica de las laderas del volcán Atacazo, las características climáticas, la geomorfología, las pendientes del terreno y el uso y ocupación del suelo. Estos aspectos fueron necesarios para comprender la dinámica física que se presenta en el área de interés, así también se investigó la historia de la parroquia Guamaní se analizó su evolución. Todo lo antes mencionado son datos y términos esenciales para poder realizar de una manera correcta tanto la proyección de población como los mapas de susceptibilidad.

## **3. Proyecciones de población**

Es importante tener en cuenta que todas las proyecciones tienen un grado de incertidumbre, y su margen de error aumenta a medida que se extiende el período de proyección (candelTEC 2019), especialmente en barrios pequeños debido a la falta de información. En el caso de esta investigación, se analizaron las proyecciones de población calculadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) utilizando datos demográficos del período 2019-2022. Sin embargo, dado que el objetivo de esta investigación es proyectar el crecimiento urbano en el área sur del barrio Protección Guamaní hasta el 2030, mediante el método de regresión lineal se calculó la urbanización que se presentará en ese año.

#### 4. Insumos

Tras constatar que se dispone de los datos suficientes, como lo son capas tipo .shp, bibliografía, imágenes satelitales, censos y recortes de periódicos, se procedió a la recopilación de información (Tabla 8).

Tabla 8  
Insumos Utilizados

Insumo	Año	Formato	Fuente
Geología	2015	.shp	Geoportal DMQ
Geomorfología	2015	.shp	Geoportal DMQ
Cobertura vegetal	2015	.shp	Geoportal DMQ
Pendientes	2015	.shp	Geoportal DMQ
Catastro	2019	.shp	Geoportal DMQ
Vulnerabilidad	2015	.shp	Geoportal DMQ
Datos de población	2022	.shp	INEC
Imágenes de Google Earth	2019	Imagen	Google Earth

Elaboración propia

Realizados estos pasos, se inició la etapa de procesamiento de la información. En esta fase, se llevaron a cabo actividades de construcción en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y se correlacionaron con otras variables. Esta etapa se divide en subprocesos que incluyen el análisis espacial, el cual integra actividades como vectorización, digitalización, georreferenciación e inclusión de tablas y atributos. Estas tareas se llevaron a cabo utilizando las herramientas proporcionadas por el software ArcGIS, el cual permitió generar los mapas temáticos.

La generación de los mapas fue fundamental para el análisis posterior de los resultados parciales. Al relacionarlos con las proyecciones de población, se obtuvieron los productos finales, que incluyen la proyección del crecimiento urbano, las áreas de suelo requeridas, el tipo de poblamiento futuro, así como productos cartográficos, tablas y otros elementos.

El alcance de la investigación fue generar un mapa de susceptibilidad incluyendo los datos de las proyecciones de la urbanización en la zona sur.

Los mapas temáticos de las zonas fueron obtenidos a partir del geo portal del Distrito Metropolitano de Quito. Los mapas requeridos para el análisis de la susceptibilidad fueron tomados en función a varias metodologías recopiladas, a continuación, se menciona alguna de esta información:

- Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Tenorio 2017)
- Guía metodológica para la elaboración de mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera en la cuenca de Lago Atitlán, Guatemala (Álvarez 2012)

### **3.3. Mapa de uso y ocupación del suelo**

En el mapa de uso de suelo se identificaron áreas de pasto, cultivos, arbustos húmedos e infraestructura tanto en la zona norte como en la zona sur de estudio, se observan estas características. Figura 17. Sin embargo, la diferencia principal se encontró en la zona sur del barrio, donde se apreciaron áreas más extensas de cultivos, arbustos húmedos y pastos. Además, se puede notar que la infraestructura se concentra principalmente en la zona sureste del barrio.

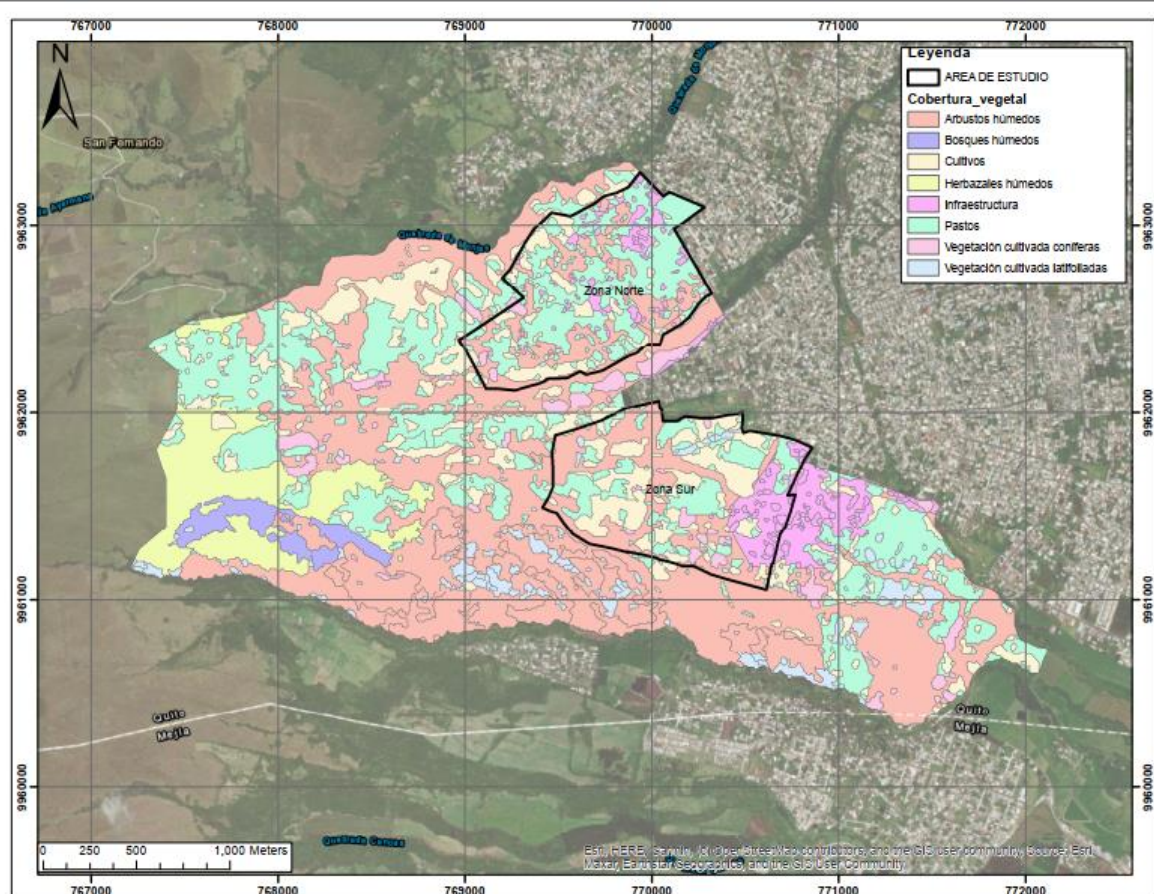


Figura 17. Mapa de uso y ocupación del suelo  
Fuente: DMQ. Elaboración propia.

### 3.4. Mapa de pendientes

En el mapa de pendientes, Figura 18, se observa que tanto la zona norte como la zona sur de la zona de estudio presentan pendientes bajas. Esta característica es muy llamativa para que las personas puedan establecer su hogar en ese lugar. Por esta razón, el estudio es muy necesario, ya que permitirá prever aproximadamente el número de viviendas futuras.



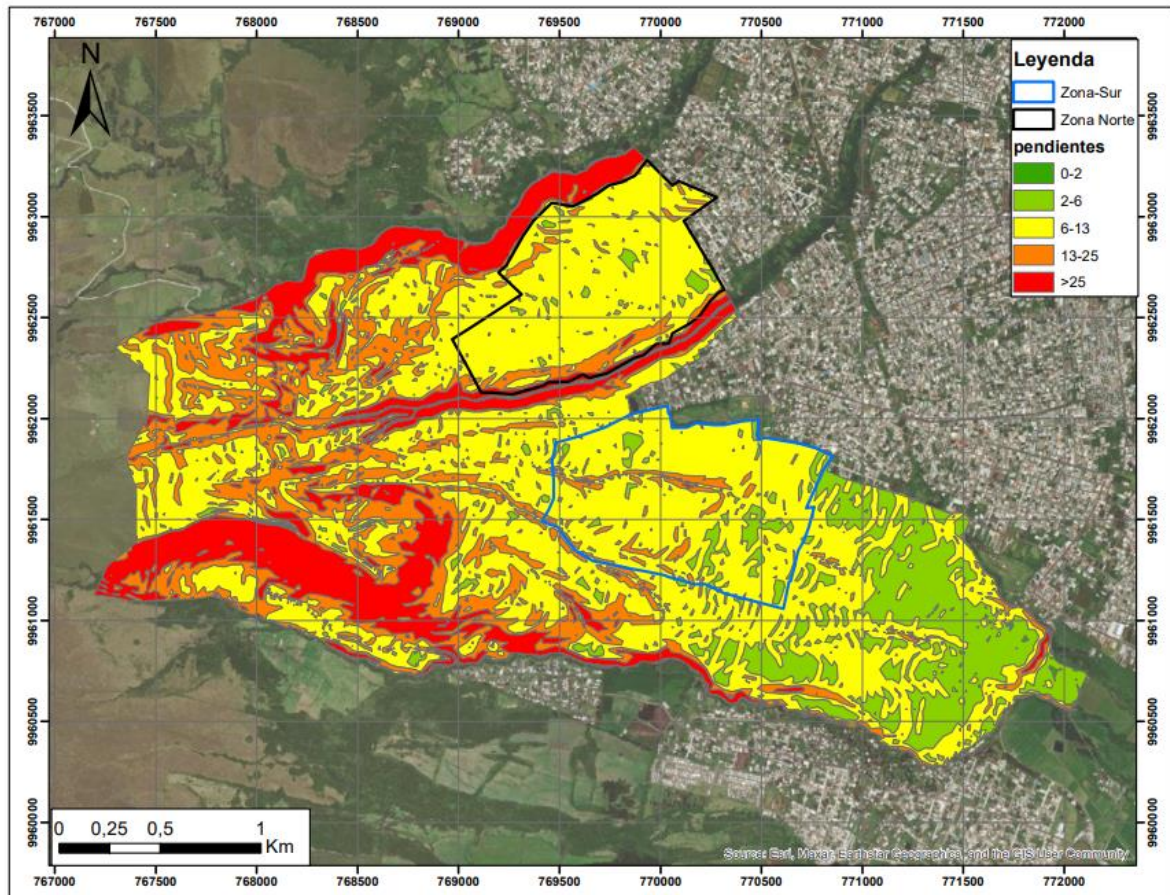


Figura 18. Mapa de pendientes  
Fuente: DMQ. Elaboración propia.

### 3.5. Mapa de geomorfología

El mapa de geomorfología muestra que tanto la zona norte como la zona sur del área de estudio se encuentran ubicadas sobre un cono de deyección, Figura 19. Un cono de deyección es una formación geológica compuesta por los sedimentos depositados por un río o torrente en su desembocadura (Rodríguez 2020). Estas áreas son propensas a inundaciones y otros riesgos naturales como lo son los deslizamientos, especialmente durante sismos y lluvias intensas, por lo que los procesos de urbanización en estos ámbitos pueden favorecer que se incremente los niveles de riesgo. Un ejemplo de esto es el caso del camping de Biescas en España, ocurrido en agosto de 1996, que se encontraba en un cono de deyección y sufrió graves daños y pérdidas humanas debido a una riada. Hablando de casos ocurridos en Ecuador, se tiene que zonas de conos de deyección de las quebradas Rumipamba y La Comuna: en la zona de la Primavera Alta, se mantiene un mediano a alto riesgo de caída de bloques desde farallones potencialmente inestables y rotura de bordes de quebrada inadecuadamente ocupados. En la Comuna, se mantiene un



alto riesgo de formación de flujos de lodo y crecientes aluvionales debido a la presencia de un volumen cercano a los  $800 \text{ m}^3$  de materiales sueltos en un cauce de fuerte pendiente y con una zona de deyección juvenil habitada (FLACSO 2001).

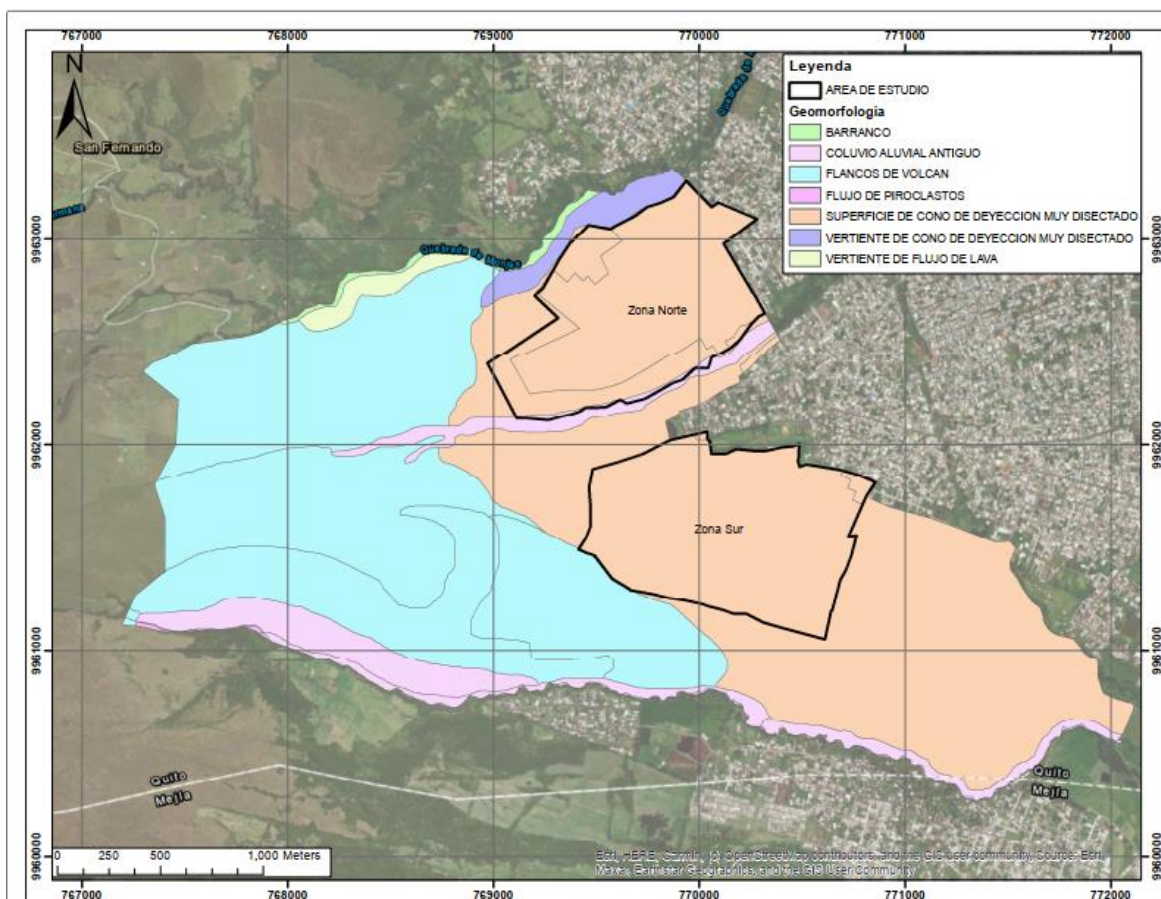


Figura 19. Mapa de geomorfología del Barrio Guamaní  
Fuente: DMQ. Elaboración propia.

### 3.6. Mapa de geología

La figura 7 muestra el mapa geológico tomado del geoportal del Distrito Metropolitano de Quito, del año 2015 y escala 1:1000, con las características geológicas presente en el barrio Protección Guamaní, donde se observan diferentes tipos de litologías, como depósitos aluviales, depósitos coluvio aluviales, la Formación Cangahua y Volcánicos Atacazo. Específicamente, la zona de estudio (zona norte y zona sur) está ubicada sobre depósitos aluviales. Cabe mencionar que la construcción en zonas caracterizadas por la presencia de depósitos aluviales plantea desafíos, como el riesgo de inundaciones y la estabilidad del suelo.

### 3.7. Ponderación de parámetros

Como primer paso se procedió a realizar una ponderación de parámetros dando una jerarquía a los diferentes insumos con los que se cuenta, y se obtuvieron las siguientes tablas de jerarquías. Para establecer cada valor de la matriz de jerarquías se procedió a realizar una investigación bibliográfica de la ciudad de Quito, para así determinar cuál es el factor que presenta más peso a la hora de analizar la susceptibilidad a movimientos en más.

En el caso que aquí se expone se utilizaron el método heurístico y el análisis multicriterio. El método heurístico, en combinación de mapas cualitativos, demanda un conocimiento vasto de la zona de estudio, por lo que al momento de priorizar las variables empleadas para el caso de estudio se establecieron las condiciones de pendiente, geología, geomorfología, uso de suelo y factor desencadenante a la lluvia.

Esta jerarquización de criterios se sustenta en las investigaciones realizadas en la zona por especialistas, aquí se tomó en cuenta el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Quito (2021-2023), donde menciona que los factores que influyen para que se genere un fenómeno de movimiento de masa son: grado de inclinación del terreno, tipo del suelo, transformaciones geológicas subyacentes y precipitaciones (ver tabla 9) (IGM-SNGRE, 2018). Posteriormente se normalizan los factores utilizados en la jerarquización (Tabla 10).

Tabla 9  
Matriz de Comparación de pares de los factores condicionantes

Factores condicionantes	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	USO DE SUELO	PENDIENTES
USO DE SUELO	1.00	2.00	3.00	5.00
GEOMORFOLOGIA	0.500	1.00	1.50	3.00
GEOLOGIA	0.333	0.667	1.00	1.50
PENDIENTES	0.200	0.333	0.667	1.00
SUMA	2.03	4.00	6.17	10.50
1/SUMA	0.49	0.25	0.16	0.10

Elaboración propia.

Tabla 10  
Matriz de Normalización de pares de los factores condicionantes

Factores condicionantes	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	USO DE SUELO	PENDIENTES	VECTOR DE PRIORIZACIÓN	%
USO SUELO	0.49	0.50	0.49	0.48	0.489	48.86
GEOMORFOLOGIA	0.25	0.25	0.24	0.29	0.256	25.62
GEOLOGIA	0.16	0.17	0.16	0.14	0.159	15.89
PENDIENTES	0.10	0.08	0.11	0.10	0.096	9.63
					1.000	100.000

Elaboración propia.

### 3.7.1. Factor condicionante-geología

Tomando en cuenta la tesis de Avilés, 2013, se realizó la zonificación geológica geotécnica a nivel superficial del sur de la ciudad, aquí se determinan que la geología del área de estudio corresponde a dos zonas principalmente, ZONA I y ZONA II, siendo zona excelente y zona buena para la construcción respectivamente, es así que se jerarquizó la Geología de la siguiente manera. (Tabla 11). Posteriormente se normalizan los factores utilizados en la jerarquización de los parámetros de geología. (Tabla 12).

Tabla 11  
Matriz de comparación de pares del parámetro Geología

Geología	Depósitos aluviales	Volcánicos Atacazo	Depósitos coluvio aluviales	Cangahua
Depósitos Aluviales	1.00	2.00	2.00	2.00
Volcánicos Atacazo	0.50	1.00	2.00	2.00
Depósitos coluvio aluviales	0.50	0.50	1.00	2.00
Cangahua	0.50	0.50	0.50	1.00
SUMA	2.50	4.00	5.50	7.00
1/SUMA	0.40	0.25	0.18	0.14

Elaboración propia.

Tabla 12  
Matriz de normalización de pares del parámetro Geología

Geología	Depósitos aluviales	Volcánicos Atacazo	Depósitos coluvio aluviales	Cangahua	Vector priorización	%
Depósitos Aluviales	0.40	0.50	0.36	0.29	0.387	38.73
Volcánicos Atacazo	0.20	0.25	0.36	0.29	0.275	27.48
Depósitos coluvio aluviales	0.20	0.13	0.18	0.29	0.198	19.81
Cangahua	0.20	0.13	0.09	0.14	0.140	13.97
					1.00	100.00

Elaboración propia.

### 3.7.2. Factor condicionante-geomorfología

Con las diferentes geoformas presentes en la zona de estudio, se procedió a jerarquizar cada una de ellas. Se determinó que la superficie de cono de deyección es la más importante debido a su susceptibilidad a la inestabilidad, seguida de las geoformas de coluvio aluvial antiguo, flancos del volcán, vertientes de cono de deyección, vertiente de flujo de lava, barranco y finalmente flujo de piroclastos, ver Tabla 13. Posteriormente se normalizan los factores utilizados en la jerarquización de los parámetros de geomorfología (Tabla 14).

Analizando la memoria técnica del análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa, realizado por el Municipio de Quito, escala 1:25 000, del año 2013, se determinó la jerarquización de la matriz correspondiente a Geomorfología (DMQ 2013). A continuación, se muestra la tabla correspondiente:

Tabla 13  
Matriz de Comparación de pares del parámetro Geomorfología

Geomorfología	Superficie de cono de deyección	Coluvio aluvial antiguo	Flancos del volcán	Vertiente de cono de deyección	Vertiente de flujo de lava	Barranco	Flujo de piroclastos
Superficie de cono de deyección	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Coluvio aluvial antiguo	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Flancos del volcán	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Vertiente de cono de deyección	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
Vertiente de flujo de lava	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Barranco	0.17	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
Flujo de piroclastos	0.14	0.17	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
Suma	2.59	4.45	7.28	11.08	15.83	21.50	28.00
1/SUMA	0.39	0.22	0.14	0.09	0.06	0.05	0.04

Elaboración propia.

Tabla 14  
Matriz de Normalización de pares del parámetro Geomorfología

Geomorfología	Superficie de cono de deyección	Coluvio aluvial antiguo	Flancos del volcán	Vertiente de cono de deyección	Vertiente de flujo de lava	Barranco	Flujo de piroclastos	Vector priorización	%
Superficie de cono de deyección	0.39	0.45	0.41	0.36	0.32	0.28	0.25	0.350	35.04
Coluvio aluvial antiguo	0.19	0.22	0.27	0.27	0.25	0.23	0.21	0.237	23.75
Flancos del volcán	0.13	0.11	0.14	0.18	0.19	0.19	0.18	0.159	15.90
Vertiente de cono de deyección	0.10	0.07	0.07	0.09	0.13	0.14	0.14	0.106	10.56
Vertiente de flujo de lava	0.08	0.06	0.05	0.05	0.06	0.09	0.11	0.070	6.96
Barranco	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.046	4.62
Flujo de piroclastos	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.032	3.18
								<b>1.00</b>	<b>100.00</b>

Elaboración propia

### 3.7.3. Factor condicionante-pendiente

Con las diferentes pendientes presentes en la zona de estudio, se procedió a jerarquizar cada una de ellas, se dio prioridad a las zonas que presentan pendientes mayores a 45° debido a su susceptibilidad a la inestabilidad, seguidas de las pendientes entre 13 y 25°, 6 y 13°, 2 y 6°, y finalmente las zonas con pendientes muy bajas de 0 a 2°. La subdivisión se la realizó en función de la Guía para la descripción de perfiles de suelo de la FAO 2009, ver Tabla 15. Posteriormente se normalizan los rangos de pendientes utilizados en la jerarquización (Tabla 16).

Tabla 15  
Matriz de Comparación de pares del parámetro pendiente

Pendiente	>45%	25-45%	15-25%	5-15%	0-5%
Muy alta (>45%)	1.00	2.00	3.00	7.00	9.00
Alta (13-25%)	0.50	1.00	1.50	3.00	7.00
Moderada (6-13%)	0.33	0.67	1.00	1.50	3.00
Baja (2-6%)	0.14	0.33	0.67	1.00	1.50
Muy baja (0-2%)	0.11	0.14	0.33	0.67	1.00
SUMA	2.09	4.15	6.50	13.17	21.50
1/SUMA	0.48	0.24	0.15	0.08	0.05

Elaboración propia

Tabla 16  
Matriz de Normalización de pares del parámetro Pendiente

Pendiente	>45%	25-45%	15-25%	5-15%	0-5%	Vector priorización	%
Muy alta (>45%)	0.48	0.48	0.46	0.53	0.42	0.475	47.46
Alta (13-25%)	0.24	0.24	0.23	0.23	0.33	0.253	25.30
Moderada ( 6-13%)	0.16	0.16	0.15	0.11	0.14	0.146	14.57
Baja (2-6%)	0.07	0.08	0.10	0.08	0.07	0.080	7.95
Muy baja (0-2%)	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.047	4.73
						1.00	100.00

Elaboración propia

### 3.7.4. Factor condicionante-cobertura vegetal

Con las diferentes coberturas presentes en la zona de estudio, se procedió a jerarquizar cada una de ellas. Analizando la memoria técnica del análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa, realizado por el Municipio de Quito, escala 1:25 000, del año 2013, se determinó la jerarquización de la matriz correspondiente a cobertura vegetal, ver Tabla 17. Posteriormente se normalizan los factores utilizados en la jerarquización de cobertura vegetal (Tabla 18) (DMQ 2013).

A continuación, se muestra la tabla correspondiente:

Tabla 17  
Matriz de Comparación de pares del parámetro de cobertura vegetal

Factores condicionantes	Áreas artificiales	Áreas cultivadas	Bosques y áreas seminaturales	Vegetación natural
Áreas artificiales	1.00	5.00	7.00	9.00
Áreas cultivadas	0.200	1.00	5.00	7.00
Bosques y áreas seminaturales	0.143	0.200	1.00	5.00
Vegetación natural	0.111	0.143	0.200	1.00
Suma	1.45	6.34	13.20	22.00
1/SUMA	0.69	0.16	0.08	0.05

Elaboración propia

Tabla 18  
Matriz de Normalización de pares del parámetro de cobertura vegetal

Factores condicionantes	Geología	Geomorfología	Pendientes	Uso suelo	Vector priorización	%
Áreas artificiales	0.69	0.79	0.53	0.41	0.604	60.39
Áreas cultivadas	0.14	0.16	0.38	0.32	0.248	24.80
Bosques y áreas seminaturales	0.10	0.03	0.08	0.23	0.108	10.82
Vegetación natural	0.08	0.02	0.02	0.05	0.040	3.99
					1.000	100.000

Elaboración propia

### 3.7.5. Factor desencadenante-precipitación anómala

La matriz de factor desencadenante precipitación anómala se la estableció analizando los datos de la estación meteorológica IZOBAMBA, desde el año 1962 hasta el 2019, donde se analizó los valores promedios de precipitación anual, con ello se establecieron los valores del 80%, 60%, 40%, 30% y 25% mayores a su promedio, ver Tabla 19. Posteriormente se normalizan los factores utilizados en la jerarquización del parámetro precipitación (Tabla 120).

Tabla 19  
Matriz de comparación de pares del parámetro precipitación

Precipitación	80% superior a su promedio 216mm	60% superior a su promedio 192mm	40% superior a su promedio 168mm	30% superior a su promedio 156mm	20% superior a su promedio 144mm
80% superior a su promedio 216mm	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
60% superior a su promedio 192mm	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
40% superior a su promedio 168mm	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
30% superior a su promedio 156mm	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
20% superior a su promedio 144mm	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00
1/SUMA	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07

Elaboración propia

Tabla 20  
Matriz de normalización de pares del parámetro de precipitación

Precipitación	80% superior a su promedio 216mm	60% superior a su promedio 192mm	40% superior a su promedio 168mm	30% superior a su promedio 156mm	20% superior a su promedio 144mm	Vector priorización	%
80% superior a su promedio 216mm	0.44	0.49	0.44	0.38	0.33	0.416	41.62
60% superior a su promedio 192mm	0.22	0.24	0.29	0.29	0.27	0.262	26.18
40% superior a su promedio 168mm	0.15	0.12	0.15	0.19	0.20	0.161	16.11
30% superior a su promedio 156mm	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.099	9.86
20% superior a su promedio 144mm	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6.24
						1.00	100.00

Elaboración propia.

Todos los factores anteriormente vistos se los expone en la tabla 21, comenzando por la geología, geomorfología, pendiente, cobertura vegetal, el parámetro desencadenante de la precipitación.

Tabla 21  
Resumen de factores utilizados

FACTOR		PARÁMETRO		DESCRIPTOR		Ppar x Pdesc		
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO			
SUCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA	90%	Condicionante	80%	GEOLOGIA	0.489	Dep Aluviales	0.387	0.189
						Volcanicos Atacazo	0.275	0.134
						Depositos coluvio aluviales	0.198	0.097
						Cangahua	0.140	0.068
				GEOMORFOLOGIA	0.256	COLUVIO ALUVIAL ANTIGUO	0.350	0.090
						FLANCOS DEL VOLCAN	0.237	0.061
						VERTIENTE DE CONO DE DEYECCION	0.159	0.041
						VERTIENTE DE FLUJO DE LAVA	0.106	0.027
						BARRANCO	0.070	0.018
	PEDIENTE	0.159	FLUJO DE PIROCLASTOS	0.046	0.012			
			#REF!	0.032	0.008			
			Muy alta (>45%)	0.475	0.075			
			Alta (13-25%)	0.253	0.040			
			Moderada ( 6-13%)	0.146	0.023			
	COBERTURA VEGETAL	0.096	Baja (2-6%)	0.080	0.013			
			Muy baja (0-2%)	0.047	0.008			
			AREAS ARTIFICIALES	0.604	0.058			
			AREAS CULTIVADAS	0.248	0.024			
	DESENCADENANTE	20%	PRECIPITACION ANOMALA	1.000	BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES	0.108	0.010	
VEGETACION NATURAL					0.040	0.004		
60-80% superior a su normal climático (S60)					0.416	0.416		
40-60% superior a su normal climático (S40)					0.262	0.262		
30-40% superior a su normal climático (S30)					0.161	0.161		
25-30% superior a su normal climático (S25)	0.099	0.099						
20-25% superior a su normal climático (S20)	0.062	0.062						

Elaboración propia

Gracias a la combinación de los diferentes parámetros se pudo llegar a la tabla 22, donde se muestra un resumen de los cálculos efectuados para llegar a los rangos de susceptibilidad, aquí se multiplican los factores condicionantes por un 80% y el factor desencadenante por un 20%, obteniendo así los diferentes rangos de susceptibilidad.

Tabla 22  
Resumen de cálculos realizados

	CONDICIONANTE			DECENCADENANTE		
	$\sum$ Ppar X Pdesc	Peso con	Valor con	$\sum$ Pdes x Pdesc	Peso des	Valor des
1	0.413		0.330	0.416		0.083
2	0.259		0.207	0.416		0.083
3	0.171		0.137	0.416		0.083
4	0.112	80%	0.089	0.416	20%	0.083
5	0.088		0.070	0.416		0.083
6	0.012		0.009	0.416		0.083
7	0.008		0.007	0.416		0.083

Elaboración propia

Los rangos de susceptibilidad obtenidos se muestran en la Tabla 23.



Tabla 23  
**Rangos de las distintas susceptibilidades calculadas en el Barrio Protec Guamaní**

Niveles de peligro	
Nivel de Peligro	Rango
Peligro Muy Alto	0.309 ≤P≤ 0.479
Peligro Alto	0.223 ≤P < 0.309
Peligro Medio	0.178 ≤P < 0.223
Peligro Bajo	0.131 ≤P < 0.178

Elaboración propia

#### 4. Elaboración del mapa de susceptibilidad

Para poder realizar el mapa de susceptibilidad de la zona de estudio, primero se tomaron los edificios digitalizados de una ortofoto del año 2019 y de los datos del censo del año 2022, todos estos datos fueron tomados de la base de datos del geoportal del DMQ, dichos edificios fueron añadidos a la capa de uso y ocupación del suelo, esto para actualizar dicho mapa con la nueva infraestructura de los años 2019, 2022 y la proyección del crecimiento urbano del año 2030. Posteriormente se utilizaron las capas de geología, geomorfología, pendientes, cobertura vegetal y el factor condicionante de precipitación, a las cuales ya se les añadió los pesos señalados en la Tabla 21.



## Capítulo tercero

### Resultados

Al analizar las ortofotografías del año 2019 y los datos catastrales del año 2022 del Distrito Metropolitano de Quito, en el caso del área de estudio se puede determinar que el crecimiento demográfico ha seguido un proceso continuo, de la misma manera que el crecimiento ocurrido en la ciudad de Quito.

Según las proyecciones demográficas, la población de Quito ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. En el año 2010, según el censo del INEC del mismo año, la población del Distrito Metropolitano de Quito era de 2.319.671 habitantes, en el censo realizado en el año 2022, la ciudad tiene una población de 2 872 351 habitantes, teniendo un crecimiento del 15% con respecto al año 2010 y un crecimiento de 1.6% con respecto al 2021.

#### 4.1. Método para la construcción de proyecciones de urbanización.

Teniendo en cuenta los datos históricos y recientes de los censos de población, se llevó a cabo el cálculo de las proyecciones urbanas para el año 2030 utilizando los métodos aritmético, geométrico y exponencial en Excel (Martínez 2013).

Los resultados de confiabilidad de las proyecciones realizadas en este estudio se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24  
**Proyecciones aritméticas, geométricas y exponenciales**

COEFICIENTE DE DETERMINACION R2 SEGUN EL TIPO DE TENDENCIA O REGRESION			
	PROYECCION ARITMETICA	PROYECCION GEOMETRICA	PROYECCION EXPONENCIAL
ZONA DE ESTUDIO NORTE	1	0.821241	0.821241
ZONA DE ESTUDIO SUR	1	0.821216	0.821216

Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 24, se presentan dos proyecciones, la primera presenta datos de la zona norte de interés y la segunda proyección representa datos de la zona sur del mismo, se observa claramente que la proyección más confiable es la aritmética, ya que su valor de R2 es 1.

A continuación, se muestran las proyecciones realizadas.

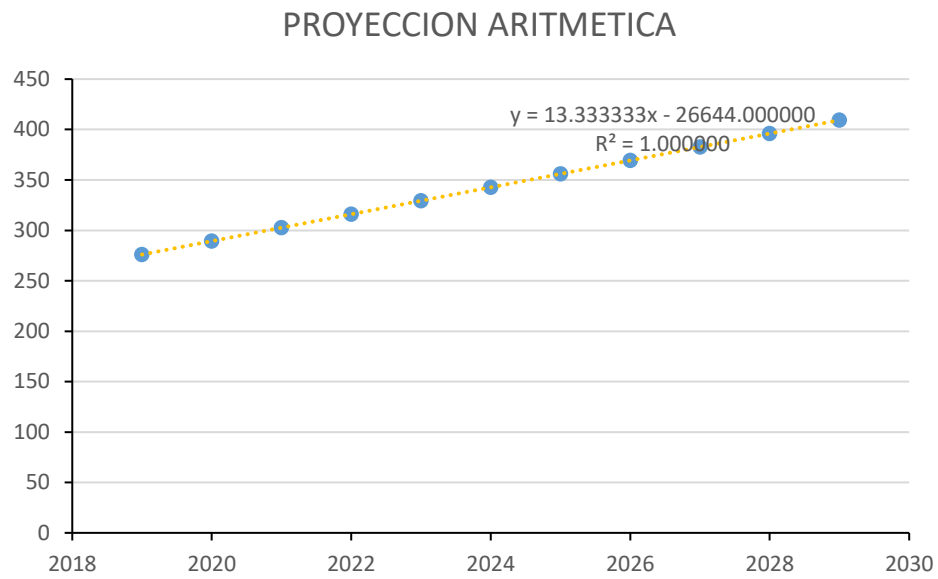


Figura 20. Proyección Aritmética  
Elaboración propia

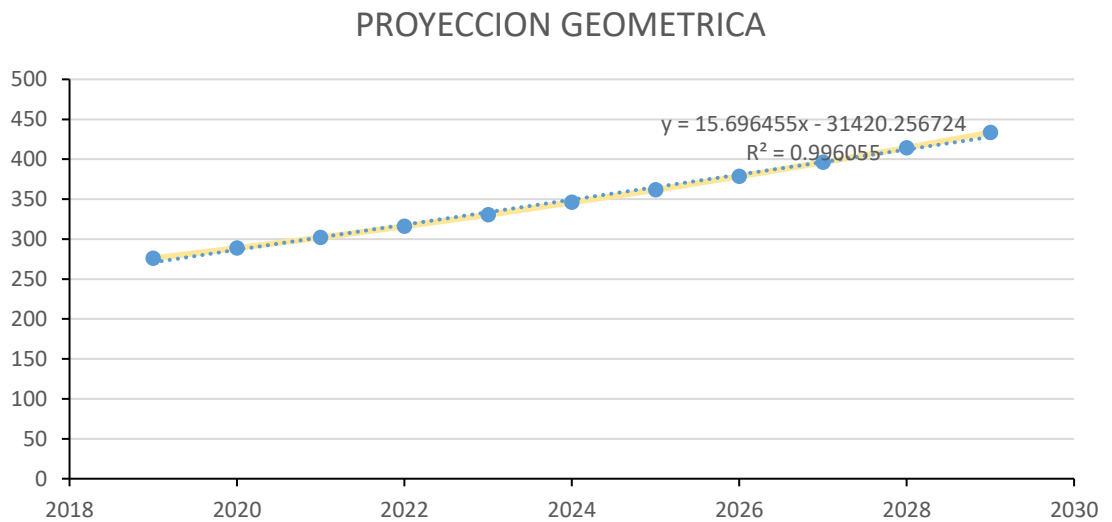


Figura 21. Proyección Geométrica  
Elaboración propia

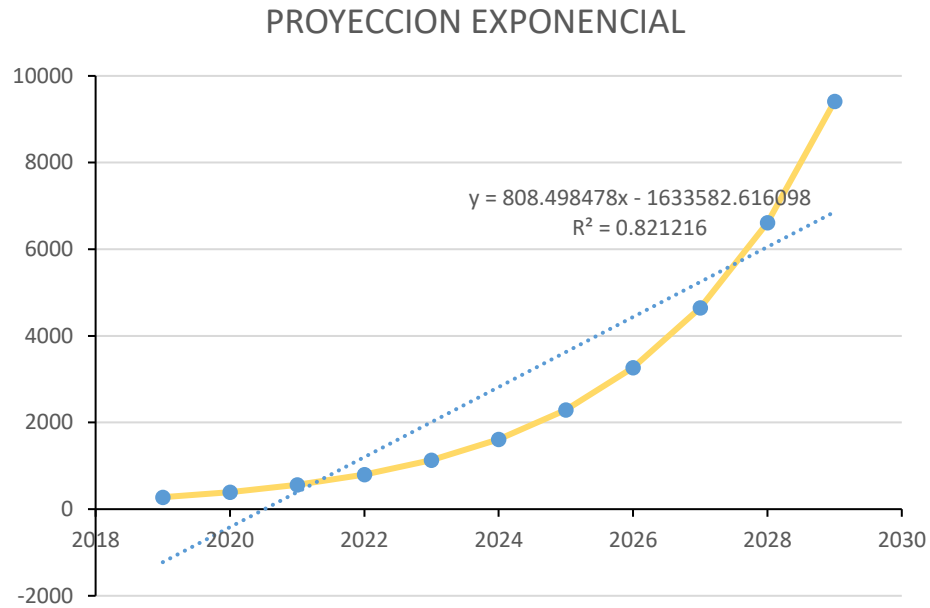


Figura 22. Proyección Exponencial  
Elaboración propia

### 1. Tendencias del crecimiento urbano zona norte de estudio

La superficie total de la zona norte de estudio es de 88,93 hectáreas. De este total, el 16,98 %, que equivale a 15,10 hectáreas, corresponde al área que ha sido urbanizada hasta el año 2023. Esto significa que aún quedan cerca de 73,99 hectáreas de suelo urbano sin ocupar, como se observa en la Figura 23.

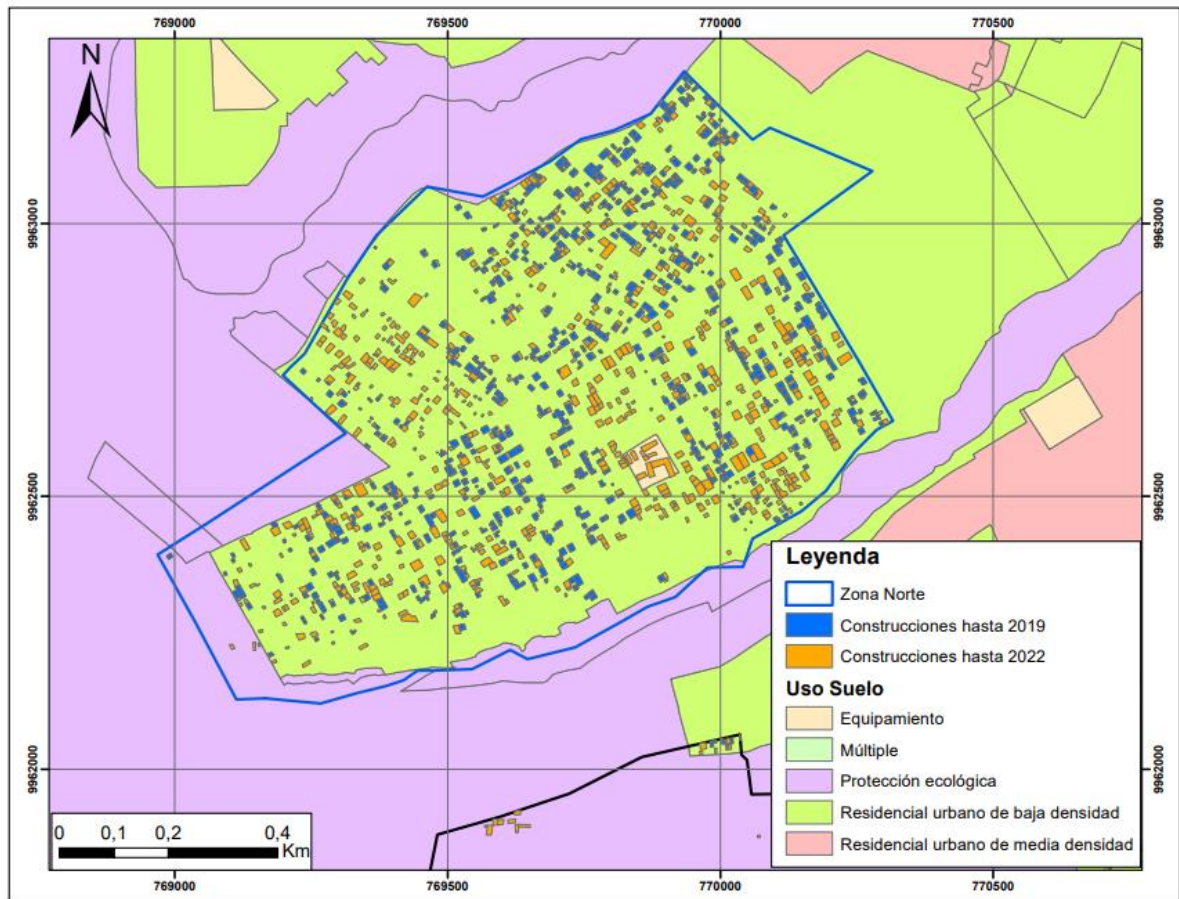


Figura 23. Representación gráfica de las viviendas presentes en la zona norte de estudio. Elaboración propia.

La figura 23 muestra un crecimiento urbano continuo en la zona norte de estudio, pasando de 1582 construcciones en el año 2019 a 1736 construcciones en el año 2022, lo que representa un crecimiento del 109% en un periodo de 4 años. Hay que destacar que según el PUGS (2024), solo el 90.57% del área norte de estudio corresponde a una categorización de residencial urbano de baja densidad, donde se pueden construir edificaciones de hasta 12 metros (3 pisos), es decir, 80.54 ha, el 8.79% que representan 7.82 ha corresponden a un suelo de protección ecológica y el 0.64% restante se trata de una zona de equipamiento.

## 2. Tendencias del crecimiento urbano zona sur de estudio

La superficie total de la zona sur de estudio es de 94,63 hectáreas. De este total, el 3,47 %, que equivale a 3,28 hectáreas, corresponde al área que ha sido urbanizada hasta el año 2023 (Figura 24).

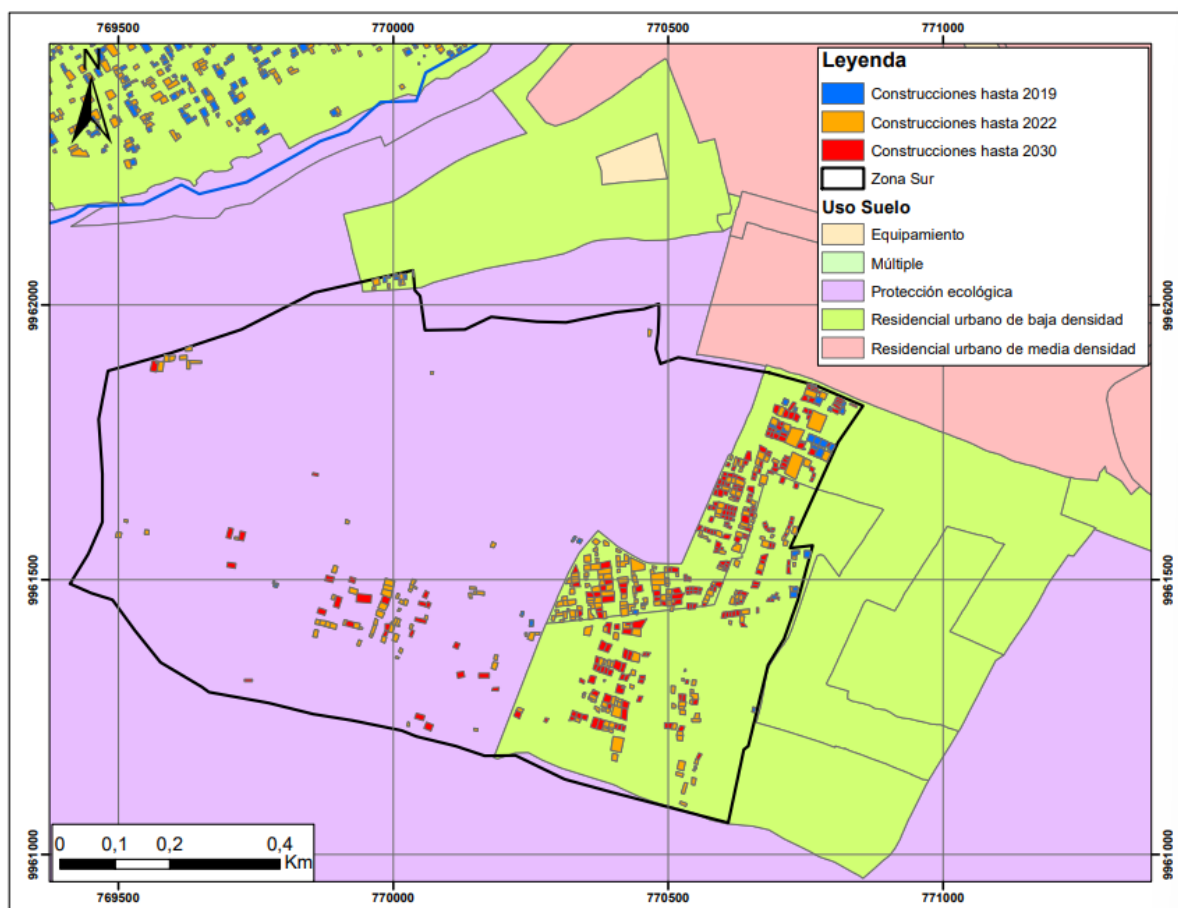


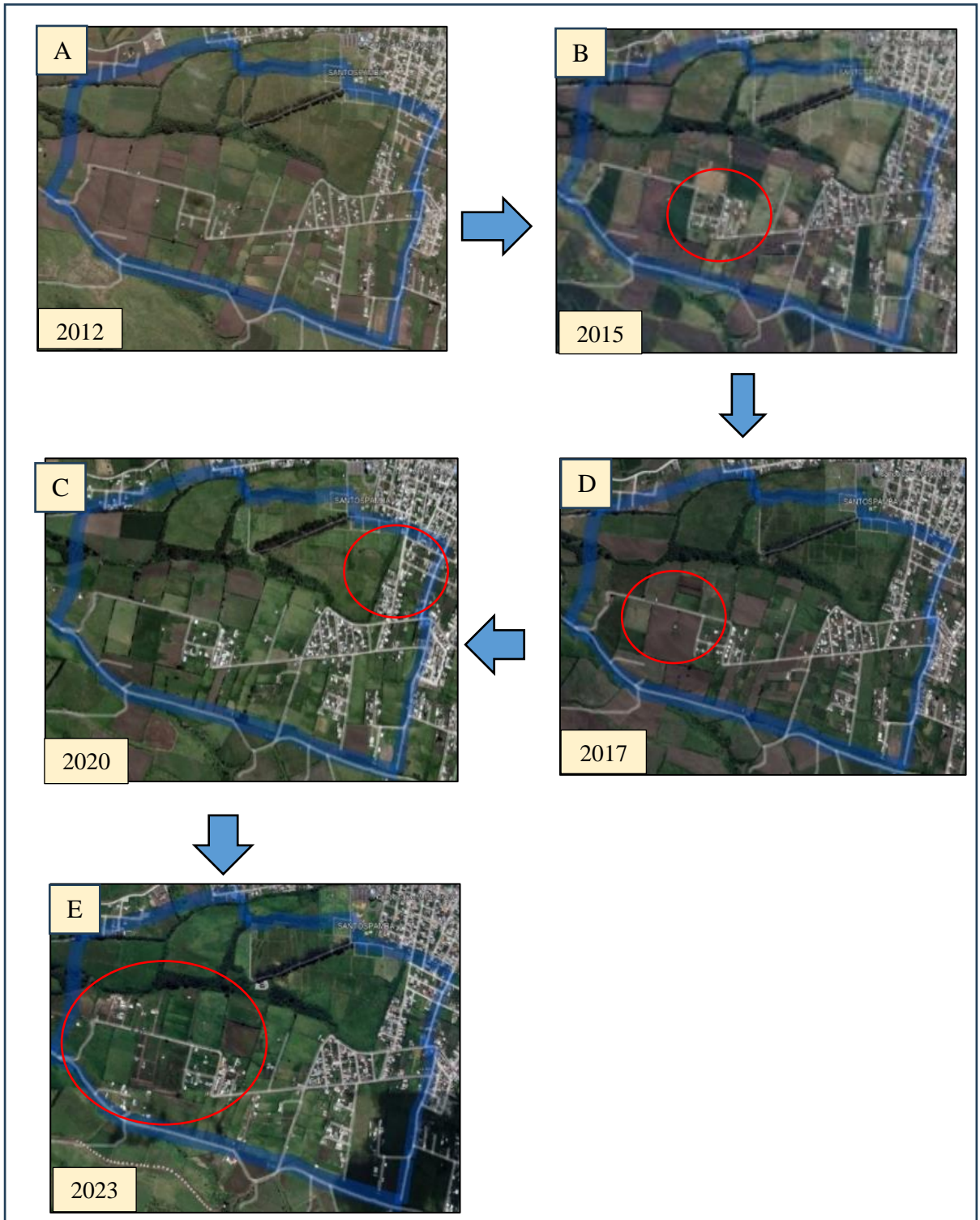
Figura 24. Representación gráfica de las viviendas presentes en la zona sur de estudio.  
Elaboración propia

El crecimiento urbano en la zona sur de estudio ha experimentado un crecimiento continuo durante los años, pasando de 276 construcciones en el año 2019 a 3016 construcciones en el año 2022, lo que representa un crecimiento del 114% en un periodo de 4 años. El análisis realizado en estas imágenes evidencia una clara tendencia en el crecimiento urbano hacia la parte suroeste de la zona sur del barrio Protec Guamaní. Para la proyección de las construcciones futuras hacia el año 2030 de la zona sur de estudio, se utilizó el método de proyección aritmética, teniendo un total de 423 construcciones para el 2030.

Analizando imágenes tomadas de Google Earth, Figura 25, se aprecia que el crecimiento experimentado en el año 2015 se distribuye principalmente hacia la zona SO de la zona de estudio, el crecimiento en el año 2020 se extiende hacia el NE, para el año 2017 no se aprecia un gran crecimiento, sin embargo, se aprecian algunas viviendas hacia el SO, y finalmente para el año 2023 el crecimiento se intensifica hacia la parte SO (Figura 25). La ubicación de las construcciones proyectadas se la realizó tomando en cuenta el PUOS del año 2024, donde solo el 26.15% del área es considerada como residencial



urbano de baja densidad, lo que se traduce en 24,74 ha, el 73.85% restante, es decir 69.88 ha, corresponden a una zona de protección ecológica.



En la Figura 25 se aprecia claramente que existe una urbanización en una zona de protección ecológica, esto puede tener graves consecuencias ambientales y sociales. Estas



áreas están designadas para preservar la biodiversidad y los ecosistemas, y su desarrollo puede llevar a la degradación del medio ambiente, afectando la flora y fauna local.

### **3. Análisis de los mapas de susceptibilidad**

Uno de los principales resultados planteados en los objetivos de este trabajo es el relativo al desarrollo el mapa de susceptibilidad de todo el barrio Protección Guamaní. En el mapa se puede apreciar claramente que hacia las laderas del volcán Atacazo la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa presenta un nivel medio y alto, por la posición geográfica, los fenómenos de remoción en masa más probables a suceder son: flujo de piroclastos, lahares primarios y secundarios, esto en caso de una reactivación del volcán Atacazo-Ninahuilca, mismo que se lo considera como potencialmente activo.

Las áreas que presentan susceptibilidades altas y muy altas se encuentran situadas hacia las áreas de interés. Además, se observa que las zonas urbanizadas tienen una influencia sobre el nivel de susceptibilidad en el suelo. Los fenómenos de remoción en masa más probables en las áreas de interés son: flujos de lodo (en caso de una erupción de VEI igual o mayor a 4, los flancos del volcán se cubrirían de varios centímetros de ceniza, que al mezclarse con la escorrentía pluvial generarían lahares secundarios en las quebradas), y avalancha de escombros (puede ocurrir cuando los flancos de un volcán se vuelven inestables).

Los principales resultados obtenidos del análisis antes expuesto son los mapas de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, se analizaron tres periodos de tiempos distintos: 2019, 2022 y 2030.

#### **3.1. Mapa de susceptibilidad 2019**

La Figura 26 muestra los niveles de susceptibilidad y su distribución en las laderas del volcán Atacazo. Según la Tabla 25 se puede observar que el nivel de susceptibilidad muy alto corresponde al 28.28% de la zona. Este nivel se presenta principalmente en las zonas urbanizadas, en una geomorfología de superficie de cono de deyección y sobre depósitos aluviales. Por otro lado, el nivel de susceptibilidad alta representa el 38.60 % de la zona. El nivel de susceptibilidad media, con un 33.13 % de la zona, y se encuentra sobre los flancos del volcán Atacazo. Por último, el nivel de susceptibilidad baja representa menos del 1% de la zona.

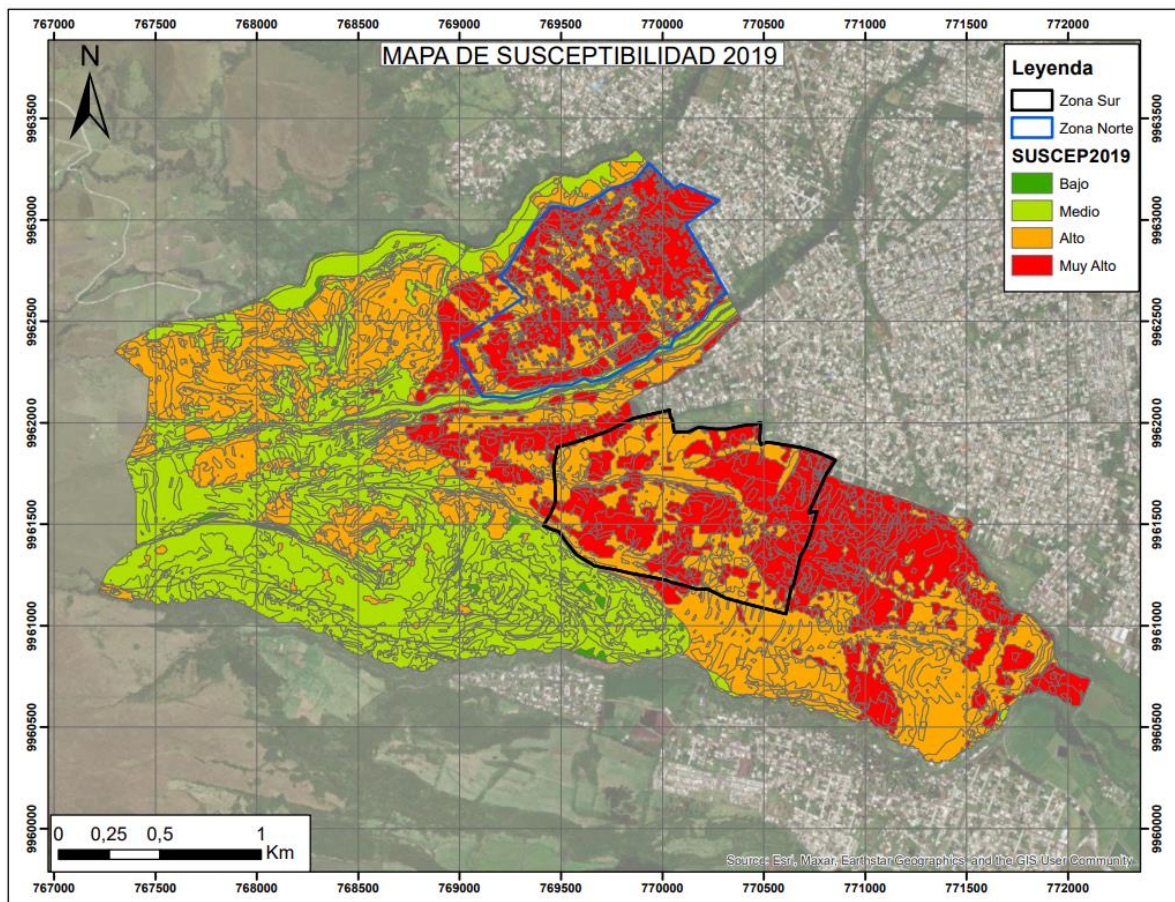


Figura 26. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2019  
Elaboración propia

Tabla 25  
**Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2019**

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD 2019	
Nivel de susceptibilidad	Porcentaje
Muy alto	28.28
Alto	38.60
Medio	33.13
Bajo	0.00

Elaboración propia

### 3.2. Mapa de susceptibilidad 2022

El cálculo del mapa de susceptibilidad del año 2022 toma en cuenta las construcciones digitalizadas de fotografías de Google Earth y validadas con datos del censo del año 2022 tomadas del geoportal del DMQ, lo que revela cambios en los niveles de susceptibilidad en comparación con el año 2019. Se observa un aumento del 1.63 % en el nivel de susceptibilidad muy alto, se encuentra principalmente en zonas urbanizadas,

en áreas con depósitos aluviales, en superficies de cono de deyección y en pendientes de hasta 30°.

Por otro lado, se registra una disminución del mismo porcentaje, 1.637% en el nivel de susceptibilidad alto en comparación con el año 2019. Este nivel de susceptibilidad se caracteriza por estar presente en zonas de vegetación natural, bosques húmedos, sobre sedimentos volcánicos y en pendientes de hasta 70°. Es importante destacar que en este mapa y los niveles de susceptibilidad medio y bajo no presentan variaciones significativas. Figura 27. Tabla 26.

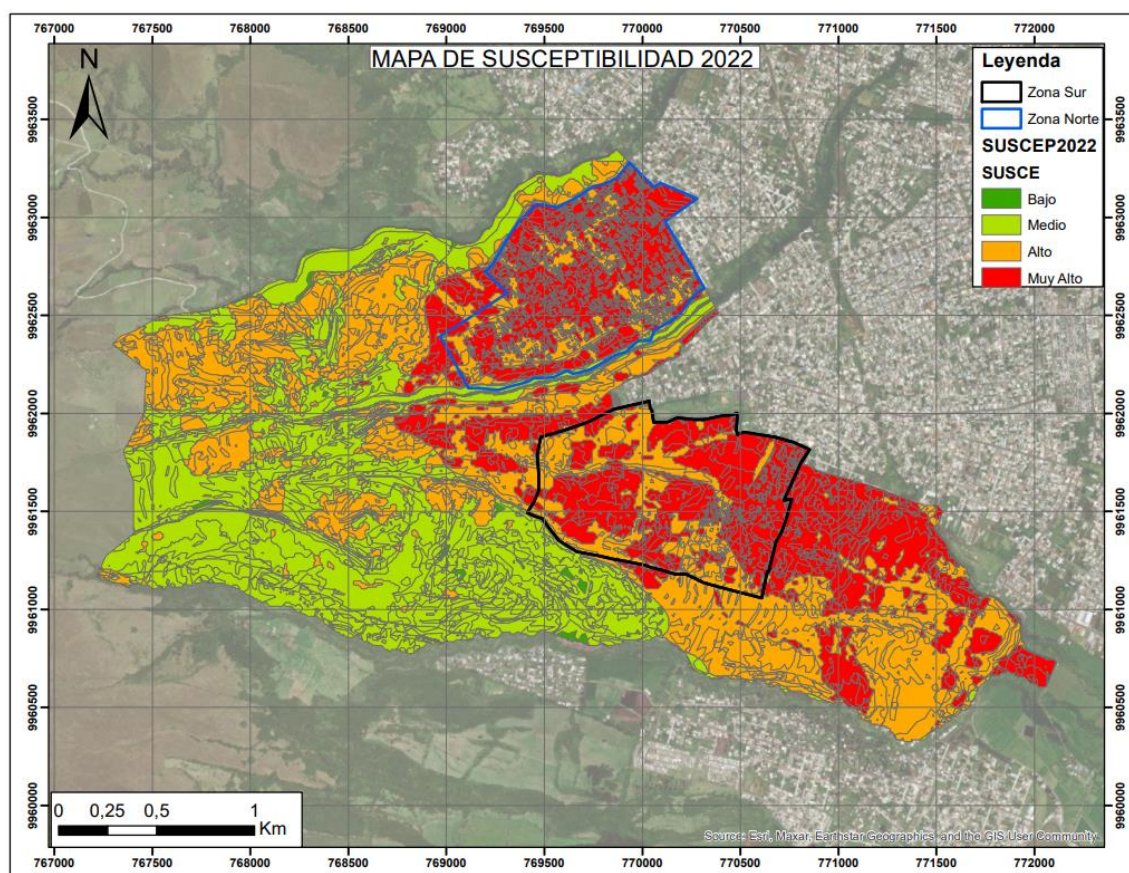


Figura 27. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2023  
Elaboración propia

Tabla 26  
Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2022

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD 2022	
Nivel de susceptibilidad	Porcentaje
Muy alto	29.91
Alto	36.96
Medio	33.13
Bajo	0.00

Elaboración propia

### **3.3.Mapa de susceptibilidad 2030**

El cálculo del mapa de susceptibilidad para el año 2030 en la zona sur del Barrio Protec Guamaní no revela cambios significativos en comparación con el mapa de susceptibilidad del año 2022, los principales cambios en los niveles de susceptibilidad se dieron en las zonas donde se proyectaron las nuevas construcciones. Se observa un aumento del 0.036% en el nivel de susceptibilidad muy alta. Este nivel se encuentra principalmente en áreas urbanizadas, superficies de cono de deyección, sobre depósitos aluviales y en pendientes mayoritariamente bajas (Figura 28).

Por otro lado, se registra una disminución del 0.018 % en el nivel de susceptibilidad alta en comparación con el mapa de susceptibilidad del año 2022. Este nivel se encuentra principalmente sobre depósitos aluviales y las pendientes de hasta 25°.

En cuanto al nivel de susceptibilidad medio presenta una disminución del 0.018% en comparación con el mapa de susceptibilidad del 2022. Este nivel se presenta en los flancos del volcán, en depósitos volcánicos y en pendientes altas de hasta 70°. El nivel de susceptibilidad bajo no presenta cambios significativos, teniendo menos del 1% de diferencia en comparación con el mapa de susceptibilidad del 2022. Los porcentajes de los niveles de susceptibilidad se muestran en la tabla 27.



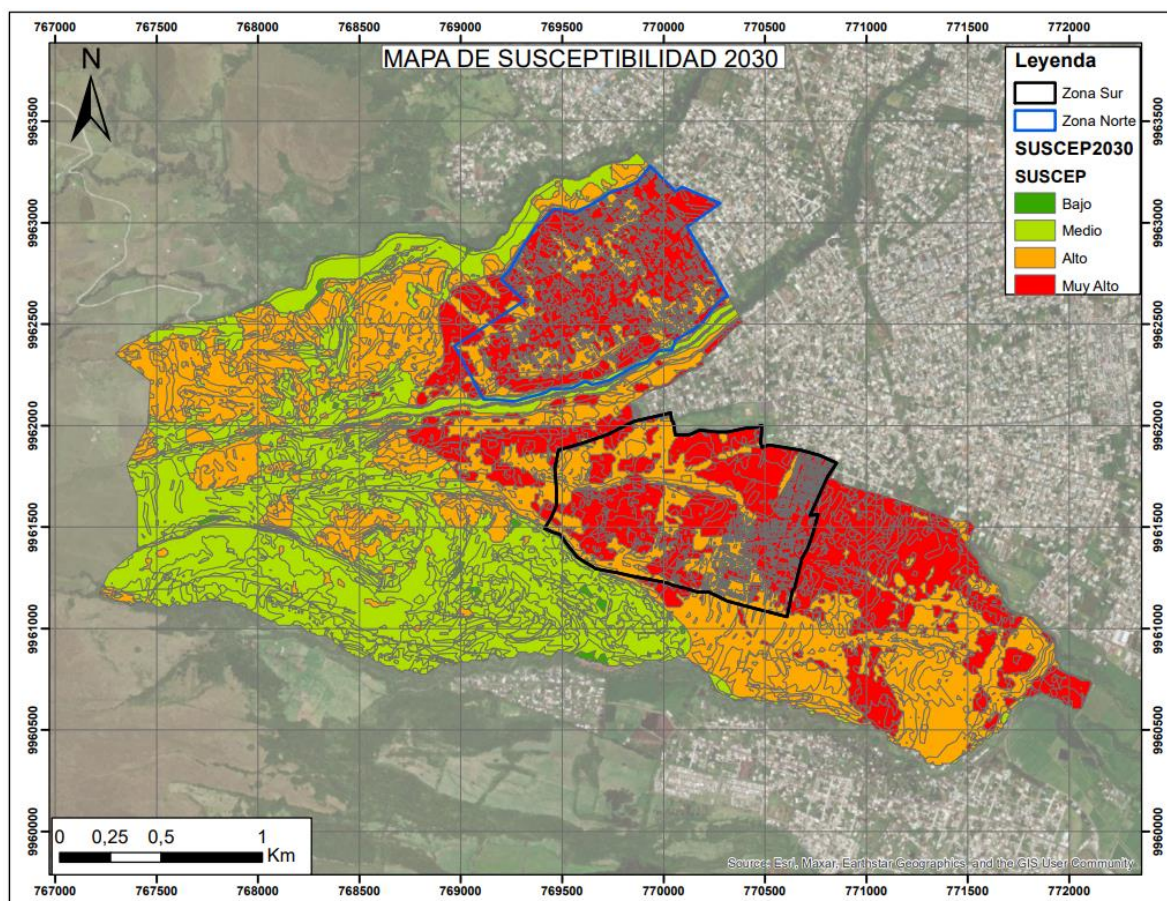


Figura 28. Mapa de Susceptibilidad Barrio Protec Guamaní año 2030

Elaboración propia

Tabla 27  
Porcentajes de las distintas susceptibilidades para el año 2030

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD 2030	
Nivel de susceptibilidad	Porcentaje
Muy alto	29.95
Alto	36.94
Medio	33.11
Bajo	0.00

Elaboración propia

#### 4. Discusión

Algunos de los estudios que se pueden mencionar en este apartado es: Transformación urbana-ambiental y riesgo de deslizamientos de tierra en el patrimonio arquitectónico no permitido, Área Natural Protegida La Loma, Álvaro Obregón, México, elaborado por Oscar Rivera, donde se habla de la autoconstrucción no permitida en Áreas Naturales Protegidas [ANP], donde se relaciona el riesgo de presentar fenómenos

geomorfológicos por las características del terreno conocidos como deslizamientos de tierra (Rivera 2022).

En este estudio se observa que la población, en su mayoría con un bajo nivel socioeconómico, ocupa las ANP sin considerar las características del sitio. Se concluye que independientemente de la invasión de un área de protección ambiental la población se encuentra establecida en una zona con pendiente abrupta, lo cual aumenta el riesgo de deslizamientos de tierra, especialmente durante las temporadas de lluvia.

En el número 11 de la revista Letras Verdes del programa de estudios socioambientales Flacso-Ecuador, se analiza el tema de los peligros asociados al proceso de urbanización. Este proceso ha ocasionado una transformación continua del territorio, deteriorando el entorno natural y agravando, acelerando o dando lugar a la aparición de riesgos como inundaciones, deslizamientos y sequías. Además, se ha incrementado el riesgo de exposición a amenazas sísmicas o volcánicas al establecerse o expandirse en áreas próximas a volcanes o fallas geológicas activas.

Ciudades como Tegucigalpa, Comayagüela, Managua, Turrialba, Ciudad de México, Bogotá, Quito, San Salvador, Caracas y São Paulo, entre otras, son ejemplos de un crecimiento acelerado, un aumento en la demanda de recursos y una gestión ambiental frágil. Estos factores han contribuido a una transformación radical del territorio y a una mayor exposición a las amenazas.

El Barrio Protección Guamaní se encuentra en una posición vulnerable al estar ubicado en las laderas del volcán Atacazo en la administración zonal Quitumbe. En las últimas décadas, se ha observado un aumento constante en la urbanización del Distrito Metropolitano de Quito, especialmente en las zonas de laderas de la ciudad, debido al crecimiento de la población y a las decisiones personales, institucionales y del mercado inmobiliario. Este crecimiento ha ocurrido sin una planificación urbana integral, lo que ha generado presión en los límites del barrio.

Es necesario realizar un análisis detallado de los aspectos socioeconómicos, políticos y ambientales que influyen en el desarrollo urbanístico para establecer estrategias de planificación urbana sustentable. Esto implica orientar el crecimiento urbano hacia zonas que salvaguarden el bienestar de los habitantes y la preservación del entorno natural, reduciendo al mínimo los efectos negativos en los ecosistemas.

Las herramientas y métodos de análisis espacial, junto con las técnicas de apoyo a la toma de decisiones, son de gran importancia para comprender las dinámicas urbanas, describir y analizar los patrones espaciales del crecimiento urbano, así como explicar sus

causas e impactos. La evaluación de escenarios de desarrollo urbano deseables es fundamental para estudiar la sostenibilidad y evaluar las decisiones urbanísticas actuales.

En este estudio, se aplicó la Evaluación Multicriterio (EMC) y se observó que la ubicación del barrio ya presenta un peligro latente de deslizamientos debido a su ubicación geográfica, geología, proximidad a una quebrada y cambio en el uso del suelo. Sin embargo, al comparar la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa con el crecimiento urbano, no se encontró una relación clara. Esto se debe a que el barrio ya se encuentra en una zona susceptible a estos fenómenos, lo que significa que la extrapolación del crecimiento urbano a la zona sur del barrio no afecta significativamente los valores de susceptibilidad alta y muy alta.

Además, la disponibilidad y naturaleza de los datos requeridos para el estudio de las dinámicas urbanas pueden ser limitantes. En este caso, no se contaba con información precisa sobre la población y las viviendas en la zona norte del barrio. La precisión y aplicabilidad de los modelos de dinámica urbana dependen en gran medida del tipo y calidad de los datos disponibles, que van desde parámetros ambientales y ecológicos hasta información socioeconómica. También es importante considerar la escala de análisis de acuerdo con las características del área de estudio y el tipo de proceso en estudio.





## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Al analizar las ortofotografías del año 2019 y los datos catastrales del año 2022 del Distrito Metropolitano de Quito, en el caso del área norte de estudio se puede determinar que el crecimiento demográfico ha seguido un proceso continuo, de la misma manera que el crecimiento ocurrido en la ciudad de Quito, pasando de 1537 habitantes a 1739 habitantes, experimentando un crecimiento del 109.92%, así mismo en el área sur de estudio se pasó de 276 a 316 habitantes en el mismo periodo de tiempo, experimentando un crecimiento del 114.49%.

El método de proyección más aconsejable en este caso de estudio fue la proyección aritmética, ya que la confiabilidad de las proyecciones se expresa mediante el coeficiente de determinación  $R^2$ , siendo los resultados más confiables cuando  $R^2$  es igual a 1 o se acerca a 1, en el caso de la proyección aritmética el coeficiente fue de 1.

Analizando los datos del INHAMI de la estación Izobamba entre los años 1962 al 2019, se tiene que los meses más lluviosos en la zona de interés se encuentran entre los meses de febrero a mayo, siendo el mes con más lluvias el mes de abril, mientras que los meses más secos corresponden a los meses de junio hasta septiembre.

Para realizar una correcta ponderación de parámetros es necesario un conocimiento vasto de la zona de estudio, para el presente estudio se tomó como base el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Quito (2021-2023), donde menciona que los factores que influyen para que se genere un fenómeno de movimiento de masa son: grado de inclinación del terreno, tipo del suelo, transformaciones geológicas subyacentes y precipitaciones.

La geología del área de estudio corresponde a dos zonas principalmente, ZONA I y ZONA II, siendo zona excelente y zona buena para la construcción respectivamente.

Según la memoria técnica del análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa, realizado por el Municipio de Quito, escala 1:25 000 y del año 2013, se determinó que la superficie de cono de deyección es la más importante debido a su susceptibilidad a la inestabilidad, seguida de las geoformas de coluvio aluvial antiguo, flancos del volcán, vertientes de cono de deyección, vertiente de flujo de lava, barranco y finalmente flujo de piroclastos.

La matriz de factor desencadenante-precipitación anómala se la estableció analizando los datos de la estación meteorológica IZOBAMBA, desde el año 1962 hasta el 2019, donde se analizó los valores promedios de precipitación anual, con ello se establecieron los valores del 80%, 60%, 40%, 30% y 25% mayores a su promedio.

El crecimiento urbano en la zona norte de estudio ha experimentado un crecimiento continuo durante los años, pasando de 1582 construcciones en el año 2019 a 1736 construcciones en el año 2022, lo que representa un crecimiento del 109% en un periodo de 4 años. Hay que destacar que según el PUGS (2024) solo el 90.57% del área norte de estudio corresponde a una categorización de residencial urbano de baja densidad, es decir, 80.54 ha, el 8.79% que representan 7.82 ha corresponden a un suelo de protección ecológica y el 0.64% restante se trata de una zona de equipamiento.

El crecimiento urbano en la zona sur de estudio ha experimentado un crecimiento continuo durante los años, pasando de 276 construcciones en el año 2019 a 3016 construcciones en el año 2022, lo que representa un crecimiento del 114% en un periodo de 4 años. Según cuenta el PUOS del año 2024, donde solo el 26.15% del área es considerada como residencial urbano de baja densidad, lo que se traduce en 24 74 ha, el 73.85% restante, es decir 69.88 ha, corresponden a una zona de protección ecológica.

Analizando las fotos de Google Earth de la zona de estudio del año 2012 al 2023, se aprecia claramente que existe una urbanización en una zona de protección ecológica, esto puede tener graves consecuencias ambientales y sociales. Estas áreas están designadas para preservar la biodiversidad y los ecosistemas, y su desarrollo puede llevar a la degradación del medio ambiente, afectando la flora y fauna local. Además, la urbanización en estas zonas puede resultar en conflictos legales y sociales, ya que muchas de estas áreas son consideradas de acceso restringido y su uso está regulado por normativas que buscan proteger el patrimonio natural.

En el mapa de susceptibilidad del 2019 se puede observar que el nivel de susceptibilidad muy alto corresponde al 28.28% de la zona. Este nivel se presenta principalmente en las zonas urbanizadas, en una geomorfología de superficie de cono de deyección y sobre depósitos aluviales. Por otro lado, el nivel de susceptibilidad alto representa el 38.60 % de la zona. El nivel de susceptibilidad medio, con un 33.13 % de la zona, y se encuentra sobre los flancos del volcán Atacazo. Por último, el nivel de susceptibilidad bajo representa menos del 1% de la zona.

En el mapa de susceptibilidad del 2023 se observa un aumento del 1.63 % en el nivel de susceptibilidad muy alto con respecto al año 2019, se encuentra principalmente

en zonas urbanizadas, en áreas con depósitos aluviales, en superficies de cono de deyección y en pendientes de hasta 30°. Por otro lado, se registra una disminución del mismo porcentaje, 1.637% en el nivel de susceptibilidad alto en comparación con el año 2019. Este nivel de susceptibilidad se caracteriza por estar presente en zonas de vegetación natural, bosques húmedos, sobre sedimentos volcánicos y en pendientes de hasta 70°. Es importante destacar que en este mapa y los niveles de susceptibilidad medio y bajo no presentan variaciones significativas.

El cálculo del mapa de susceptibilidad para el año 2030 en la zona sur del Barrio Protección Guamaní no revela cambios significativos en comparación con el mapa de susceptibilidad del año 2022, los principales cambios en los niveles de susceptibilidad se dieron en las zonas donde se proyectaron las nuevas construcciones. Se observa un aumento del 0.036% en el nivel de susceptibilidad muy alta. Este nivel se encuentra principalmente en áreas urbanizadas, superficies de cono de deyección, sobre depósitos aluviales y en pendientes mayoritariamente bajas. Por otro lado, se registra una disminución del 0.018 % en el nivel de susceptibilidad alta en comparación con el mapa de susceptibilidad del año 2022. Este nivel se encuentra principalmente sobre depósitos aluviales y las pendientes de hasta 25°. En cuanto al nivel de susceptibilidad medio, presenta una disminución del 0.018% en comparación con el mapa de susceptibilidad del 2023.

Para el caso de estudio del barrio Protección Guamaní, con la metodología descrita, se evidenció que el aumento en las construcciones y en la actividad agrícola afectaron la susceptibilidad del suelo, teniendo en consecuencia cambios en los rangos de susceptibilidad representados en los mapas de los años 2019, 2022 y 2030.

## **Recomendaciones**

Dado que el análisis de los datos del INAMHI para la estación Izobamba indica que los meses más lluviosos son de febrero a mayo, siendo abril el mes con mayor precipitación, se recomienda implementar estrategias de prevención de desastres durante estos meses críticos. Esto incluye la promoción de prácticas agrícolas que minimicen la erosión del suelo.

Se destaca la importancia de un conocimiento profundo de la zona de estudio para la correcta ponderación de parámetros, se recomienda que futuros estudios complementen los análisis con investigaciones de campo y consultas a expertos locales. Esto permitirá

obtener información más detallada sobre los factores que influyen en los fenómenos de movimiento de masa, como el grado de inclinación del terreno, el tipo de suelo, las transformaciones geológicas y las precipitaciones.

Ante la evidencia de urbanización en una zona de protección ecológica, observada a través de las imágenes de Google Earth, se recomienda tomar medidas inmediatas para detener el desarrollo en estas áreas sensibles. Es fundamental que las autoridades locales y los planificadores urbanos refuercen las normativas que protegen estas zonas, asegurando que se respete su designación para la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas. Además, se sugiere realizar un estudio de impacto ambiental exhaustivo para evaluar las consecuencias de la urbanización ya existente y prevenir futuros desarrollos. Este estudio debe incluir la participación de expertos en ecología y urbanismo, así como de la comunidad local, para garantizar que se consideren todas las perspectivas y se promueva un enfoque de desarrollo sostenible.

## Lista de referencias

- Aguilera , B. *Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares*. Granada: Geofocus, 2006.
- Al-Shalabi, M, S Mansor, B Ahmed, y R Shiriff. «GIS-based multicriteria approaches to housing site suitability assessment.» Munich, Germany., 2006.
- Andrade, Daniel, Silvana Hidalgo, Michael Monzier, y Bernardo Beate. *Los Peligro volcánicos con el Atacazo-Ninahuilca y Pululahua*. Quito: Corporracion Editora Nacional, 2012.
- Antrop, M. «Landscape change and the urbanization process in Europe.» *Landscape and Urban Plannin*, 2004: 9-26.
- Arquipino. *Simulación del crecimiento urbano utilizando dinámica de sistemas basado en factores socioeconómicos*. . La Paz: Universidad Mayor de San Andrés, 2012.
- Avila, Ruth. *El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras El caso de Brasil*. Santiago de Chile, 2000.
- Basabe. *Peligrosidad de Terrenos Inestables en Quito, Detección y Mitigación-*. Quito: CODIGEM, DHA/UNDRO, 1993.
- Cachipueno, Verónica. *Determinación de zonas óptimas para expansión urbana en la parroquia de Machachi del cantón Mejía mediante la aplicación de técnicas de información geoespacial como apoyo a la planificación territorial*. Quito: ESPE, 2021.
- Carrión, Fernando. «Revisitando la metrópolis latinoamericana más allá de la globalización.» *Revista Iberoamericana de Urbanismo*, 2012: 9-21.
- Catalán, B. « Urban sprawl in the Mediterranean. Patterns of growth and change in the Barcelona Metropolitan Region 1993–2000.» *Landscape and Urban Planning*, 2008: 174-184.
- Chacón, José. «Los conceptos actuales de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo, en la prevención de movimientos de ladera, con ejemplos de aplicaciones prácticas. .» Curitiba: Universidad de Granada,, 30 de 10 de 2008.
- Chacón, José. «Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal.» *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 2012: 73 - 89.

- Córdava, Marco, y Alexandra Vallejo. «Riesgos urbanos en América Latina.» *Revista Letras Verdes*, 2012: 1-3.
- Cortes, Juan, Katerin Saenz, y Diego Sampedro. «ANÁLISIS A LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO URBANO DEL MUNICIPIO DE EL COLEGIO – CUNDINAMARCA, Y SUS CONFLICTOS DE USOS.» Bogotá: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, 2021.
- Cotés, Juan. «El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable.» *Paradigma Económico*, 2015: 127-149.
- Cruden, D, y Varnes. «Landslide types and processes.» *National Research Council*, 1996: 36-75.
- Escuela Politecnica Nacional. "*Proyecto para el manejo sísmico de Quito, Síntesis*". Quito: IRD, 1995.
- . "*The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project an Overview*". Quito: EPN, 1994.
- European Environment Agency. «Urban Sprawl in Europe. The ignored Challenge. Join Research Center of the European Commission.» EEA Report, 2006. 10: 56 pp.
- Galarza, Nicolás, Juan Rodriguez, Magda Montaña, y Mónica Salazar. «Expansión urbana ordenada.» Nueva York: Universidad de Nueva York, 2017.
- Gómez, Andrea, y Nicolás Cuvi. «Asentamientos informales y medio ambiente en Quito.» *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 2016: 110-119.
- Kawamura , Y, S Kang, y Utsuki. «Hazard mapping of ground subsidence in east area of Sapporo using frequency ratio model and GIS.» *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2021: 347-362.
- OEA-ECHO. *El Rol de los Organismos Internacionales de Cooperación Técnica y Financiamiento en la Reducción de la Vulnerabilidad del Sector Educativo a los Peligros Naturales en Centroamérica*. Organización de los Estados Americanos Oficina de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 2000.
- ONU. *Noticias ONU*. 30 de 01 de 2020. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501> (último acceso: 25 de 04 de 2023).
- Perlo Cohen, Manual. *RIESGO, VULNERABILIDAD Y PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LAS GRANDES CIUDADES*. UNAM, 2000.
- Polo, Iris. *PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARRANQUILLA A 20 AÑOS, MEDIANTE EL USO DE LOS SIG*. Barranquilla: Universidad del Norte-Colombia, 2013.

- Portilla, Fredi. *Agroclimatología del Ecuador*. 2018.  
<https://doi.org/10.7476/9789978104927.0001>.
- Ramirez, Mirta. *El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables*. Chaco: Universidad Nacionl del Nordeste, 2004.
- Rojas, N, L Fonseca, S Pérez, y M Blanco. «Modelación de Crecimiento Urbano.» *Bitacora32*, 2022.
- THOURET, J-CL, y D'ERCOLE. «Avants propos de Croissance urbaine et risques naturels dans les montagnes des pays en voie de développement" .» *Revue de Géographie Alpine*, 1994: 4:192.
- Ulloa, René, y Yolanda Pérez. «Validación de un modelo de predicción del crecimiento urbano en Quito (Ecuador) construido mediante pesos de evidencia y autómatas celulares.» *EURE*, 2022: 1-27.
- UNICEF. 2012. <http://www.unicef.org/spanish/sowc2012/pdfs/SOWC-2012-Definiciones.pdf>.

## Anexos

### Anexos 1: Datos estación Izobamba desde el año 1962 al 2019

ESTACION	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1962		176.2	236.4	134	121.3	94.8	6.1	13.1	39.5	74.3	162.3	52.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1963	199.5	185.3	201.6	176.8	97.6	59.2	60	29.7	41.5	102.3	107.3	176.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1964	57.9	59.2	46.1	314.8		83	84.7	43.2	71.7	32	93.1	169.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1965	159.9	67.3	198.6	284	157.5	2.5	5.3	10	143.5	209.5	236.8	129.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1966	91.3	123.3	112.4	159.3	193	84.7	30.7	24.5	65.6	154.6	107.9	95.2
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1967	147.8	262.8	176	72.8	118.4	61.9	21.9	14.2	39	195.2	72.5	38.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1968	80.6	159	220.5	143.3	28.7	69.2	28.6	56.7	103.8	155.1	133.9	77.2
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1969		269.8	222.5	275	158.6	106.6	0.7	16.5	153.4	174.2	146.2	217.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1970	164.5	284.5	120.6	159.7	211.4	52.2	8.3	27.3	77	104.9	236.9	159.1
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1971	222.6	302	286.9	111.7	107.7	153.9	4.2	56.9	107.9	208.1	130.4	106.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1972	218.4	155.1	236.2	177.6	134.4	98	7.1	41	28.4	77	224.3	119
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1973	91.1	79.1	186	234.4	188.7	91	60.9	45.4	113.7	132	75.5	114
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1974	81.9	214.9	196.7	173.2	126.5	97.3	25.8	39.7	108.5	272.1	195.6	175
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1975	105.3	263.9	191.7	166	156.1	81.7	133.2	55.1	76.8	174.1	190.5	133.1
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1976	129	155.8	248.7	234.2	134.1	47.6	7.5	20.2	40.1	83.8	128.3	112
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1977	135.2	101.6	133.8	130.4	57.7	110.2	28.5	64	123.1	97.9	49.4	134.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1978	77.7	77.5	172.5	188.3	169	9	68.3	65.8	97.2	37.4	66.5	129
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1979	71.2	49.8	193.4	164.1	166.9	47.2	28.3	72.6	175	62.6	50.9	32.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1980	76.2	152	119.6	153.4	64.4	31.1	14.3	36.7	63.4	216.4	172.1	77.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1981	95.6	168.2	223.8	240.9	93.8	76.8	48.6	81.2	40.9	191.4	161.7	142.3
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1982	211.5	125.8	157	176.3	228.6	31.9	34.4	1.2	99.2	161.4	184.8	367.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1983	133.2	87.1	205.4	230.6	215.6	60.9	19.2	40.7	58.5	121.2	137.2	247.1
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1984	69.7	311.8	213.3	261.4	174.5	68.9	28.2	54.8	143.2	163.5	200.3	116.5
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1985	126.3	32.1	69.4	104.7	197.7	54.3	23.3	48.5	90.7	68.1	62.3	106.2
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1986	186.4	124.8	143.5	251.6	203.6	25.7	2	21.3	75.1	163.1	152.8	66.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1987	114	82.2	126.5	159.5	118.9	15.9	37.3	50.5	108.6	116	40.8	24.3
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1988	156.6	219.5	32.9	351.5	187.2	101.8	42.1	68.6	134.6	164.2	215.7	96.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1989	230	188.7	200	156.5	100.1	112.2	40.6	24.5	118.6	186.4	39.2	20.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1990	76.7	157.4	62.4	292.5	85.7	15.2	65.4	25.1	43.5	190.6	48.6	74.1
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1991	125.4	104.7	180.8	95.4	147.7	91.2	43.9	14.4	116.7	133.5	138.8	142.3
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1992	53.9	80	98.6	178.1	121.8	37.4	24.7	17.4	114.9	118.8	88.5	92.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1993	141.9	227.3	237.4	234.3	130.5	9.7	21.7	17.1	91.4	88	102.3	244.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1994	180.6	211.7	244	220.6	224.7	11.5	24.5	7.6	86.8	75.2	197.1	159.5
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1995	53.9	61.4	208.4	168.8	107.9	84.8	53.2	100.5	50.7	137.1	209.9	124.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1996	160.9	220.7	223.7	237.4	212.5	75.2	30	39.8	45.6	163.6	74.2	83.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1997	233.4	102	194.9	168.1	104.1	112.8	4.6	17	71.1	150.5	250.3	195.3
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1998	83.1	143.2	205.9	264.7	224.9	49.6	37.6	72	57.4	192.5	181.4	44.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	1999	93.4	251.3	269.5	152.3	201	134.5	7.9	43.6	157.2	104.2	160.3	192.5
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2000	161.2	184.6	268.8	231.4	250.5	137.7	42.6	28.8	167.7	49.9	57.9	73.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2001	144.8	168.2	226.3	133.6	102	38.2	36.1	12.4	91.4	7.9	119	192.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2002	94	93.4	201.4	248	132.7	69.7	26.5	11.8	22.9	129.6	185	243.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2003	144.7	104.4	111.5	183.7	118	117.8	7.9	32.2	101.3	153.2	200.1	110.5
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2004	58.9	66.1	74.8	150.4	147.4	24.3	28.6	3.1	98.7	136.3	152.7	187.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2005	33.3	201.4	210.2	115.7	100.1	66.8	50.6	53.9	84.1	83.7	105.8	159.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2006	93.3	188.8	167.5	262	76.3	92.2	13.1	23.6	51.6	76.5	245.9	174.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2007	171.3	55.1	229.9	264.3	243.6	59.7	62.6	34.8	16.4	201.9	326.2	117.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2008	246.6	275.5	263.5	257	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108	126
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29	9.7	86.4	88.8	209.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2010	45.6	103.7	114.2	289.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2011	138.3	193.3	143.7	262.4	92.8	61.4	69.4	76.7	56.9	197.6	30.4	164.9
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20	20.5	167	169	30.5
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2014	177.9	135.4	242.3	141.6	186.9	43.3	12.5	49.9	78.5	132.1	112.8	79.8
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82	110.9	28.9	193.3
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113	124.4	170.4
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7
M0003	IZOBAMBA	-78.555	-0.365833	3058	2019	105.5	212	235.1	155.4	103.6	62.5	24.9	0	84	168	194.8	132.3