

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ingeniería**



Análisis del riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca y su relación con el sitio de deposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Mateo McDonald Rojas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala, 2025



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ingeniería**



Análisis del riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca y su  
relación con el sitio de deposición final de la zona 3 de la Ciudad de  
Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Mateo McDonald  
Rojas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala, 2025

V.ºB.º

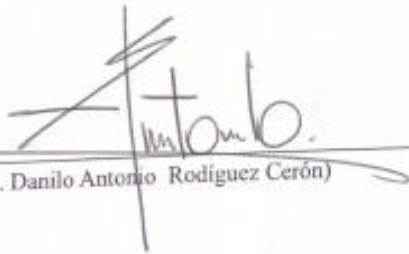


(Ing. Héctor Francisco Espinoza García)

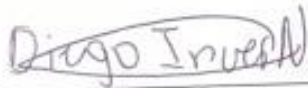
Tribunal examinador.



(M.Sc. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos)



(M.Sc. Danilo Antonio Rodríguez Cerón)



(M.Sc. Diego Josue Incer Nuñez)

Fecha de aprobación del examen de graduación

(Guatemala, 9 de diciembre de 2025)

# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>III. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
A. OBJETIVO GENERAL .....	5
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
C. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	6
<b>IV. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
A. MARCO REFERENCIAL .....	7
5. MARCO CONCEPTUAL .....	20
<b>V. METODOLOGÍA .....</b>	<b>54</b>
A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL.....	54
B. PREPARACIÓN DE LAS CAPAS COMO PRINCIPAL INSUMO PARA EL AMC (ANÁLISIS MULTICRITERIO) .....	55
C. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES CRÍTICOS.....	62
D. ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO A INUNDACIONES DEL RÍO LA BARRANCA .....	71
E. PROPUESTAS PARA MITIGACIÓN O GESTIÓN DEL RIESGO A INUNDACIONES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LA BARRANCA ..	80
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>88</b>
A. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS.....	89
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>96</b>
<b>X. ANEXO .....</b>	<b>102</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1. Mapa delimitación microcuenca río La Barranca.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2. Mapa de precipitación microcuenca río La Barranca .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3. Mapa geología y geomorfología microcuenca río La Barranca .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4. Mapa uso de suelo microcuenca río La Barranca .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 5. Mapa de pendientes microcuenca río La Barranca .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 6. Mapa Ciudad de Guatemala.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7. Imagen satelital zona 3 de la Ciudad de Guatemala .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 8. Distribución territorial zona 3 de la Ciudad de Guatemala .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 9. Barrio el Gallito .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 10. Actividades económicas.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 11. Erosión en laderas.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 12. Concepto de cuenca, subcuenca y microcuenca.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 13. Inundación urbana .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 14. Proyecto Cuenca Verde, Medellín, Colombia .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 15. Inundaciones y desechos sólidos.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 16. Análisis multicriterio con herramientas SIG .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 17. Funcionamiento relleno sanitario.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 18. Relleno sanitario vs sitio de deposición final.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 19. Imagen descriptiva lixiviados .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 20. Cuenca hidrográfica .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 21. Río Las Vacas .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 22. Asentamiento bajo puente Belice zona 17 Ciudad de Guatemala.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 23. Exceso de basura en sitio de disposición final.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 24. Imagen satelital sitio de disposición final zona 3 .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 25. Cuerpo de agua en sitio de disposición final zona 3 .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 26. Edificaciones a la redonda del sitio de disposición final de la zona 3 .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 27. Mapa referencia ubicación Cementerio General y sitio de deposición final zona 3.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 28. Efectos negativos de las inundaciones.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 29. Inundación en Cementerio General zona 3 aledaño al Relleno Sanitario.....</b>	<b>53</b>

<b>Figura 30. Límite de la microcuenca .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 31. Mapa de pendientes clasificado en niveles de riesgo .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 32. Precipitación clasificado en niveles de riesgo.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 33. Drenajes clasificado en niveles de riesgo .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 34. Cobertura del suelo clasificado en niveles de riesgo.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 35. Mapa de modelo de elevación Digital (DEM) reclasificado .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 36. Área de monitoreo del sitio de disposición final de la zona 3 .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 37. Área de pesaje sitio de disposición final .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 38. Área de composta sitio de disposición final.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 39. Composta realizada en área de compostaje sitio de disposición final .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 40. Invernadero del sitio de disposición final .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 41. Área de deposición final del sitio de disposición final .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 42. Colaboradores municipales y visitantes sitio de disposición final.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 43. Delimitación del río La Barranca .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 44. DEM nacional .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 45. DEM nacional cortado .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 46. Capa pendientes obtenido de DEM cortado .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 47. Capa tipo polígono microcuenca río La Barranca en base a capa de pendientes.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 48. Fórmula SLP .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 49. Menú "Raster Calculator" QGIS .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 50. Resultado inicial análisis multicriterio previo a reclasificación .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 51. Reubicación de vivienda.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 52. Mantenimiento de instalaciones .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 53. Infraestructura verde .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 54. Mapa de riesgo a inundaciones microcuenca del río La Barranca .....</b>	<b>88</b>

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1. Preguntas de investigación .....</b>	<b>6</b>
<b>Cuadro 2. Capas recolectadas .....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 3. Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (pendientes).....</b>	<b>57</b>
<b>Cuadro 4. Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (precipitación) .....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 5. Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (drenajes) .....</b>	<b>59</b>
<b>Cuadro 6. Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (cobertura de suelo) .....</b>	<b>60</b>
<b>Cuadro 7. Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (DEM) .....</b>	<b>61</b>
<b>Cuadro 8. Ponderación de variables.....</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 9. Reclasificación de mapa de riesgo a inundaciones.....</b>	<b>79</b>
<b>Cuadro 10. Propuestas de mitigación a riesgo a inundaciones por nivel.....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 11. Distribución de riesgo a inundación por categoría microcuenca del río La Barranca .....</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

Las inundaciones en la microcuenca del río La Barranca constituyen una de las principales problemáticas ambientales y urbanas de la Ciudad de Guatemala. Este fenómeno se ha intensificado por el crecimiento urbano desordenado, la ocupación de zonas de riesgo y la presencia del sitio de disposición final de residuos sólidos de la zona 3 dentro del cauce del río. Estos factores han reducido la capacidad natural de regulación hídrica, aumentando la vulnerabilidad del territorio frente a lluvias intensas y afectando la infraestructura y a las comunidades aledañas.

El objetivo de esta investigación es analizar el riesgo de inundaciones de la microcuenca del río La Barranca y su relación con el sitio de disposición final de la zona 3, con el fin de generar información técnica que apoye la gestión ambiental y la planificación urbana sostenible de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.

La metodología se basó en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente Quantum GIS, para integrar variables físicas y ambientales mediante un análisis multicriterio (AMC). Se consideraron factores como precipitación, pendiente, cobertura del suelo y drenaje, complementados con visitas técnicas y observaciones realizadas en visitas de campo en el sitio de deposición final de la zona 3.

Los resultados permitieron identificar las zonas más vulnerables y elaborar un mapa de riesgo a inundaciones, que evidencia la relación directa entre la acumulación de residuos sólidos y la reducción de la capacidad hidráulica del cauce. Se concluye que la mitigación del riesgo requiere medidas integradas de restauración ecológica, mantenimiento de drenajes e incorporación de infraestructura verde.

**Palabras clave:** Inundaciones, microcuenca, zona 3, Ciudad de Guatemala, riesgo, Quantum GIS, disposición final de residuos.

## ABSTRACT

Flooding in the La Barranca River micro-basin represents one of the main environmental and urban challenges in Guatemala City. This phenomenon has intensified due to unplanned urban growth, the occupation of high-risk areas, and the presence of the zone 3 final disposal site for solid waste within the riverbed. These factors have reduced the natural water regulation capacity, increasing the territory's vulnerability to heavy rainfall and negatively impacting infrastructure and nearby communities.

The objective of this research is to analyze the flood risk of the La Barranca River micro-basin and its relationship with the zone 3 final disposal site, aiming to generate technical information that supports environmental management and sustainable urban planning.

The methodology was based on the use of Geographic Information Systems (GIS), specifically Quantum GIS, to integrate physical and environmental variables through a multi-criteria analysis (MCA). Factors such as precipitation, slope, land cover, and drainage were considered, complemented by technical field visits and on-site observations.

The results allowed the identification of the most vulnerable areas and the creation of a flood risk map, highlighting the direct relationship between the accumulation of solid waste and the reduction of the river's hydraulic capacity. It is concluded that risk mitigation requires integrated measures such as ecological restoration, drainage maintenance, and the incorporation of green infrastructure to enhance urban resilience to hydrometeorological events.

**Keywords:** Flooding, micro-basin, Zone 3, Guatemala City, risk, Quantum GIS, final disposal site.

# I. Introducción

Debido al cambio climático global se han presentado variaciones contraproducentes en los patrones de precipitación, reflejándose tanto en abundancia (inundaciones) como en escasez (sequías). Las lluvias intensas, que en muchas ocasiones superan los 150 mm por día, sobrepasan la capacidad de los sistemas de drenaje urbano, lo que provoca desbordamientos y anegamientos en distintos sectores.

Las inundaciones urbanas se han convertido en uno de los principales desafíos que enfrentan las ciudades en crecimiento, especialmente en países como Guatemala, donde el desarrollo urbano se da con frecuencia sin un ordenamiento territorial adecuado que permita prevenir y gestionar estos fenómenos. En este contexto, la Ciudad de Guatemala, ubicada en un valle rodeado de barrancos, presenta condiciones físicas y sociales que la hacen vulnerable a este tipo de eventos.

Estos eventos hidrometeorológicos afectan de forma recurrente diversas zonas de la ciudad, generando impactos significativos en la infraestructura, el medio ambiente y la calidad de vida de la población.

Un caso representativo de esta problemática es la microcuenca del río La Barranca, de carácter urbano y con un nivel de intervención humana considerable. En su cauce se encuentra el denominado sitio de disposición final de residuos sólidos más grande del país, ubicado en la zona 3 de la capital, lo que lo convierte en un punto crítico de riesgo ambiental e hidrológico. Durante los meses de mayor precipitación (junio a septiembre), los registros pluviométricos evidencian acumulados que superan los 300 mm, lo que genera presión sobre el sistema de drenajes y aumenta la probabilidad de inundaciones, erosión y deslizamientos de taludes.

La interacción de factores naturales (pendientes, intensidad de lluvias, características del suelo) y antrópicos (urbanización desordenada, acumulación de residuos, insuficiencia de drenajes) incrementa la vulnerabilidad de esta microcuenca, afectando no solo al ambiente, sino también a las comunidades aledañas que dependen de este territorio.

La identificación precisa de las áreas de mayor riesgo a inundaciones dentro de la microcuenca del río La Barranca permitirá enfocar los esfuerzos de prevención y respuesta en los sectores que requieren más

atención. De esta manera, se busca reducir los daños inesperados provocados por la escorrentía al entrar en contacto con los residuos sólidos, su arrastre potencial y los procesos asociados de erosión y contaminación del suelo y del agua.

Además, la información obtenida servirá como insumo técnico para optimizar la planificación urbana, priorizar obras de mitigación y fortalecer la resiliencia de las comunidades más vulnerables. También permitirá anticipar escenarios futuros asociados al cambio climático, promoviendo medidas de adaptación como infraestructura verde, reforestación y programas de educación comunitaria orientados a una gestión ambiental más sostenible.

El objetivo principal de este estudio es contribuir a la generación de información sobre el riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca y su relación con el sitio de disposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la generación y análisis de capas geoespaciales.

De esta forma, se busca producir un mapa de riesgo que permita delimitar las áreas críticas, fundamentar la toma de decisiones y proponer acciones de mitigación que reduzcan la vulnerabilidad ambiental, social y urbana en la zona de estudio.

La investigación se desarrolló a través de la siguiente pregunta principal de investigación ¿Cuál es el nivel de riesgo a inundaciones en la microcuenca del río La Barranca y de qué manera el sitio de disposición final de la zona 3 influye en dicho riesgo? El producto final permitirá la identificación de las zonas críticas de la zona de estudio, aportando al conocimiento técnico del fenómeno y servir como base de investigaciones futuras. Finalmente, para facilitar la comprensión del estudio, la presente tesis se organiza en diez capítulos que incluyen la introducción, la justificación, la importancia, los objetivos, el marco teórico, la metodología, los resultados esperados, las conclusiones, las recomendaciones, la bibliografía y los anexos.

## II. Justificación

El riesgo a inundaciones es uno de los fenómenos naturales que más afecta a las ciudades en crecimiento, y Guatemala no es la excepción. En los últimos años, las lluvias extremas asociadas al cambio climático han incrementado la frecuencia e intensidad de inundaciones, generando impactos negativos en la infraestructura urbana, la salud pública y la seguridad de las comunidades (CONRED, 2012; Guzmán, 2019).

La microcuenca del río La Barranca, ubicada en la zona central de la Ciudad de Guatemala, constituye un caso emblemático de esta problemática. Su importancia radica en que concentra procesos físicos, como pendientes pronunciadas y alta pluviosidad estacional, junto con factores antrópicos como la urbanización acelerada, la ocupación de zonas de riesgo y la acumulación de residuos sólidos, que en conjunto elevan el riesgo frente a inundaciones. Además, en su cauce se encuentra el sitio de disposición final de la zona 3, el más grande del país, lo cual intensifica los riesgos asociados tanto a deslizamientos como a la contaminación hídrica.

Durante la visita técnica al sitio de disposición final, se constató que el sector norte del mismo, colindante con el río La Barranca, es el más afectado en época lluviosa, con precipitaciones que en junio y septiembre superan los 300 mm mensuales. Esta presión hídrica compromete la capacidad de los drenajes, favorece procesos de erosión y aumenta la posibilidad de deslizamientos en los taludes. Asimismo, se verificó que el manejo de lixiviados es todavía deficiente, pues los líquidos se descargan directamente hacia el colector municipal RMR, que a su vez desemboca en la quebrada La Barranca, incrementando la potencial contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

La investigación se justifica porque la identificación precisa de las áreas de mayor riesgo permitirá priorizar acciones de prevención y mitigación, optimizando el uso de los recursos municipales en el sitio de disposición final. Así mismo, al contar con información geoespacial actualizada y validada mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se diseñarán mapas de riesgo que faciliten la toma de decisiones, la planificación de infraestructura y la gestión adecuada de los drenajes pluviales.

En el plano social, el estudio cobra relevancia porque alrededor de 2,000 familias dependen del vertedero para subsistir en condiciones de vulnerabilidad y pobreza extrema. Estas comunidades están directamente expuestas a las consecuencias de las inundaciones, tales como pérdidas materiales, afectaciones a la salud y riesgos sanitarios por el contacto con aguas contaminadas. Por ello, este trabajo no solo busca aportar información técnica, sino también promover el bienestar social, contribuyendo a programas de educación ambiental y a la sensibilización comunitaria sobre el manejo responsable de los residuos sólidos.

En este contexto, la investigación se alinea con experiencias desarrolladas en otras ciudades latinoamericanas, donde la gestión del riesgo en microcuencas urbanas ha demostrado ser una herramienta fundamental para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones. Por ejemplo, en la ciudad de Medellín, Colombia, se han implementado estudios integrales de microcuencas urbanas que combinan análisis hidrológico, ordenamiento territorial y monitoreo permanente mediante SIG, permitiendo la identificación de zonas críticas y la formulación de medidas de mitigación adaptadas al entorno urbano (Alcaldía de Medellín, 2017; UNDRR, 2019). Estos antecedentes evidencian la importancia de abordar el riesgo de inundaciones desde una escala local, especialmente en microcuencas urbanizadas, reforzando la pertinencia y aplicabilidad del presente estudio en el contexto de la Ciudad de Guatemala. Desde la perspectiva académica, este trabajo representa un aporte al conocimiento en gestión de riesgos a inundaciones urbanas, al integrar variables físicas, sociales y ambientales en un análisis espacial integral. De esta manera, los resultados podrán ser utilizados por instituciones como la Municipalidad de Guatemala, CONRED, MARN y organizaciones comunitarias para fortalecer la resiliencia de la ciudad frente a inundaciones, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y con la necesidad de adaptación al cambio climático.

En este sentido, la investigación se alinea con experiencias desarrolladas en otras ciudades latinoamericanas, donde la gestión del riesgo en microcuencas urbanas ha demostrado ser una herramienta fundamental para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones. Por ejemplo, en la ciudad de Medellín, Colombia, se han implementado estudios integrales de microcuencas urbanas que combinan análisis hidrológico, ordenamiento territorial y monitoreo permanente mediante SIG, permitiendo la identificación de zonas críticas y la formulación de medidas de mitigación adaptadas al entorno urbano (Alcaldía de Medellín, 2017; UNDRR, 2019). Estos antecedentes evidencian la importancia de abordar el riesgo de inundaciones desde una escala local, especialmente en microcuencas urbanizadas, reforzando la pertinencia y aplicabilidad del presente estudio en el contexto de la Ciudad de Guatemala.

### **III. Objetivos**

#### **A. Objetivo general**

- Contribuir con la generación de información sobre el riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca y su relación con el sitio de deposición final de la zona 3, de la Ciudad de Guatemala.

#### **B. Objetivos específicos**

- Recopilación de información geoespacial e identificación de factores críticos que contribuyen al riesgo de inundaciones en la microcuenca del río La Barranca.
- Elaborar el mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca.
- Proponer obras o acciones de mitigación para reducir el riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca.

## C. Preguntas de investigación

### Cuadro 1

#### Preguntas de investigación

Objetivo Específico	Pregunta de Investigación
<p><b>OE1.</b></p> <p><b>Recopilación de información geoespacial e identificación de factores críticos que contribuyen al riesgo de inundaciones en la microcuenca del río La Barranca.</b></p>	<p>¿Cuáles son las principales variables físicas y antrópicas que incrementan la vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca del río La Barranca?</p> <p>¿De qué manera influye la acumulación de residuos sólidos y la deforestación en la alteración de los drenajes naturales dentro de la microcuenca?</p> <p>¿Cómo pueden los datos geoespaciales obtenidos mediante SIG contribuir a la identificación precisa de las áreas de mayor susceptibilidad a inundaciones?</p>
<p><b>OE2.</b></p> <p><b>Elaborar el mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca.</b></p>	<p>¿Qué variables hidrológicas, topográficas y de uso de suelo deben integrarse para generar un mapa de riesgo de inundaciones confiable?</p> <p>¿Cómo se pueden ponderar los factores físicos y sociales en un modelo de análisis multicriterio (AMC) para representar los niveles de riesgo en la microcuenca?</p> <p>¿Qué zonas dentro de la microcuenca del río La Barranca presentan los mayores niveles de riesgo a inundaciones según el análisis geoespacial realizado?</p>
<p><b>OE3.</b></p> <p><b>Proponer obras o acciones de mitigación para reducir el riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca.</b></p>	<p>¿Qué tipo de obras hidráulicas o de infraestructura verde serían más efectivas para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones en la microcuenca?</p> <p>¿Cómo puede la gestión del sitio de disposición final de la zona 3 integrarse en un plan de mitigación ambiental y social frente a las inundaciones?</p> <p>¿Qué estrategias de educación ambiental y participación comunitaria pueden contribuir a la sostenibilidad de las medidas de mitigación propuestas?</p>

Nota. Se muestran las preguntas de investigación por objetivo específico.

## **IV. Marco teórico**

### **A. Marco referencial**

#### **1. Contexto general de la microcuenca**

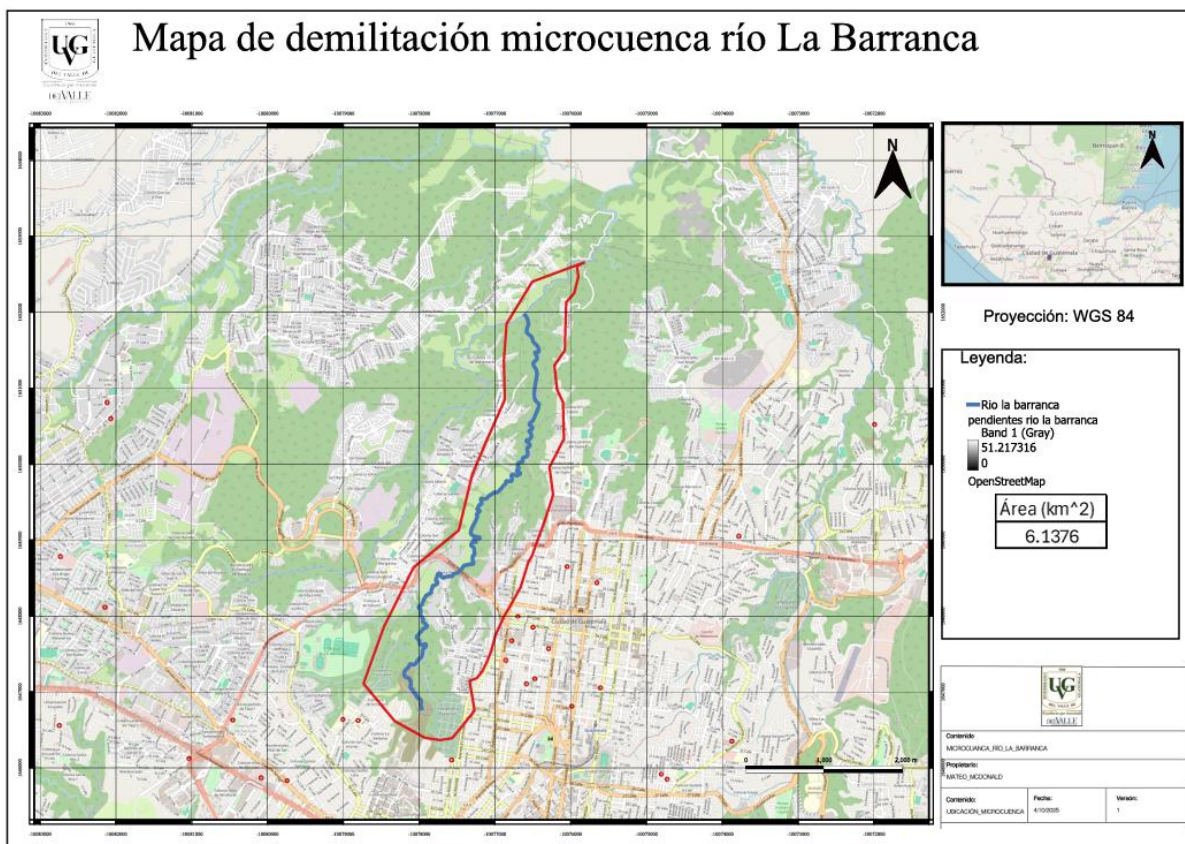
##### **a) Ubicación geográfica**

La microcuenca del río La Barranca se ubica en el área central de la Ciudad de Guatemala, dentro del departamento homónimo (MARN, 2024). Forma parte de la red de barrancos que drenan hacia el río Las Vacas, constituyendo un corredor natural de escorrentía pluvial que históricamente ha cumplido un papel en la regulación hídrica del valle. Tiene un área aproximada de 6.14 km<sup>2</sup> ubicada dentro de las coordenadas 14°38'33.2"N 90°31'56.2"W y 14°37'59.9"N 90°31'59.9"W aproximadamente. La ubicación estratégica de la microcuenca la convierte en un receptor de aguas provenientes de distintas zonas urbanas, lo que incrementa su importancia en la dinámica hidrológica de la ciudad (Bruno et al., 2009).

La delimitación de la microcuenca se establece a partir de sus divisorias de aguas naturales, que permiten definir su área de captación y el cauce principal que conduce los flujos hacia la parte baja. En la Figura 1 se muestra el mapa delimitando el área de la microcuenca del río la Barranca.

**Figura 1**

**Mapa delimitación microcuenca río La Barranca**



Nota. La figura muestra el mapa que delimita el área de la microcuenca del río La Barranca

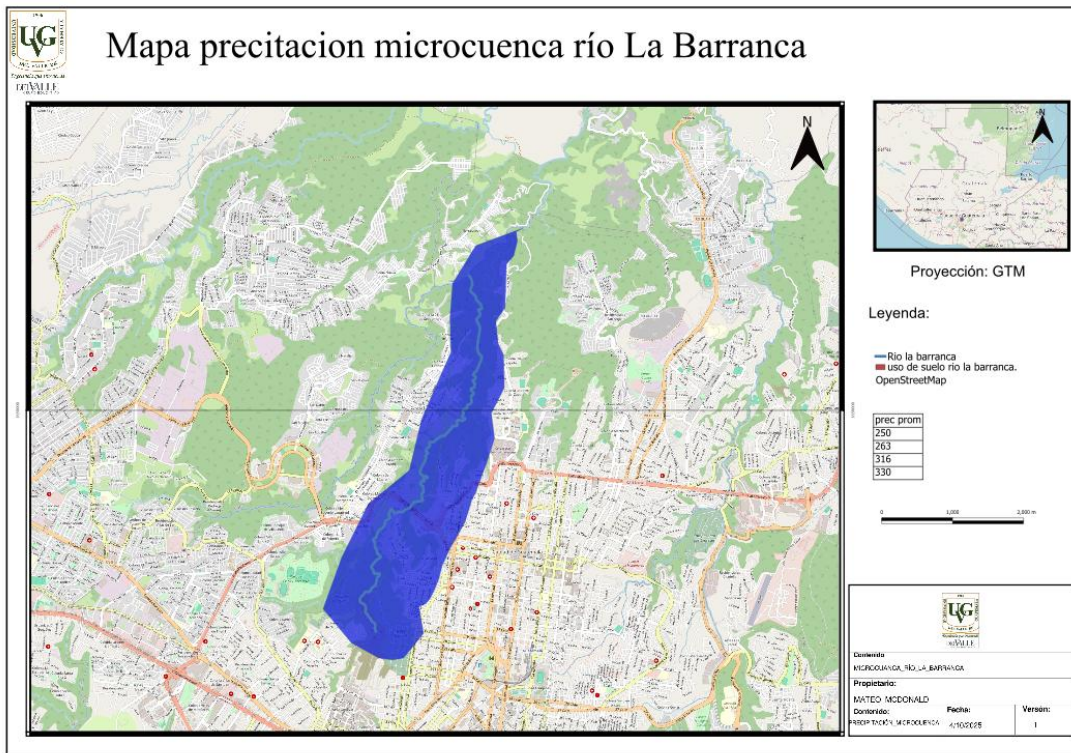
## 2. Características biofísicas

### a) Clima y precipitación

La microcuenca del río La Barranca se encuentra en una zona con clima templado-húmedo, caracterizado por una estación lluviosa que se extiende de mayo a octubre. Durante este período, se registran precipitaciones mensuales que pueden superar los 300 mm, especialmente entre los meses de junio y septiembre (CONRED, 2025b). Este patrón de lluvias intensas, asociado al cambio climático y al fenómeno de variabilidad climática regional, genera escorrentías rápidas que saturan los drenajes urbanos, provocando anegamientos y desbordamientos localizados (MARN, 2023). En la Figura 2 se muestra el mapa de precipitación correspondiente a la microcuenca del río La Barranca.

**Figura 2**

**Mapa de precipitación microcuenca río La Barranca**



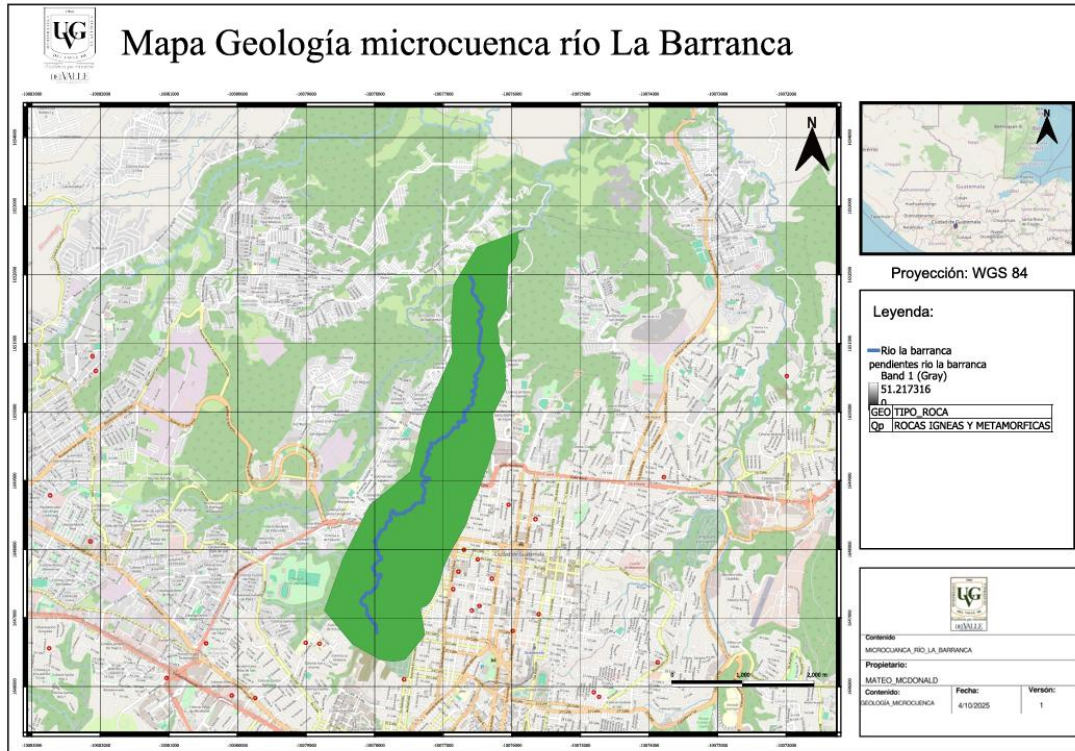
Nota. La figura muestra el mapa de la precipitación delimitada en el área de la microcuenca del río La Barranca

b) Geología y geomorfología

El terreno de la microcuenca está compuesto principalmente por depósitos volcánicos y piroclásticos, con presencia de materiales sueltos en las laderas, lo cual aumenta la susceptibilidad a procesos de erosión y deslizamientos. Las pendientes pronunciadas, combinadas con la deforestación y la impermeabilización del suelo, facilitan la concentración de escorrentías y la pérdida de estabilidad de los taludes (Bruno et al., 2009).

Figura 3

Mapa geología y geomorfología microcuenca río La Barranca



Nota. La figura muestra el mapa de geología delimitada en la microcuenca del río La Barranca

c) Hidrología

El río La Barranca actúa como colector principal de las aguas pluviales, recibiendo también descargas artificiales provenientes de los sistemas de alcantarillado de la ciudad. En época lluviosa, estas descargas incrementan la carga hídrica y favorecen el desbordamiento de cauces, afectando a viviendas y vías cercanas (CONRED, 2025a). La falta de mantenimiento de los colectores y la presencia de residuos sólidos agravan esta situación, provocando obstrucciones y colapsos en los sistemas de drenaje (MARN, 2024).

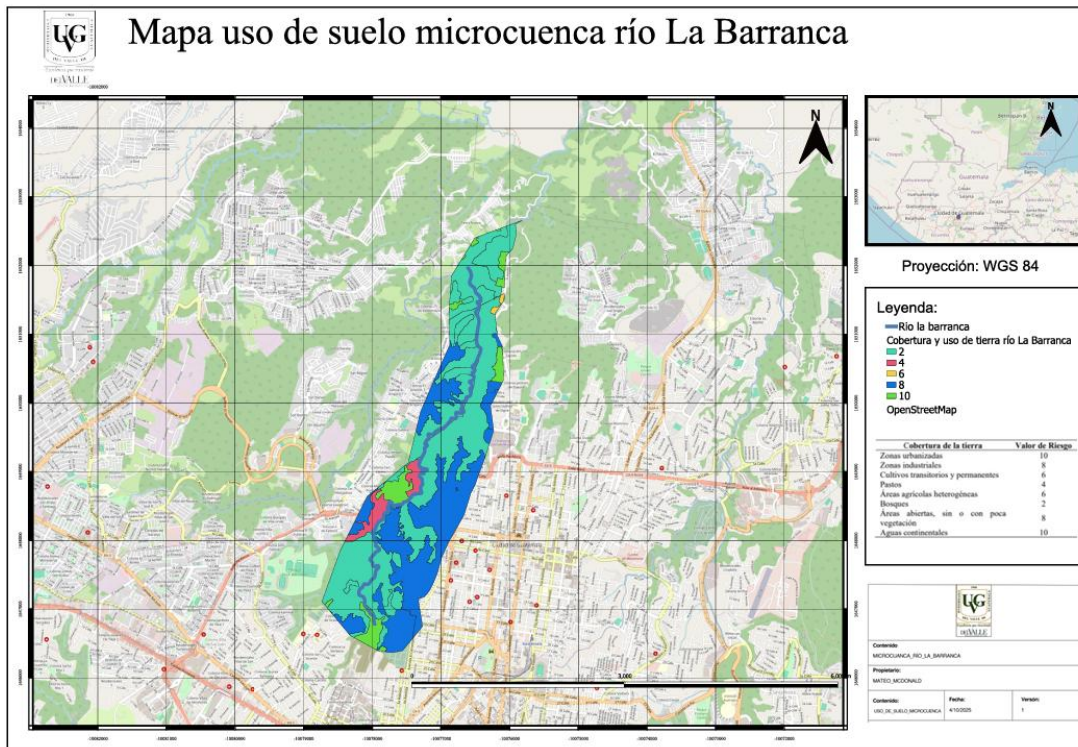
d) Uso actual del suelo

El uso del suelo en la microcuenca es predominantemente urbano, con zonas industriales y áreas de disposición final de residuos sólidos. La pérdida de cobertura vegetal natural ha reducido la capacidad

de infiltración y aumentado el escurrimiento superficial, factores que incrementan el riesgo de inundaciones. Según el MARN (2023), la disminución de las áreas verdes y la ocupación de zonas ribereñas por asentamientos informales son causas directas del deterioro de los ecosistemas urbanos.

**Figura 4**

**Mapa uso de suelo microcuenca río La Barranca**



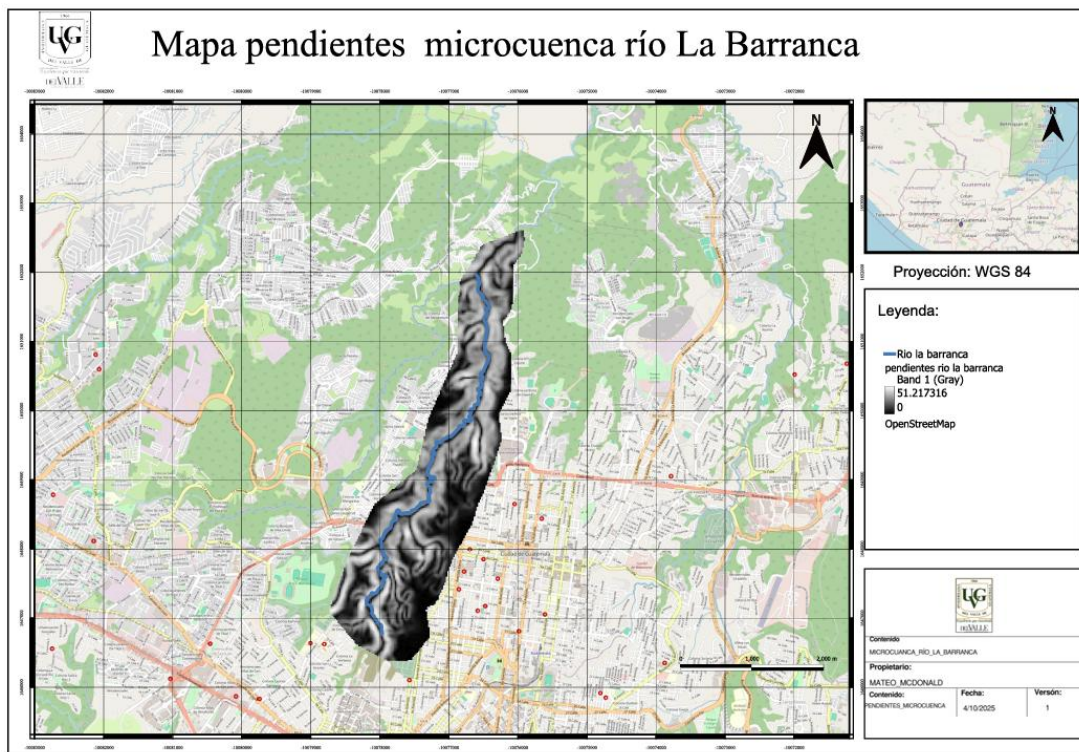
Nota. La figura muestra el mapa de uso de suelo delimitada en la microcuenca del río La Barranca.

e) Pendientes

La microcuenca presenta una topografía variable, con sectores planos donde se acumulan aguas pluviales y laderas con pendientes superiores al 25 %. Estas diferencias topográficas determinan tanto las áreas de acumulación como las de escorrentía rápida, por lo que deben considerarse como variables fundamentales dentro del análisis multicriterio (Bruno et al., 2009).

**Figura 5**

**Mapa de pendientes microcuenca río La Barranca**



Nota. La figura muestra el mapa de pendientes delimitada en la microcuenca del río La Barranca

### 3. Características socioeconómicas

#### a) Población

El área de la microcuenca se encuentra densamente poblada, con presencia de asentamientos informales localizados en zonas de riesgo, próximos al cauce y en laderas inestables. Estas comunidades presentan altos niveles de vulnerabilidad debido a la precariedad de sus viviendas, la falta de servicios básicos y la carencia de infraestructura de protección (CONRED, 2025b).

#### b) Conceptos y características generales de la zona 3 Ciudad de Guatemala

La zona 3 es una de las zonas urbanas más antiguas y tradicionales de la Ciudad de Guatemala, con un ambiente típico urbano y una historia marcada por su desarrollo como área residencial para la clase trabajadora. Es conocida por albergar el Cementerio General, fundado en 1880 y ubicado sobre el sitio arqueológico Kaminaljuyú (Instituto Holandés para la democracia Multipartidaria , 2024).

c) Extensión territorial y ubicación

La zona 3 tiene una extensión territorial aproximada de 4.2 kilómetros cuadrados, tiene como colindancias la zona 8, 11 y 12. Se describirá desde la intersección de la 1ª calle zona 1 previamente mencionada y Avenida Elena en dirección norte, hasta llegar al límite que separa las lotificaciones “El Sauce” y “La Floresta”; este límite se seguirá hacia el oeste hasta alcanzar el río de invierno que divide las lotificaciones “El Sauce” y “Bran”, el cual se seguirá hacia el norte hasta su confluencia con el río “La Barranca”. Desde este punto, se seguirá este último curso de agua hacia arriba, dejando al este el barrio “El Gallito”, los cantones “Barrios” y “Barillas”, tratando de pasar al este del antiguo vertedero conocido de la zona 7 hasta llegar a la calle ubicada al norte del parque de la “Cruz Roja” y del campo de fútbol llamado del Trébol, la cual se seguirá hacia el este hasta conectar con la avenida que, pasando detrás del cine “Real”, lleva a la Calzada Roosevelt, que se conocerá como 7ª avenida de la zona 3. Esa avenida se transitará hacia el sur hasta su cruce perfecto con el eje central de la citada calzada, eje que se continuará siempre hacia el oriente hasta su encuentro con la Avenida Simón Bolívar a la altura del puente del Trébol, luego a través de esta última hasta la 28 calle de la zona 1 previamente descrita, después hacia el poniente hasta la Avenida Elena, la que se seguirá hacia el norte hasta llegar al punto de partida de la descripción (Gonzales, 2021).

En cuanto a su ubicación geográfica en coordenadas, está situada aproximadamente en:

- **Latitud: 14°37'52" N (14.631°)**
- **Longitud: 90°31'32" O (-90.5255°)**

**Figura 6**

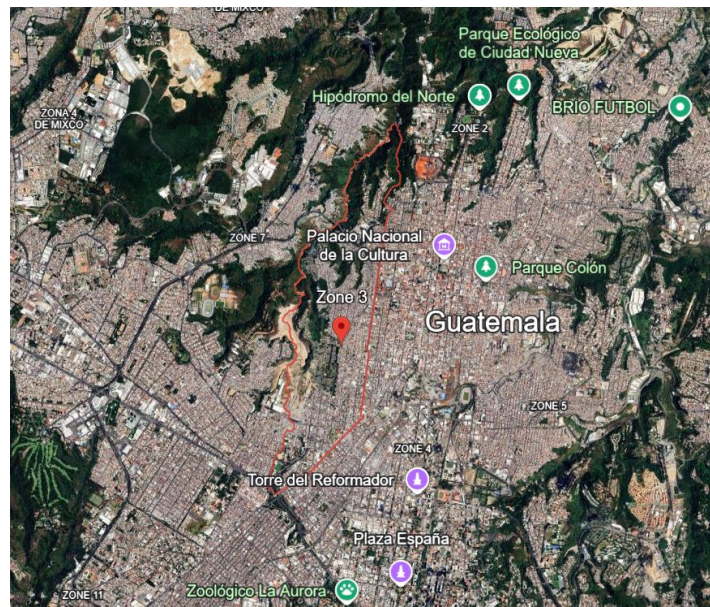
**Mapa Ciudad de Guatemala**



Nota. La figura muestra el mapa de la Ciudad de Guatemala zonificada desde la zona 1-25. Fuente: Gonzales (2021)

**Figura 7**

**Imagen satelital zona 3 de la Ciudad de Guatemala**



Nota. La figura muestra la extensión territorial de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala. Fuente: (Google Earth, 2025)

## Figura 8

### Distribución territorial zona 3 de la Ciudad de Guatemala



Nota. La figura muestra distribución de calles y avenidas de la zona 3, Ciudad de Guatemala. Fuente: (Google Earth, 2025)

#### d) Población y densidad de la zona 3

De acuerdo con los resultados del XII Censo Nacional de Población y Vivienda (INE, 2018), la zona 3 de la Ciudad de Guatemala cuenta con una población total de 41,148 habitantes, lo que la ubica entre las zonas de densidad media-alta dentro del municipio capitalino. Esta cifra refleja una dinámica demográfica consolidada en torno a la función residencial e industrial de la zona, y muestra un ligero aumento respecto a censos anteriores, asociado principalmente a la consolidación de asentamientos y al crecimiento natural de la población.

La superficie total de la zona 3 es de aproximadamente 4.2 kilómetros cuadrados, según datos cartográficos municipales y de síntesis urbana publicados por el Instituto Geográfico Nacional y recopilados por el portal de datos urbanos de Guatemala. Con base en estos valores, se obtiene una densidad poblacional promedio de 9,797 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que evidencia un nivel de concentración importante de la población. Esta densidad se explica por la presencia de sectores

residenciales consolidados, áreas con uso mixto y asentamientos con alta ocupación de suelo, lo que genera una presión significativa sobre la infraestructura urbana, los servicios públicos y las condiciones ambientales.

La composición poblacional de la zona 3 presenta características típicas de áreas urbanas intermedias, donde coexisten hogares de ingresos medios con sectores de menor poder adquisitivo. En las últimas dos décadas, esta zona ha mostrado un proceso de transformación vinculado a la expansión de áreas comerciales y la ubicación de equipamientos de escala metropolitana, como el Cementerio General y el relleno sanitario de la ciudad, lo que ha incidido directamente en la dinámica territorial y en la distribución del suelo urbano.

#### e) Asentamientos y estructura urbana

La zona 3 está conformada por una variedad de colonias y barrios tradicionales, así como por asentamientos urbanos populares que se han desarrollado de manera espontánea en las últimas décadas. Entre los sectores más representativos se encuentran el Barrio El Gallito, conocido por su antigüedad y densidad habitacional; la Colonia Aguilar y la Colonia La Cohetera, que representan zonas residenciales consolidadas con acceso parcial a servicios; y otras áreas como Colonia Trinidad, Colonia 3 de Mayo, Santa Isabel y Buena Vista, que combinan viviendas formales con asentamientos de origen informal.

Estos sectores conforman una trama urbana heterogénea, donde la morfología de las viviendas y la calidad del espacio público varían considerablemente entre áreas planificadas y zonas con procesos de ocupación irregular. La coexistencia de estos contrastes socioespaciales influye directamente en las condiciones de vulnerabilidad ante fenómenos naturales, especialmente inundaciones, debido a la escasa capacidad de drenaje en áreas con urbanización densa y sin planificación.

En el extremo suroeste de la zona se localiza uno de los principales sitios de disposición final de residuos sólidos del país, el cual ha tenido un impacto territorial relevante y ha sido objeto de intervenciones recientes para su rehabilitación y control ambiental. Asimismo, el Cementerio General de la Ciudad de Guatemala, ubicado en el sector central, constituye un hito urbano e histórico que también define el paisaje característico de la zona.

## *Figura 9*

### *Barrio El Gallito*



Nota. La figura muestra una fotografía área del barrio “El Gallito” zona 3 de la Ciudad de Guatemala.

Fuente: (Curucucho, 2024)

#### f) Actividades económicas principales

La principal actividad económica en el área está asociada al manejo de residuos sólidos, especialmente en torno al sitio de disposición final de la zona 3, donde alrededor de dos mil familias dependen de actividades de reciclaje y recuperación de materiales. Esta dependencia económica genera una vulnerabilidad adicional, ya que las condiciones laborales son informales y la exposición a riesgos ambientales es constante (MARN, 2023).

**Figura 10**

**Actividades económicas**



Nota. La figura muestra una lista de actividades económicas básicas que un poblado puede tener.  
Fuente: (FEMP, 2017)

**4. Principales problemáticas y retos identificados**

La microcuenca del río La Barranca enfrenta una serie de problemáticas ambientales, sociales y de gestión urbana que interactúan entre sí, generando un escenario de vulnerabilidad frente a inundaciones, deslizamientos y contaminación ambiental. Estas problemáticas se originan tanto por las condiciones naturales del territorio como por las presiones antrópicas derivadas de la urbanización acelerada y el manejo de los residuos sólidos. Aunque la gestión de estos residuos no ha sido históricamente la más adecuada, en los últimos años se han incorporado mejoras en los procedimientos operativos e incluso se han rehabilitado algunas zonas del sitio de disposición final para darles un uso útil y reducir su impacto ambiental (MARN, 2023).

Una de las principales dificultades identificadas, continúa siendo la contaminación derivada del sitio de disposición final de la zona 3, localizado dentro de la propia microcuenca. La acumulación de residuos en un área de barranco propicia la infiltración de lixiviados hacia el subsuelo y su descarga directa al cauce del río La Barranca, especialmente durante la temporada lluviosa. Este proceso deteriora la calidad

del agua y contribuye a la obstrucción de cauces, la erosión de márgenes y la inestabilidad de los taludes, generando un impacto ambiental y sanitario significativo.

En cuanto al sistema de drenaje pluvial, este cumple una función esencial para la evacuación de las aguas provenientes de la cuenca urbana. Sin embargo, durante la temporada de lluvias, la alta carga pluvial y la presencia de residuos sólidos reducen su eficiencia hidráulica, lo que incrementa la posibilidad de desbordamientos localizados en puntos críticos. La descarga del colector RMR (Reformita–Mariscal–Roosevelt) hacia el río La Barranca constituye un sector de especial atención, ya que las descargas puntuales y el deterioro de algunos tramos requieren mantenimiento preventivo y obras de reforzamiento. Según la CONRED (2025a), los incidentes registrados durante la época lluviosa en la Ciudad de Guatemala están estrechamente relacionados con la acumulación de residuos en drenajes y la falta de limpieza periódica.

La erosión de laderas y la inestabilidad de los taludes también representan un problema relevante dentro de la microcuenca, debido a las pendientes pronunciadas y a la pérdida progresiva de cobertura vegetal. Durante los eventos de lluvia intensa, la saturación del suelo favorece la escorrentía superficial y el desplazamiento de materiales. No obstante, en algunos sectores se han implementado medidas de mitigación mediante la conformación y estabilización de taludes, con el objetivo de reducir el riesgo de deslizamientos y controlar la erosión. A pesar de estos esfuerzos, persisten puntos críticos donde las intervenciones resultan insuficientes o requieren mantenimiento constante.

A estas condiciones se suma el déficit institucional en materia de gestión ambiental y planificación territorial. La falta de coordinación entre las instituciones responsables, la limitada fiscalización ambiental y la escasez de recursos técnicos impiden aplicar medidas de mitigación sostenibles. Aunque en los últimos años se han impulsado políticas nacionales de adaptación al cambio climático, la gestión integral de cuencas urbanas aún no se ha consolidado en Guatemala, lo que mantiene un enfoque predominantemente reactivo frente a las emergencias (MARN, 2023).

Finalmente, la vulnerabilidad social de las comunidades asentadas en la microcuenca representa uno de los mayores retos. Muchas familias viven en condiciones precarias, con escaso acceso a infraestructura básica y una fuerte dependencia económica del vertedero. Estas poblaciones están expuestas a riesgos múltiples, incluyendo inundaciones, contaminación y deslizamientos, sin contar con mecanismos de

protección efectivos. La CONRED (2025a) ha señalado que los hogares más pobres son los más afectados por los desastres asociados a lluvias extremas, lo cual evidencia la necesidad de integrar un enfoque social, participativo y de justicia ambiental en las estrategias de reducción del riesgo.

En conjunto, estas problemáticas reflejan la urgencia de implementar un modelo de gestión territorial integral que articule la restauración ambiental de los barrancos con la planificación urbana, la mejora de los sistemas de drenaje y el fortalecimiento institucional. Solo mediante una intervención coordinada entre actores públicos, comunitarios y técnicos será posible reducir la vulnerabilidad de la microcuenca y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

### ***Figura 11***

#### ***Erosión en laderas***



Nota. La figura muestra la erosión en una ladera por diferentes factores. Fuente: (Dreamsite, s.f.)

## **5. Marco conceptual**

### **1. Concepto de microcuenca y su importancia en la gestión del agua**

Una microcuenca se define como la unidad territorial más pequeña dentro del sistema de cuencas hidrográficas, delimitada por divisorias topográficas que determinan el flujo del agua hacia un punto

común de salida (FAO, 2015). Este enfoque de análisis permite estudiar de manera integral las interacciones entre el relieve, el suelo, la vegetación, la precipitación y las actividades humanas, lo que la convierte en una unidad básica para la gestión ambiental y la planificación territorial (CEPAL, 2020).

En contextos urbanos, las microcuencas adquieren una relevancia particular por su función en la regulación hídrica y el control de inundaciones. Actúan como sistemas naturales de captación, almacenamiento temporal y conducción del agua pluvial hacia cauces principales. En condiciones naturales, las microcuencas retienen parte del agua de lluvia a través de la vegetación y el suelo, favoreciendo la infiltración y reduciendo el volumen de escorrentía superficial. Sin embargo, la urbanización descontrolada, la impermeabilización del suelo y la canalización de los ríos alteran este equilibrio, provocando aumentos en la velocidad y cantidad del flujo pluvial (MARN, 2023).

La regulación hídrica dentro de una microcuenca puede entenderse como el conjunto de procesos naturales y antrópicos que controlan la distribución del agua en el tiempo y el espacio. Según la CEPAL (2020), estos procesos incluyen la interceptación de lluvias por la cobertura vegetal, la infiltración en el subsuelo, la retención temporal en depresiones naturales y el transporte a través de los cauces. Cuando estos mecanismos se degradan por la pérdida de vegetación, el relleno de barrancos o la ocupación de zonas de escurrimiento, se genera un incremento directo en el riesgo de inundaciones.

Las inundaciones urbanas son un fenómeno resultado tanto de las condiciones naturales del terreno como del manejo inadecuado del espacio urbano. De acuerdo con la UNDRR (2022), el riesgo de inundación se compone de tres factores principales: la amenaza (intensidad y frecuencia de la lluvia), la exposición (infraestructura, población o ecosistemas localizados en zonas susceptibles) y la vulnerabilidad (condiciones que aumentan la posibilidad de daño). En microcuencas densamente urbanizadas, la combinación de alta exposición y vulnerabilidad genera escenarios de riesgo recurrente, donde incluso lluvias de intensidad moderada pueden causar desbordamientos o anegamientos.

En la Ciudad de Guatemala, la microcuenca del río La Barranca constituye un ejemplo representativo de este tipo de problemáticas. El relieve abrupto, la reducción de áreas permeables y la descarga de colectores pluviales urbanos han modificado el régimen hídrico natural, concentrando grandes volúmenes de escorrentía en un tiempo corto. Según el MARN (2024), esta microcuenca presenta sectores críticos donde los flujos de agua exceden la capacidad de los cauces, provocando erosión de

márgenes e inundaciones localizadas durante la temporada lluviosa. El vertido de residuos sólidos y la falta de mantenimiento en los drenajes agravan la situación, al obstruir los cauces y reducir la capacidad hidráulica del sistema.

Desde una perspectiva de gestión del riesgo, la microcuenca es la escala idónea para aplicar medidas integradas de prevención y mitigación. Según la FAO (2015), la planificación a nivel de microcuenca permite identificar de manera precisa las zonas de mayor amenaza, establecer sistemas de drenaje sostenibles y priorizar intervenciones basadas en el comportamiento hidrológico del terreno. En este sentido, la gestión del riesgo de inundaciones no se limita a obras hidráulicas de contención, sino que debe incluir acciones de restauración ecológica, reforestación de zonas riparias, conservación del suelo y control del uso del suelo en zonas de alto riesgo.

Experiencias en América Latina refuerzan la importancia de este enfoque. En Medellín (Colombia), el programa “Cuencas Verdes” implementó un sistema de manejo integral de microcuencas urbanas que redujo en un 40 % los eventos de inundación en sectores vulnerables mediante reforestación y control de escorrentías (Alcaldía de Medellín, 2020). En San José (Costa Rica), el proyecto “Corredor Biológico María Aguilar” incorporó medidas de restauración ecológica en microcuencas urbanas, lo que permitió mejorar la capacidad de retención hídrica y reducir anegamientos durante lluvias intensas (Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2021). En Quito (Ecuador), la aplicación de planes de manejo en microcuencas altoandinas ayudó a controlar el caudal pico en áreas urbanizadas, disminuyendo el riesgo de desbordamientos (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2021).

En Guatemala, la gestión por microcuencas ha sido promovida por el MARN como una estrategia de ordenamiento ambiental y prevención de desastres. El Mapa de Riesgos (MARN, 2024) identifica la microcuenca del río La Barranca como un área prioritaria por su alta exposición a inundaciones, derivada de su función como receptor principal de colectores pluviales de zonas altas de la ciudad. Por tanto, su manejo debe orientarse hacia la recuperación de su capacidad natural de regulación hídrica, el mantenimiento periódico de drenajes y la integración de prácticas sostenibles de manejo de residuos.

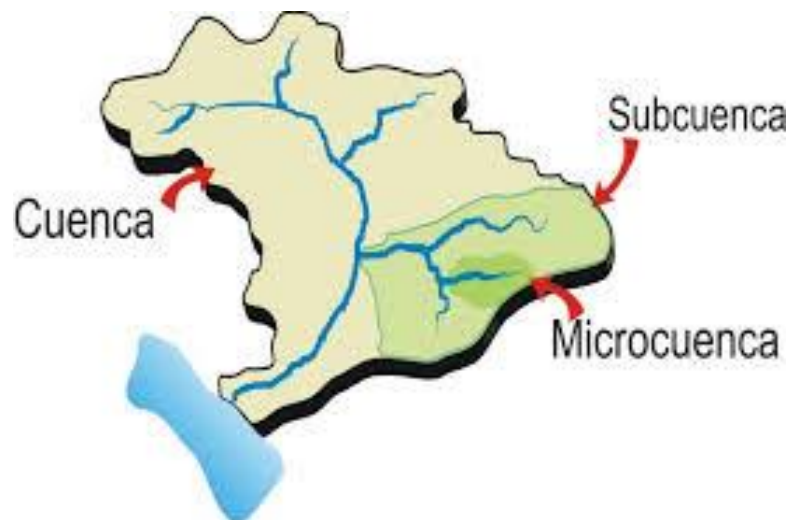
La gestión integral de microcuencas urbanas debe contemplar la interacción entre la infraestructura y el entorno natural. La OPS (2018) advierte que las inundaciones urbanas se agravan no solo por la intensidad de las lluvias, sino también por la obstrucción de canales con desechos sólidos. En ese sentido,

la gestión de residuos y la educación ambiental son herramientas complementarias al manejo hidráulico, ya que reducen la exposición y fortalecen la resiliencia de las comunidades.

Las microcuencas urbanas cumplen una función esencial en la regulación hídrica y el control del riesgo de inundaciones. Su gestión adecuada permite reducir los caudales pico, mejorar la capacidad de infiltración, proteger la infraestructura y garantizar la seguridad hídrica de las ciudades. En el caso del río La Barranca, la restauración ambiental, el control de descargas pluviales y el fortalecimiento institucional son pilares fundamentales para mitigar los efectos de las lluvias intensas y avanzar hacia un modelo de manejo sostenible del riesgo en la Ciudad de Guatemala.

**Figura 12**

**Concepto de cuenca, subcuenca y microcuenca**



Nota. La figura muestra clasificación de una cuenca, subcuenca y microcuenca. Fuente: (Ordoñez, 2011)

**2. Riesgo de inundaciones en el contexto urbano**

El riesgo de inundaciones en entornos urbanos constituye una de las amenazas naturales más recurrentes y de mayor impacto sobre las poblaciones, infraestructuras y ecosistemas. De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022), el riesgo se define como la combinación de tres componentes esenciales: la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. En

el caso de las inundaciones, la amenaza está determinada por la intensidad y frecuencia de las lluvias, la topografía y la capacidad de drenaje del terreno; la exposición corresponde a la presencia de personas, bienes y sistemas en las áreas propensas; y la vulnerabilidad refleja la susceptibilidad de dichos elementos a sufrir daños por su fragilidad física o su condición socioeconómica.

Las inundaciones urbanas ocurren cuando el volumen de escorrentía superficial excede la capacidad de absorción del suelo o de los sistemas de drenaje, lo que genera acumulación o desbordamiento del agua (MARN, 2023). En las ciudades latinoamericanas, donde el crecimiento urbano ha sido en gran medida desordenado, este fenómeno se agrava por la impermeabilización del suelo, la deforestación de áreas riparias y la ocupación de zonas inundables (Banco Mundial, 2020). Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020), entre los años 2015 y 2020, las inundaciones representaron más del 60 % de los eventos hidrometeorológicos que afectaron asentamientos urbanos de la región, con pérdidas humanas y económicas significativas.

### **3. Factores naturales y antrópicos del riesgo de inundaciones**

El riesgo de inundaciones en zonas urbanas responde a la interacción de factores naturales y antrópicos. Entre los factores naturales se destacan la intensidad y duración de las precipitaciones, la pendiente del terreno, la capacidad de infiltración de los suelos y la configuración del drenaje natural. Estos factores determinan el potencial de generación de caudales y su velocidad de concentración (UNDRR, 2022).

Por otro lado, los factores antrópicos tienen una influencia determinante. El aumento de las superficies impermeables —debido a pavimentos, construcciones y rellenos— impide la infiltración y aumenta el volumen de escorrentía. Asimismo, la alteración o canalización de cauces naturales, la deficiente gestión de residuos sólidos y la falta de mantenimiento de los sistemas de drenaje provocan obstrucciones que reducen la capacidad hidráulica. La OPS (2018) advierte que los residuos sólidos son una de las principales causas de taponamientos en redes pluviales urbanas, generando inundaciones incluso bajo lluvias moderadas.

En Guatemala, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED, 2025a) ha documentado que, durante las temporadas lluviosas, las inundaciones se presentan con frecuencia en zonas bajas de la ciudad capital y municipios periféricos debido al colapso de drenajes, la acumulación

de basura y la saturación de suelos. Estos incidentes no solo interrumpen la movilidad y dañan la infraestructura, sino que también generan impactos en la salud pública por la proliferación de vectores y la contaminación del agua.

#### **4. Evaluación del riesgo y su gestión en contextos urbanos**

El análisis del riesgo de inundaciones requiere una evaluación integral que combine información hidrometeorológica, topográfica, ambiental y social. Según el IPCC (2021), la vulnerabilidad de las áreas urbanas no depende exclusivamente del volumen de precipitación, sino de la capacidad institucional y comunitaria para anticiparse, resistir y recuperarse de los impactos. Por ello, el enfoque moderno de gestión de riesgo de desastres promueve la incorporación de la planificación territorial, la educación ambiental y la infraestructura verde como medidas complementarias a las obras hidráulicas.

En este marco, las microcuencas urbanas son unidades ideales para el análisis del riesgo de inundaciones, ya que permiten integrar los factores naturales y antrópicos en una escala manejable. De acuerdo con la FAO (2015), el manejo de microcuencas posibilita diseñar acciones específicas para la retención de agua, la restauración de áreas de infiltración y el control de caudales en función de su comportamiento hidrológico. En la Ciudad de Guatemala, la microcuenca del río La Barranca es un caso representativo: su configuración topográfica, combinada con la descarga de colectores pluviales y la acumulación de residuos, la convierte en un punto de alta vulnerabilidad frente a eventos de lluvia intensa (MARN, 2024).

#### **5. Ejemplos regionales de gestión del riesgo de inundaciones**

Las experiencias en América Latina muestran que la gestión integral de riesgos a nivel de microcuenca puede reducir significativamente los impactos de las inundaciones urbanas. En Medellín (Colombia), el programa “Cuencas Verdes” combinó obras hidráulicas menores con restauración ecológica, logrando disminuir la frecuencia de inundaciones en un 40 % en las zonas intervenidas (Alcaldía de Medellín, 2020). En San José (Costa Rica), la implementación de infraestructura verde —como parques inundables y corredores biológicos urbanos— permitió reducir los daños por desbordamientos y mejorar la retención de aguas pluviales (Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2021). De manera similar, en Quito (Ecuador), los planes de manejo de microcuencas urbanas han favorecido la conservación de áreas de

amortiguamiento hídrico, evitando el colapso de los sistemas de drenaje durante lluvias extremas (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2021).

En Guatemala, aunque se han implementado esfuerzos de limpieza de drenajes y construcción de colectores, persiste el reto de integrar estas acciones dentro de una gestión ambiental más amplia. La microcuenca del río La Barranca, por su localización estratégica, cumple una función de drenaje natural de varias zonas de la ciudad, pero también recibe descargas pluviales y residuos sólidos que reducen su capacidad hidráulica. De acuerdo con el MARN (2024), esta situación convierte a la microcuenca en un punto crítico donde la combinación de amenaza natural y presión antrópica requiere intervenciones integradas de restauración y mantenimiento continuo.

## **6. Importancia de la planificación y la gobernanza del riesgo**

El control de las inundaciones no debe centrarse únicamente en la infraestructura, sino también en la planificación y la gobernanza territorial. La CEPAL (2020) señala que la falta de regulación del uso del suelo en áreas inundables es uno de los principales factores que perpetúan la vulnerabilidad urbana. Por ello, la gestión del riesgo de inundaciones debe involucrar la actualización de los planes de ordenamiento territorial, la zonificación de riesgos y la participación de las comunidades en la vigilancia y mantenimiento de los sistemas pluviales.

En la microcuenca del río La Barranca, el fortalecimiento de la gobernanza local —a través de la coordinación entre el MARN, la Municipalidad de Guatemala y la CONRED— es esencial para establecer un sistema de gestión permanente que combine obras hidráulicas con acciones de educación ambiental, manejo de residuos y recuperación ecológica de taludes. Este enfoque integral permitirá reducir la exposición de las poblaciones, mejorar la capacidad de respuesta ante lluvias intensas y avanzar hacia una ciudad más resiliente y sostenible.

El riesgo de inundaciones en el contexto urbano es un fenómeno complejo que resulta de la interacción entre los procesos naturales y las transformaciones humanas del territorio. La gestión a nivel de microcuenca, aplicada a casos como el del río La Barranca, representa una herramienta efectiva para diagnosticar, prevenir y mitigar los impactos de las lluvias extremas mediante la integración de criterios hidrológicos, ambientales y sociales en la planificación urbana.

**Figura 13**

***Inundación urbana***



Nota. La figura muestra clasificación de una cuenca, subcuenca y microcuenca. Fuente: (Infobae, 2023)

**Figura 14**

***Proyecto Cuenca Verde, Medellín, Colombia***



Nota. La figura muestra los resultados del proyecto Cuenca Verde, Medellín Colombia. Fuente: (El Colombiano, 2023)

## 7. Relación entre riesgo a inundaciones y los desechos sólidos

En los entornos urbanos, el manejo inadecuado de los desechos sólidos se ha consolidado como uno de los factores más significativos en la generación y agravamiento de inundaciones. De acuerdo con la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED, 2023), una de las causas más frecuentes de inundaciones en Guatemala es la acumulación de basura en calles, ríos y drenajes pluviales, lo que impide el flujo natural del agua y provoca desbordamientos durante las lluvias intensas. Esta situación se ve agravada por el crecimiento urbano desordenado y la insuficiencia de infraestructura pluvial para manejar los caudales generados.

La gestión integral de residuos sólidos —que incluye la recolección, transporte, tratamiento y disposición final— tiene un papel determinante en la reducción del riesgo hídrico. Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2023), el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 164-2021 busca precisamente reducir la cantidad de desechos que llegan a las fuentes hídricas, mediante la regulación del manejo de residuos a nivel municipal y comunitario. Este instrumento establece directrices para evitar la disposición inadecuada de basura en drenajes o cauces, con el objetivo de proteger los cuerpos de agua y reducir los impactos de las lluvias.

### a) Funciones y riesgos asociados a los sitios de disposición final en zonas urbanas

Los sitios de disposición final o rellenos sanitarios desempeñan la función de concentrar y aislar los residuos sólidos generados por la población urbana bajo condiciones controladas. Según la FAO (2015), los rellenos bien diseñados reducen los riesgos de contaminación del suelo y del agua, al evitar la dispersión de residuos hacia el entorno. No obstante, cuando estos sitios carecen de control técnico o son utilizados de manera irregular —como sucede en vertederos clandestinos— se transforman en focos de riesgo ambiental.

El MARN (2024) advierte que los rellenos y basureros informales en Guatemala, especialmente los ubicados cerca de cauces naturales o en áreas de pendiente, alteran la dinámica de drenaje e incrementan la vulnerabilidad frente a inundaciones. En 2024, el Ministerio reportó la eliminación de 201 basureros ilegales en distintos municipios, señalando que estos generaban lixiviados y acumulaciones de residuos que afectaban directamente los cuerpos de agua y drenajes naturales (Diario de Centro América, 2024).

Este tipo de acumulaciones reduce la capacidad de retención del terreno y obstaculiza los flujos superficiales durante tormentas.

b) Procesos de lixiviados y su interacción con aguas superficiales y subterráneas

Los lixiviados son líquidos altamente contaminantes formados por la descomposición de los residuos sólidos y por la infiltración de agua de lluvia en los vertederos. Estos líquidos contienen compuestos orgánicos, metales pesados y microorganismos que pueden alterar la calidad del agua superficial y subterránea (OPS, 2018). Cuando los rellenos sanitarios no cuentan con sistemas adecuados de impermeabilización y drenaje, los lixiviados se filtran o escurren hacia ríos y quebradas, contaminando los cauces y reduciendo su capacidad hidráulica.

El MARN (2023) enfatiza que los vertidos líquidos provenientes de residuos mal manejados constituyen una de las principales fuentes de contaminación de las fuentes hídricas urbanas. Por esta razón, el Acuerdo Gubernativo 164-2021 establece la obligación de implementar sistemas de control de lixiviados y de monitoreo de calidad del agua en los sitios de disposición final. En contextos urbanos densos, donde los ríos funcionan también como colectores pluviales, la infiltración o arrastre de lixiviados puede potenciar los efectos de las inundaciones al saturar los suelos y alterar la calidad del agua escurrida.

c) Potencial de los rellenos sanitarios como factor amplificador de riesgos de inundación

Los rellenos sanitarios y vertederos pueden convertirse en factores amplificadores del riesgo de inundación cuando se ubican en zonas bajas, depresiones naturales o cauces antiguos. Estas áreas, que originalmente cumplían una función de almacenamiento temporal de agua, pierden su capacidad de regulación hídrica al ser ocupadas por residuos (CEPAL, 2020).

De acuerdo con el Banco Mundial (2020), la acumulación de desechos sólidos modifica la morfología del terreno, impidiendo la infiltración y favoreciendo la escorrentía superficial. En eventos de lluvia intensa, los rellenos pueden generar represamientos temporales o desbordamientos contaminados si los sistemas de drenaje interno no son adecuados. Además, los taludes sin estabilizar y los canales colmatados con residuos actúan como barreras artificiales que redirigen el flujo pluvial hacia sectores poblados (CONRED, 2023).

El MARN (2024) señala que la gestión de residuos sólidos debe estar integrada en los planes municipales de ordenamiento territorial, considerando los riesgos asociados a la ubicación de los sitios de disposición final. La omisión de estos criterios ha derivado en conflictos entre el manejo de desechos y la gestión hídrica urbana, incrementando la vulnerabilidad ante lluvias torrenciales.

d) Experiencias en otras ciudades donde la infraestructura de desechos ha incidido en procesos de inundación

Diversas experiencias latinoamericanas han demostrado la relación entre los residuos sólidos y los procesos de inundación urbana. En San Salvador (El Salvador), el Ministerio de Medio Ambiente reportó que la disposición de basura en quebradas y canales pluviales fue una de las principales causas de los desbordamientos ocurridos durante la tormenta Amanda en 2020. En Medellín (Colombia), antes de la implementación del programa Cuencas Verdes, la acumulación de residuos en los márgenes del río Medellín provocaba obstrucciones frecuentes, las cuales se redujeron significativamente tras la ejecución de limpiezas y revegetación (Alcaldía de Medellín, 2020).

En Guatemala, la CONRED (2023) destaca que el mal manejo de la basura urbana —especialmente su disposición en calles y drenajes— ha sido identificado como causa directa de inundaciones en áreas metropolitanas. La institución impulsa campañas de concientización que buscan reducir la cantidad de residuos que llegan a los sistemas de alcantarillado y promover la participación comunitaria en la limpieza preventiva.

Asimismo, el MARN (2023) ha promovido proyectos en municipios como Quetzaltenango para fortalecer la gestión integral de residuos sólidos y proteger los recursos hídricos. Estas acciones incluyen la recolección diferenciada, el traslado seguro, la clausura de vertederos a cielo abierto y la instalación de infraestructura adecuada para la disposición final (Guatemala.gob.gt, 2023). Según el Ministerio, estas prácticas contribuyen no solo a reducir la contaminación, sino también a prevenir bloqueos de drenajes y a mejorar la capacidad natural de los sistemas urbanos de evacuación pluvial.

## *Figura 15*

### *Inundaciones y desechos sólidos*



Nota. La figura muestra una imagen de agua estancada en un depósito de basura el cual podría desembocar a una inundación. Fuente: (Navarro, 2021)

## **8. Herramientas conceptuales para el análisis de riesgos**

El análisis del riesgo de inundaciones en entornos urbanos requiere una integración de herramientas conceptuales, técnicas y metodológicas que permitan comprender la interacción entre las condiciones físicas del territorio, la exposición de la población y la efectividad de las infraestructuras de drenaje. En este contexto, los modelos multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como instrumentos esenciales para evaluar la vulnerabilidad y apoyar la toma de decisiones orientadas a la gestión ambiental y territorial.

El MARN (2024) y la CONRED (2023) han destacado que los estudios de riesgo deben incorporar metodologías cuantitativas que integren variables naturales y antrópicas, priorizando la identificación de zonas críticas a partir de datos espaciales. En Guatemala, el uso de herramientas SIG y la evaluación multicriterio se han extendido en los últimos años en investigaciones sobre microcuencas urbanas, donde las inundaciones representan una amenaza recurrente (MARN, 2023b).

#### a) Modelos de análisis multicriterio y SIG para riesgo de inundaciones

El análisis multicriterio (AMC) constituye una metodología que permite integrar diversos factores de riesgo —físicos, ambientales y socioeconómicos— mediante la asignación de pesos relativos, con el fin de obtener un índice o mapa de riesgo. Esta técnica resulta particularmente útil en contextos donde la información es heterogénea o incompleta, como suele ocurrir en municipios con recursos limitados (Paliaga et al., 2019).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan la representación espacial de estas variables y su análisis combinado. Según Zhou et al. (2021), los modelos hidrológicos basados en SIG permiten realizar evaluaciones rápidas de peligro por inundaciones mediante el uso de índices topográficos, pendientes, impermeabilización del suelo y capacidad de drenaje. Estas herramientas integran datos geospaciales de precipitación, elevación y cobertura de suelo, generando mapas predictivos de áreas con mayor susceptibilidad a inundarse.

Un ejemplo clásico del uso combinado de AMC y SIG fue desarrollado por Kubál et al. (2009) en Leipzig (Alemania), donde se aplicó un enfoque multicriterio para valorar la vulnerabilidad a inundaciones considerando factores ecológicos, sociales y económicos. El estudio demostró que la incorporación de criterios sociales —como la densidad poblacional o el acceso a servicios— mejora significativamente la precisión de los mapas de riesgo urbano. Este tipo de enfoque es aplicable a microcuencas guatemaltecas, donde la presión demográfica y el crecimiento desordenado incrementan la exposición de la población.

En Guatemala, la metodología de análisis multicriterio propuesta en el documento técnico base (MARN, 2024) —del cual deriva esta investigación— integra criterios de pendiente, cobertura del suelo, distancia a cauces, intensidad de lluvia y uso del suelo, ponderados mediante el método AHP (Analytic Hierarchy Process). El resultado es una zonificación del riesgo de inundación a escala de microcuenca, que combina datos físicos y ambientales obtenidos mediante herramientas SIG.

Este tipo de análisis ha demostrado ser eficaz para la planificación territorial, ya que permite priorizar las áreas que requieren intervenciones estructurales (mejoras de drenaje, reforestación, control de erosión) o no estructurales (educación ambiental, gestión de residuos sólidos). La CEPAL (2020) recomienda que los gobiernos locales adopten enfoques integrales basados en información geoespacial

para la prevención de desastres, destacando su utilidad para reducir pérdidas económicas y sociales asociadas a eventos hidrometeorológicos.

b) Índices de riesgo y vulnerabilidad aplicados a microcuencas urbanas

Los índices de riesgo y vulnerabilidad son herramientas cuantitativas que permiten evaluar de manera sintética el grado de exposición de una zona frente a amenazas naturales. Estos índices integran tres dimensiones principales: amenaza, vulnerabilidad y exposición, bajo la relación conceptual establecida por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2015).

En el contexto urbano, los índices de vulnerabilidad se componen de factores físicos (pendiente, tipo de suelo, cobertura), sociales (densidad poblacional, nivel de ingresos, acceso a infraestructura) y ambientales (calidad del drenaje, deforestación, contaminación). Salazar-Briones et al. (2020) propusieron un Índice Integrado de Vulnerabilidad a Inundaciones (IIVI) para ciudades de países en desarrollo, donde las limitaciones de datos se compensan mediante la ponderación de variables obtenidas por sensores remotos y encuestas socioeconómicas.

La FAO (2015) destaca que los índices de vulnerabilidad son especialmente útiles para microcuencas, ya que permiten priorizar intervenciones de mitigación a nivel local. En Guatemala, el MARN (2023) utiliza indicadores similares en sus estudios de vulnerabilidad ambiental, donde combina información de precipitación, pendiente, cobertura forestal y nivel de urbanización para identificar áreas críticas.

Estos índices pueden complementarse con datos provenientes de los SIG, permitiendo la representación espacial de los niveles de vulnerabilidad. De esta manera, los mapas de riesgo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones territoriales, orientadas a la prevención de desastres y la protección de infraestructuras críticas. Según Paliaga et al. (2019), los análisis multicriterio basados en índices de vulnerabilidad ofrecen una base objetiva para la planificación urbana, al permitir la jerarquización de zonas según su nivel de exposición al riesgo.

En la microcuenca del río La Barranca, el empleo de un índice de riesgo permitiría identificar sectores donde la vulnerabilidad estructural o social incrementa la probabilidad de impacto por inundaciones, lo que orienta estrategias de mitigación local. Aunque esta tesis no se enfoca directamente en la

implementación práctica, su marco conceptual proporciona los fundamentos para futuras aplicaciones a nivel municipal.

c) Relación entre hidrología urbana, drenajes pluviales y gestión de residuos sólidos

La hidrología urbana estudia cómo las superficies impermeables (calles, techos, pavimentos) alteran el ciclo natural del agua al reducir la infiltración y aumentar la escorrentía superficial. Esta transformación incrementa la velocidad y el volumen del flujo pluvial, lo que, combinado con un sistema de drenaje insuficiente o bloqueado por residuos, puede desencadenar inundaciones repentinas (World Bank, 2020).

En entornos urbanos latinoamericanos, la acumulación de residuos sólidos en drenajes y cauces ha sido identificada como un factor agravante de los procesos de inundación (CONRED, 2023). Según el MARN (2023b), la falta de mantenimiento en los sistemas pluviales y la disposición inadecuada de basura en áreas críticas son causas recurrentes de anegamientos en ciudades guatemaltecas. La integración del manejo de residuos en los estudios de riesgo hidrológico permite abordar de forma más integral la relación entre infraestructura urbana y procesos naturales.

La CEPAL (2020) y el Banco Mundial (2020) enfatizan que la gestión del riesgo urbano debe incorporar componentes de planificación hidrológica y manejo de residuos, para evitar que los desechos sólidos se conviertan en obstrucciones físicas del drenaje. En este sentido, la hidrología urbana y la gestión ambiental convergen en la necesidad de fortalecer la infraestructura de drenaje, establecer zonas de amortiguamiento natural y promover la educación ambiental sobre disposición adecuada de residuos.

El MARN (2024) recomienda integrar los estudios de riesgo por inundación en los planes municipales de ordenamiento territorial, utilizando herramientas SIG para identificar puntos críticos de acumulación de agua y basura. De este modo, se promueve una gestión integral del riesgo hídrico, donde el componente social (generación de residuos), el físico (drenaje y topografía) y el ambiental (precipitación y cobertura vegetal) se analizan de forma conjunta.

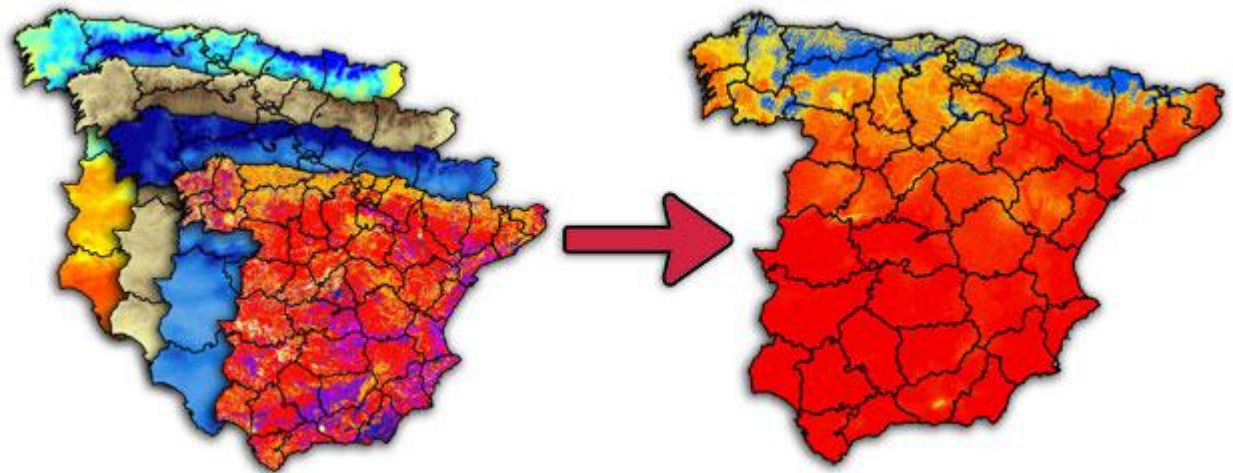
En resumen:

1. Datos de entrada: precipitaciones, pendiente, uso del suelo, drenajes, población.
2. Procesamiento: análisis multicriterio (ponderación AHP) + SIG (superposición espacial).

3. Resultados: mapa de riesgo → clasificación de zonas (bajo, medio, alto) → medidas de mitigación (drenaje, reforestación, control de residuos).

**Figura 16**

**Análisis multicriterio con herramientas SIG**



Nota. La figura muestra el resultado de un análisis multicriterio convergiendo varias capas georreferenciadas que indican distintos parámetros. Fuente: (GIS and Beers, s.f.)

### **9. Comparación relleno sanitario y sitio de deposición final (vertedero o basurero)**

#### a) Definición

Un sitio de deposición final es una obra construida para el relleno sanitario de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Es un espacio donde se depositan los desechos generados por hogares, empresas, espacios públicos, entre otros y utilizan técnicas específicas para realizar un depósito controlado para evitar que se convierta en un peligro para la salud pública (Vise, s. f.).

#### b) Funcionamiento general

Los residuos se depositan en el área delimitada para el uso del relleno en forma de capas, luego estos son cubiertos y compactados con materiales como tierra y geomembranas para controlar los olores, proliferación de enfermedades y evitar la contaminación ya sea de suelo, aire o agua. Su objetivo principal es evitar los problemas ambientales que generan los tiraderos a cielo abierto, tales como la

contaminación del suelo y agua, la emisión de malos olores y la dispersión de basura por el viento (Vise, s. f.).

**Figura 17**

**Funcionamiento relleno sanitario**



Nota. La figura muestra el ciclo de vida de un relleno sanitario hasta alcanzar a su etapa final.

Fuente: (Vise, s.f.)

c) Diferencias entre vertedero (basurero a cielo abierto) y relleno

Un relleno sanitario es una instalación diseñada y regulada con ingeniería especializada para la disposición final segura de residuos sólidos, que incluye sistemas de impermeabilización para evitar la contaminación del suelo y aguas subterráneas, así como mecanismos para la captura y tratamiento de lixiviados y gases generados por la descomposición de la basura. Además, se realiza la compactación y cobertura diaria de los residuos para minimizar olores, controlar la proliferación de fauna nociva y reducir los riesgos sanitarios, cumpliendo estrictas normativas ambientales. En contraste, un sitio de deposición (basurero o vertedero) es un área destinada a la deposición de residuos sin las medidas técnicas y de

control ambiental que caracterizan a un relleno sanitario; generalmente carece de impermeabilización, tratamiento de lixiviados y gases, lo que provoca contaminación del suelo, agua y aire, así como la proliferación de vectores y malos olores. Aunque algunos vertederos pueden presentar un nivel básico de organización, su operación representa un mayor riesgo para la salud pública y el medio ambiente debido a la ausencia de sistemas adecuados para mitigar los impactos negativos (Domínguez, 2020).

**Figura 18**

***Relleño sanitario vs. sitio de deposición final***



Nota. La figura muestra las diferencias visuales entre un relleno sanitario y un sitio de deposición final. (Domínguez, 2020)

d) Lixiviados

Líquidos que se forman cuando el agua, proveniente de la lluvia u otras fuentes, percola o atraviesa residuos sólidos acumulados como los que se encuentran en vertederos o rellenos sanitarios. Durante este proceso, el líquido extrae y arrastra sustancias disueltas o partículas suspendidas de los residuos, incluyendo materia orgánica en descomposición, químicos, metales pesados, sales y otros contaminantes. Estos líquidos suelen tener mal olor, ser de color oscuro y representan un riesgo considerable para el medio ambiente y la salud humana, ya que pueden contaminar el suelo, agua subterránea y superficial si no son tratados correctamente. Por eso, es fundamental que los rellenos sanitarios y vertederos dispongan de sistemas para su recolección y tratamiento adecuados (Tito, 2021).

*Figura 19*

*Imagen descriptiva lixiviados*



Nota. La figura muestra gráficamente como se ven los lixiviados por consecuencia de desechos orgánicos. Fuente: (Tito, 2021)

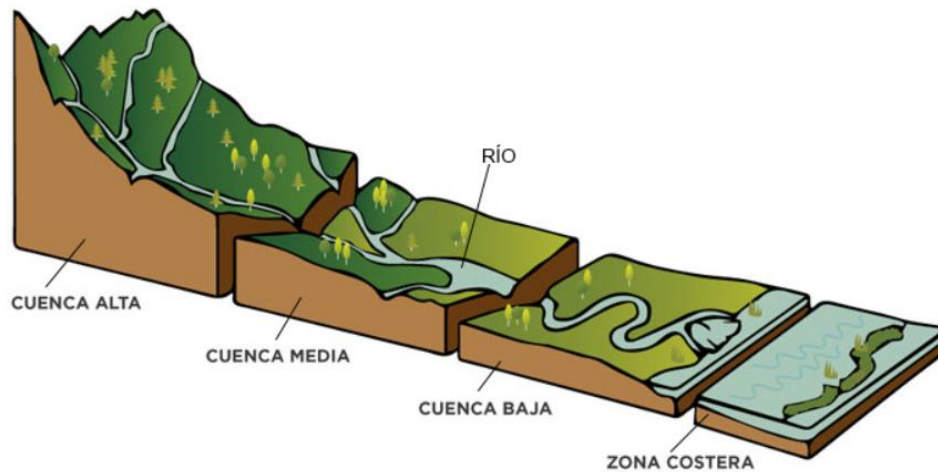
## **10. Cuenca hidrográfica**

### **a) Definición**

Una cuenca hidrográfica es un área geográfica delimitada por divisorias naturales, como montañas o cerros, donde toda el agua superficial de lluvia, ríos, arroyos y otros afluentes convergen y se drena hacia un punto común, que puede ser un río principal, un lago, un océano u otro cuerpo de agua. Esta área incluye no solo los cuerpos de agua visibles, sino también los suelos y ecosistemas que contribuyen al flujo y almacenamiento de agua. La cuenca hidrográfica funciona como una unidad integral en la que las actividades humanas y naturales están interconectadas por el ciclo del agua, siendo fundamental para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible de los recursos hídricos. Se divide generalmente en cuenca alta, media y baja, dependiendo de la topografía y características del terreno. La importancia de la cuenca radica en que todas las acciones que se realicen en alguna parte de ella pueden afectar al resto del sistema hidráulico y ambiental (Cuencas hidrográficas en el Arrecife Centroamericano, s. f.).

**Figura 20**

**Cuenca hidrográfica**



Nota. La figura muestra las partes de una cuenca hidrográfica. Fuente: (Cuenca hidrográficas en el Arrecife Centroamericano, s. f.)

**b) Cuenca hidrográfica Río las Vacas**

La cuenca hidrográfica del río Las Vacas, ubicada en el sudeste de Guatemala, nace en los cerros que forman la periferia sudeste de la Ciudad de Guatemala y fluye hacia el noreste hasta desembocar en el río Motagua, uno de los principales cuerpos de agua del país que desemboca en el mar Caribe. Esta cuenca está conformada por diversos afluentes, riachuelos y quebradas que nacen en barrancas y planicies del valle de la Ciudad de Guatemala. Se caracteriza por recibir aproximadamente el 60 % de las aguas residuales de la ciudad, muchas de ellas sin tratamiento adecuado, especialmente provenientes del basurero de la zona 3, uno de los puntos más contaminantes que alimentan el río, lo que ha generado una severa contaminación del agua, afectando la vida acuática y los ecosistemas asociados. Además, el río Las Vacas transporta alrededor de 20,000 toneladas de basura anualmente, incrementando los riesgos ambientales y sanitarios en la región. La altitud de nacimiento del río es aproximadamente 1800 metros sobre el nivel del mar, descendiendo hasta unos 400 metros en su desembocadura, lo que refleja la diversidad topográfica y ambiental presente en su cuenca. Dado su impacto ambiental y social, la cuenca del río Las Vacas representa un caso significativo para el estudio de la gestión de recursos hídricos y la contaminación en áreas urbanas y periurbanas (Ogaldes, 2024).

## *Figura 21*

### *Río Las Vacas*



Nota. La figura muestra el mal estado actual del río Las Vacas. Fuente: (Ogaldes, 2024)

## **11. Crecimiento urbano no planificado dentro de la Ciudad de Guatemala**

### a) Definición

Se define como crecimiento urbano planificado el proceso ordenado y regulado de expansión de las áreas urbanas, que considera el aumento poblacional, la demanda de viviendas e infraestructuras, y busca optimizar el uso del suelo y los recursos disponibles. Este tipo de crecimiento incorpora un conjunto de instrumentos técnicos y normativos conocidos como planificación urbana o planeamiento urbanístico, que establecen un modelo de ordenación territorial para garantizar un desarrollo sostenible, funcional y equilibrado. La planificación urbana busca integrar aspectos sociales, económicos y ambientales, asegurando la adecuada infraestructura, acceso a servicios básicos, preservación de espacios verdes, eficiencia en el transporte y mejor calidad de vida para sus habitantes (López et al., 2025).

En Guatemala esto representa un desafío significativo para el desarrollo sostenible de la región ya que este fenómeno se caracteriza por la expansión desordenada de asentamientos, muchas veces en zonas periurbanas. Dicho crecimiento se da sin un adecuado ordenamiento territorial ni planificación urbana. Esto genera problemas como la insuficiencia de servicios básicos, entre ellos la recolección de basura ya

que sube la demanda de estos y por consiguiente mayor basura depositada en el sitio de deposición final (López et al., 2025).

## **12. Urbanización acelerada**

### **a) Definición**

La urbanización acelerada es un fenómeno que ha transformado la estructura social, económica y ambiental de muchas ciudades, incluida la Ciudad de Guatemala. Este proceso se caracteriza por el rápido crecimiento de la población y la expansión de áreas urbanas sin una planificación adecuada (Sarmiento, 2024).

Esta problemática está bastante vinculada con las diferentes mencionadas anteriormente. Ya que es una cadena de acontecimientos que conllevan a la problemática final, es decir, las inundaciones urbanas. Una urbanización acelerada y descontrolada puede causar que no se prepare bien el terreno en crecimiento. ¿A qué se refiere esto? Esto se refiere a que debido a la inexistencia de un plan específico y bien diseñado para el crecimiento urbano, se tiene una provisión de servicios públicos de mala calidad, como lo es la recolección de basura (Sarmiento, 2024).

Esto claramente causa una saturación en los sistemas de recolección de basura en el área y cada vez se va saturando el espacio, provocando que la zona sea más propensa a las inundaciones (Sarmiento, 2024).

## **13. Asentamientos**

### **a) Definición**

Un asentamiento se define como un espacio geográfico delimitado donde un grupo de personas ha construido viviendas, generalmente de manera informal o precaria, sin contar muchas veces con la seguridad jurídica sobre la tenencia de la tierra ni con servicios básicos adecuados. Estos asentamientos suelen ubicarse en las periferias urbanas o en terrenos no aptos para la construcción, como barrancos o zonas de riesgo ambiental. Muchas veces, debido a la escasa educación ambiental, sus habitantes desconocen o no aplican prácticas adecuadas para el manejo y disposición de los desechos sólidos, lo que contribuye a la acumulación de basura en las calles, riberas de ríos y espacios públicos. La falta de conocimiento sobre la gestión adecuada de residuos sólidos agrava la contaminación ambiental y genera

problemas sanitarios que afectan no solo a la comunidad del asentamiento, sino también a zonas aledañas (La realidad de los asentamientos en Guatemala, 2020).

Estos asentamientos se forman principalmente por personas de bajos recursos, que migran desde áreas rurales hacia la ciudad en busca de mejores oportunidades, pero que enfrentan dificultades para acceder a una vivienda formal, lo que limita el acceso a servicios básicos y programas educativos sobre manejo ambiental. La carencia de educación ambiental genera una falta de conciencia sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar, provocando un manejo inadecuado de los residuos sólidos que incrementa el riesgo de contaminación de suelos, aguas y aire, y aumenta la vulnerabilidad a plagas y enfermedades. Este fenómeno representa un desafío social y ambiental importante, ya que perpetúa ciclos de exclusión y deterioro ambiental que afectan la calidad de vida y la salud pública en estas comunidades (La realidad de los asentamientos en Guatemala, 2020).

### ***Figura 22***

#### ***Asentamiento bajo puente Belice zona 17 Ciudad de Guatemala***



Nota. La figura muestra el ejemplo de un asentamiento ubicado en la zona 17 de la Ciudad de Guatemala.  
Fuente: (La realidad de los asentamientos en Guatemala, 2020)

## **14. Mala gestión de residuos sólidos en Guatemala**

La mala gestión de residuos sólidos en la Ciudad de Guatemala es un factor crítico que contribuye a las inundaciones urbanas. Este problema se manifiesta en diversas dimensiones, desde la disposición inadecuada de desechos hasta la falta de conciencia ambiental entre la población (Quiñónez, s. f.).

Este problema es causado por diferentes aspectos los cuales no han sido abordados ni atendidos por las autoridades. Por ejemplo, la carencia de un sistema eficiente para la recolección y tratamiento de residuos sólidos resulta en una acumulación de basura en espacios públicos y en el mismo sitio de deposición. Esto obstruye el flujo del agua durante las lluvias, aumentando el riesgo de inundaciones (Quiñónez, s. f.). Además de esto, muchos ciudadanos no están informados sobre la importancia de la correcta disposición de los residuos. La falta de educación ambiental contribuye a que se desechen residuos en lugares inapropiados, como calles y ríos, lo que agrava el problema (Quiñónez, s. f.).

Añadido a lo anterior la ineficacia en los servicios de recolección y reciclaje juega un papel importante, ya que la falta de un sistema regularizado para la gestión de residuos impide que se manejen adecuadamente, contribuyendo a su acumulación en áreas propensas a inundaciones (Quiñónez, s. f.).

### ***Figura 23***

#### ***Exceso de basura en sitio de disposición final***



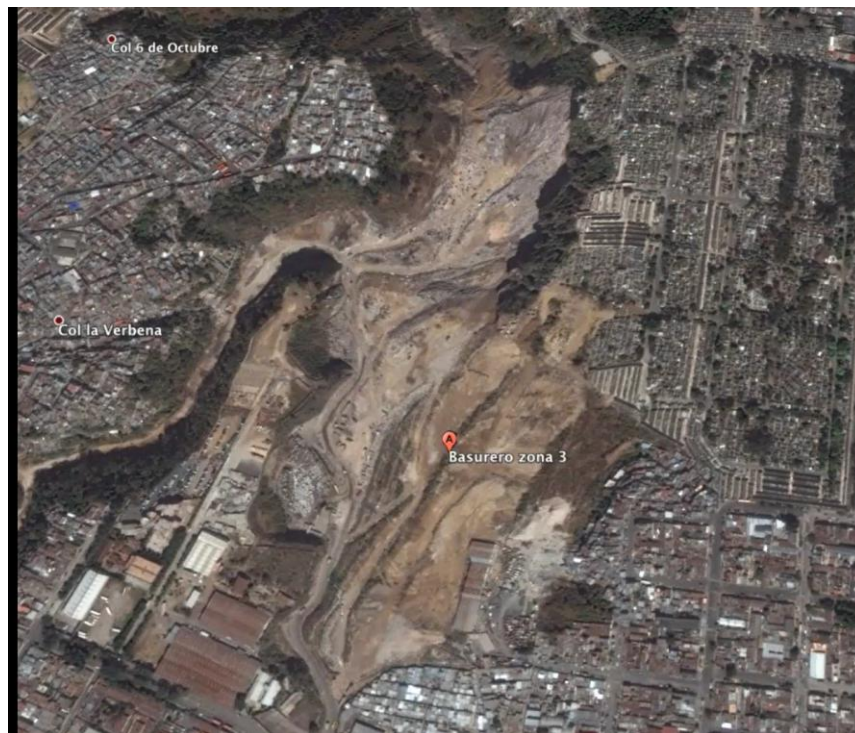
Nota. La figura muestra el exceso de basura que ha llegado al sitio de disposición final de la zona 3  
Fuente: (Quiñónez, s. f.)

a) Sitio de Disposición final zona 3

El sitio de deposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala es uno de los más grandes y antiguos del país, ubicado específicamente en la 9ª avenida y 30 calle final 10-96, en una zona de barranco dentro del valle de la quebrada La Barraca. Este sitio cubre aproximadamente 27.8 hectáreas y recibe diariamente alrededor de 3,200 toneladas de basura, provenientes de las 24 zonas de la ciudad y 14 municipios cercanos, utilizando para ello unos 509 camiones recolectores. A pesar de ser un punto clave para la disposición de residuos de la capital, el vertedero ha funcionado por más de 60 años, inicialmente como un espacio abierto sin los controles técnicos necesarios para un manejo ambiental adecuado (Funes, 2014).

**Figura 24**

**Imagen satelital sitio de disposición final zona 3**



Nota. La figura muestra una imagen satelital del sitio de disposición final de la zona 3 en el año 2016.  
Fuente. (Soy502, 2016)

Actualmente, el relleno enfrenta diversas problemáticas que afectan tanto su funcionamiento como a las comunidades circundantes. La ubicación en un barranco genera un alto riesgo de deslizamientos y derrumbes durante la temporada de lluvias. Además, la falta de sistemas efectivos para manejar los lixiviados, líquidos contaminantes que se generan por la descomposición de la basura, contribuye a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de la zona. La ausencia de estructuras como muros de contención y sistemas de drenaje adecuados también agrava la erosión y escorrentía de contaminantes hacia el valle.

El impacto ambiental del sitio de deposición final se extiende a los cuerpos de agua cercanos, en particular a la quebrada La Barraca y a los ríos que en esta desembocan, los cuales reciben residuos contaminantes que afectan la calidad del agua y la biodiversidad local. Además, la contaminación del aire generada por los gases que emite el vertedero y el polvo desprendido de los residuos representa un grave riesgo para la salud respiratoria e infecciosa no solo de los trabajadores, sino también de los habitantes de las comunidades cercanas. La precariedad en las condiciones de trabajo y vivienda de las familias que habitan el lugar añade una dimensión social crítica a esta problemática (Funes, 2014).

### ***Figura 25***

#### ***Cuerpo de agua en sitio de disposición final zona 3***



Nota. La figura muestra un cuerpo de agua ubicado en medio del sitio de disposición final de la zona 3  
Fuente: (Instituto Holandés para la Democracia Multipartidaria, 2024)

#### b) Nivel socioeconómico y edificaciones a la redonda

La situación socioeconómica alrededor del sitio de deposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala es crítica. Aproximadamente 2,000 familias dependen directamente de esta área para su subsistencia, trabajando en la recolección y clasificación informal de desechos. Estas familias viven en condiciones de pobreza y pobreza extrema, con ingresos promedio muy bajos que prácticamente solo cubren sus necesidades básicas. Muchos de los habitantes son mujeres, jóvenes e incluso niños que se ven obligados a laborar en el vertedero debido a la falta de oportunidades educativas y laborales en otras áreas. Dicha precariedad social contribuye a un marcado desconocimiento sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos, ya que la educación ambiental es limitada y las necesidades inmediatas de supervivencia dificultan la adopción de prácticas responsables para la disposición correcta de la basura. Sin duda estas inseguras condiciones sociales están estrechamente vinculadas a la problemática ambiental y sanitaria generada por la acumulación de residuos en la zona (WordPress.com VIP, 2015).

En cuanto al tipo de edificaciones que se encuentran alrededor del sitio de deposición, predominan barrios populares y asentamientos informales. Estas construcciones suelen ser modestas, construidas con materiales precarios y sin planificación urbanística, lo que refleja la marginalidad y exclusión social de las personas que habitan estas áreas. La falta de infraestructura adecuada y servicios básicos como agua potable, alcantarillado y recolección formal de basura agrava las condiciones de vida y aumenta los riesgos asociados a la contaminación generada por el vertedero. Además, la extensión del sitio de deposición final y su influencia ha limitado el desarrollo urbano formal de la zona, generando un entorno vulnerable y con numerosas problemáticas sociales y ambientales (Flores, 2025). Además, se encuentra muy cerca el Cementerio General en donde pueden ocurrir desprendimientos ocasionales del barranco, llegando al sitio de deposición, en los cuales puede haber infraestructura del cementerio como es el caso de ataúdes.

**Figura 26**

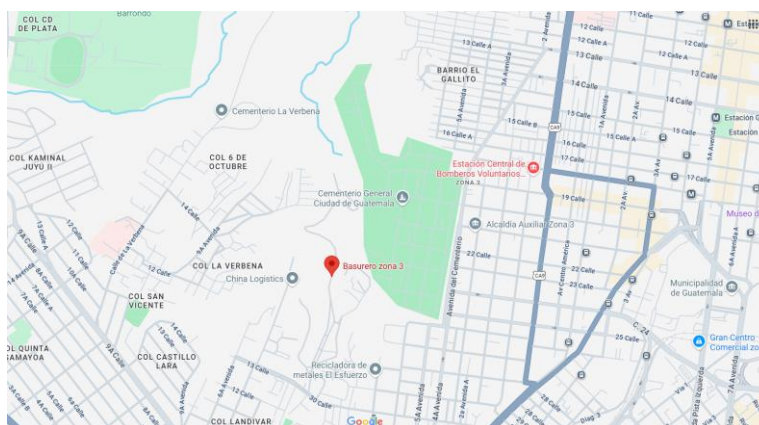
**Edificaciones a la redonda del sitio de disposición final de la zona 3**



Nota. La figura muestra edificaciones cercanas al sitio de disposición de la zona 3. Fuente: (Flores, 2025)

**Figura 27**

**Mapa referencia ubicación Cementerio General y sitio de deposición final zona 3**



Nota. La figura muestra la cercanía del cementerio general y el sitio de disposición de la zona 3. Fuente: (Google Maps, 2025)

## 15. Inundaciones

Se le conoce como una inundación a un fenómeno natural en el que un área de tierra, generalmente seca, se cubre temporalmente con agua debido al desbordamiento de ríos, lagos, mares o por la acumulación de agua de lluvia que no puede ser absorbida o drenada eficientemente. Este evento puede ser causado por factores como lluvias intensas, deshielo, mareas altas, tsunamis o la rotura de infraestructuras como presas o diques. Las inundaciones pueden variar en duración, intensidad y alcance, y pueden tener impactos significativos en el medio ambiente, la infraestructura, la economía y la salud pública. Su gravedad depende de factores como la topografía del terreno, la capacidad de drenaje y la vulnerabilidad de las áreas afectadas (iAgua, 2024).

Existen múltiples tipos de inundaciones las cuales dependen de la zona, causas, duración, intensidad e impacto. Entre las cuales podemos destacar las siguientes:

### a) Las inundaciones súbitas (Flash Floods)

Las inundaciones súbitas (Flash Floods) ocurren de manera rápida e imprevista, generalmente debido a lluvias intensas y repentinas. Son especialmente peligrosas en áreas con pendientes pronunciadas, donde el agua desciende velozmente, saturando el terreno y dificultando la evacuación de las personas afectadas. Su naturaleza impredecible las convierte en una de las formas más destructivas de inundación (Lw, 2023).

### b) Inundaciones lentas

Las inundaciones lentas se desarrollan de manera gradual, causadas por lluvias persistentes que pueden durar varios días. Aunque menos repentinas que las súbitas, pueden provocar daños significativos en cultivos, infraestructuras y viviendas, especialmente en zonas con suelos saturados o sistemas de drenaje insuficiente (Lw, 2023).

### c) Inundaciones por rotura de infraestructuras

Las inundaciones por rotura de infraestructuras son causadas por la falla o colapso de presas, diques u otras estructuras hidráulicas. Estas inundaciones pueden ser catastróficas, con impactos severos en propiedades, infraestructuras y vidas humanas, debido a la liberación repentina de grandes volúmenes de agua (Lw, 2023).

#### d) Inundaciones por fusión de nieve

Las inundaciones por fusión de nieve ocurren cuando la nieve acumulada durante el invierno se derrite rápidamente, aumentando el caudal de ríos y arroyos. Son comunes en regiones montañosas o frías, especialmente si se combinan con lluvias intensas, y pueden provocar desbordamientos y daños en áreas cercanas (Lw, 2023).

#### e) Inundaciones costeras

Las inundaciones costeras se producen cuando el mar invade tierra firme, ya sea por maremotos, tsunamis, tormentas o tifones. Estas inundaciones pueden ser directas, por ruptura de barreras naturales o artificiales, o por exceso de oleaje que supera las defensas costeras, causando graves daños en comunidades litorales (Lw, 2023).

#### f) Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales ocurren cuando los ríos se desbordan debido a un aumento en su caudal, ya sea por lluvias intensas o el derretimiento de nieve. Estas inundaciones afectan principalmente áreas cercanas a los ríos, donde las riberas pueden erosionarse o romperse, causando daños a propiedades y terrenos agrícolas (Lw, 2023).

#### g) Inundaciones urbanas

Las inundaciones urbanas afectan áreas urbanizadas, donde la escorrentía superficial es alta debido a la impermeabilización del suelo por pavimentos y construcciones. Son agravadas por sistemas de drenaje insuficientes y la obstrucción de alcantarillas, causando acumulación de agua en calles y viviendas (Lw, 2023).

Estas son un fenómeno cada vez más común en las ciudades, especialmente en áreas con alta densidad poblacional y un desarrollo urbano acelerado. Este problema ocurre cuando el agua, generalmente proveniente de lluvias intensas, no puede ser absorbida o drenada eficientemente, superando la capacidad de los sistemas de alcantarillado y drenaje (Bish, 2025).

Son graves los impactos que las inundaciones urbanas causan en la infraestructura, dañan edificios, carreteras, puentes y sistemas de alcantarillado, lo que interrumpe la vida diaria y genera costos económicos elevados. También afectan la salud pública, ya que el agua estancada se convierte en un foco

de enfermedades peligrosas, como el cólera o la malaria, y puede causar problemas respiratorios debido al crecimiento de moho en interiores. Además, las inundaciones pueden paralizar ciudades, afectar negocios y reducir el valor de las propiedades, especialmente en áreas donde los sótanos y estructuras subterráneas se ven comprometidas (Sánchez, 2024).

Uno de los principales factores que agravan las inundaciones urbanas es la mala infiltración del terreno, causada por la presencia de superficies impermeables como el asfalto, que dificultan la absorción del agua y aumentan la escorrentía. Otro factor es la obstrucción de los sistemas de drenaje, ya que la basura y los desechos bloquean las alcantarillas y cauces de ríos, impidiendo el flujo adecuado del agua y provocando inundaciones más severas (Bish, 2025). Para mitigar las inundaciones urbanas, es esencial implementar soluciones factibles, sostenibles y realistas los cuales pueden a futuro, no solamente mitigar este fenómeno sino incluso erradicarlo (Sánchez, 2024).

También estas pueden clasificarse según su impacto en ordinarias (el agua no supera los límites del cauce), extraordinarias (el agua se desborda causando daños moderados) y catastróficas (daños graves, incluyendo destrucción parcial o total de estructuras). Esta clasificación ayuda a entender la naturaleza de las inundaciones y a implementar medidas de prevención y mitigación adecuadas (Lw, 2023).

## **16. Efectos negativos de las inundaciones**

Las inundaciones pueden generar múltiples efectos negativos que impactan de manera significativa tanto a la población como al medio ambiente y la infraestructura urbana. Para la población, las inundaciones suelen traducirse en daños a viviendas, pérdida de pertenencias personales y el desplazamiento temporal o permanente de familias. Además, aumentan los riesgos sanitarios debido a la proliferación de enfermedades transmitidas por agua contaminada, como infecciones gastrointestinales, enfermedades dermatológicas y problemas respiratorios, provocados por el contacto con aguas residuales y residuos flotantes (*Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting, 2024*).

Desde el punto de vista ambiental, las inundaciones pueden causar la dispersión de contaminantes y desechos sólidos hacia áreas no preparadas para su recepción, generando daños en ríos, lagos y zonas verdes, afectando la biodiversidad y la calidad de los recursos hídricos. Este arrastre de materiales contaminantes puede alterar los ecosistemas acuáticos y terrestres, generando desequilibrios ecológicos

y deterioro de la calidad del agua, lo que a su vez afecta a las comunidades que dependen de estos recursos (*Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting, 2024*).

A nivel urbano, las inundaciones pueden provocar el colapso o daño de infraestructuras esenciales como sistemas de drenaje, redes eléctricas, vías de comunicación y edificaciones, lo que dificulta el acceso a servicios básicos y agrava la vulnerabilidad de la población afectada. Estas dificultades incrementan los costos económicos para las municipalidades y organismos responsables, al requerir inversiones importantes en reparación y mitigación (*Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting, 2024*).

En zonas bajas o cuencas hidrográficas, las inundaciones pueden amplificar los efectos negativos al funcionar como puntos de acumulación y difusión de contaminantes y sedimentos, impactando a comunidades aguas abajo. La sedimentación y el arrastre de residuos dificultan el flujo natural de los cuerpos de agua, lo que puede exacerbar futuras inundaciones y causar daños adicionales en propiedades y ecosistemas (*Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting, 2024*).

### ***Figura 28***

#### ***Efectos negativos de las inundaciones***



Nota. La figura muestra uno de los efectos negativos que causan las inundaciones. Fuente: (*Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting, 2024*)

### **17. Efectos negativos posibles en el sitio de deposición final de la zona 3**

Las inundaciones en el área del sitio de deposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala pueden tener efectos negativos significativos tanto para la población que habita y trabaja en sus inmediaciones como para el propio funcionamiento del vertedero. La acumulación de agua durante la temporada lluviosa puede desestabilizar el terreno en el barranco donde se ubica el relleno, aumentando el riesgo de deslaves y derrumbes. Estos eventos pueden poner en peligro la vida y la integridad física de las aproximadamente 2,000 familias que viven y trabajan cerca del sitio, quienes podrían enfrentar no solo pérdidas materiales sino también daños graves a su salud debido al contacto directo con residuos y líquidos contaminantes. Para el sitio de deposición final en sí, las inundaciones pueden afectar su capacidad operativa, provocando la dispersión y remoción descontrolada de residuos sólidos, lo que dificulta la gestión ordenada de la basura y contribuye a la contaminación ambiental. Además, el agua encharcada puede favorecer la generación y liberación de lixiviados contaminantes, pues los líquidos que se filtran desde la basura pueden mezclarse con el agua de lluvia en grandes volúmenes, extendiendo la contaminación hacia zonas adyacentes y complicando su tratamiento.

Las áreas aledañas al vertedero, que incluyen barrios informales y terrenos periurbanos, también pueden sufrir impactos ambientales severos debido a las inundaciones. El arrastre de basura y contaminantes hacia estas zonas puede aumentar la presencia de desechos en espacios públicos, canales y calles, comprometiendo la calidad de vida de los habitantes. Asimismo, esta situación puede propiciar la proliferación de vectores de enfermedades, como mosquitos y roedores, que son transmisores de infecciones gastrointestinales y respiratorias, lo que agrava el problema sanitario.

Finalmente, en la parte más baja de la cuenca, donde cruza la quebrada La Barraca, las inundaciones pueden causar el transporte y dispersión de contaminantes hacia cuerpos de agua más grandes, generando un efecto dominó que afecta no solo el ecosistema acuático local, sino también a comunidades que dependen de estos recursos hídricos para sus actividades diarias. Esta contaminación puede deteriorar la calidad del agua, impactando la biodiversidad, la salud pública y la disponibilidad de agua potable en un área mucho más amplia que la inmediata al sitio de deposición final, evidenciando la alta vulnerabilidad ambiental y social de toda la cuenca en momentos de lluvias intensas.

*Figura 29*

*Inundación en Cementerio General zona 3 aledaño al relleno sanitario*



Nota. La figura muestra inundaciones dentro del Cementerio General. Fuente: (Gamboa, 2024)

## V. Metodología

Para dar respuesta al **objetivo específico 1**, relacionado con la recopilación de información geoespacial y la identificación de los factores críticos que contribuyen al riesgo a inundaciones en la microcuenca del río La Barranca, se llevaron a cabo tres etapas principales.

### A. Recopilación de información geoespacial

La recopilación de información geoespacial constituye la base para el análisis del riesgo a inundaciones. Por lo que, para dar inicio al análisis multicriterio, como primer punto se recolectaron y/o generaron las capas geoespaciales necesarias como insumos para realizar el mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca. Las capas fueron seleccionadas tomando como referencia el estudio sobre análisis multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Sucre para el ordenamiento agroambiental del territorio (Tarazona Pérez, Corzo Leal, Mantilla Quintero, & Parra Pérez, 2024). En el Cuadro 2 se presentan las capas y sus respectivas fuentes.

#### *Cuadro 2*

##### *Capas recolectadas*

No.	Capas	Fuente	Observaciones
1.	Límite de la microcuenca	Delimitación propia con MDE	Utilizando Watershed
2.	Modelo Digital de Elevación (MDE)	Copernicus DEM (30m)	Mapa de pendientes
3.	Precipitación	INSIVUMEH	Reclasificado
4.	Hidrografía / Drenajes	IGN	Del año 2010
5.	Cobertura del suelo	IGN	Del año 2020

Nota. Capas recolectadas importantes para realizar el análisis multicriterio

## **B. Preparación de las capas como principal insumo para el AMC (análisis multicriterio)**

Para el desarrollo del análisis multicriterio, fue necesario reclasificar las capas temáticas obtenidas, las cuales incluyen el modelo digital de elevación (DEM), las pendientes, las coberturas del suelo, la precipitación y la distancia a drenajes. Este procedimiento permitió estandarizar los valores de las variables y facilitar su integración en un modelo común de evaluación del riesgo de inundación (Tarazona Pérez et al., 2024).

La ponderación empleada en el análisis multicriterio de esta investigación se basó en metodologías desarrolladas y aplicadas en estudios de gestión del riesgo en Colombia, debido a que estas proponen ponderaciones cuantitativas explícitas para variables comúnmente utilizadas en análisis espaciales de riesgo a inundaciones en microcuencas urbanas, facilitando su implementación en entornos SIG y la comparación de resultados. En el contexto guatemalteco, los lineamientos establecidos por SEGEPLAN constituyen un marco orientador para la gestión del riesgo y la planificación territorial; sin embargo, dichos documentos no definen ponderaciones numéricas específicas para la aplicación directa de análisis multicriterio a escalas detalladas como la microcuenca urbana, por lo que la asignación de pesos queda sujeta al criterio técnico del investigador. En este sentido, la metodología colombiana se adoptó como referencia técnica y fue adaptada al contexto físico y urbano del área de estudio, complementando los lineamientos nacionales y permitiendo desarrollar un análisis operativo, consistente y acorde con los objetivos planteados.

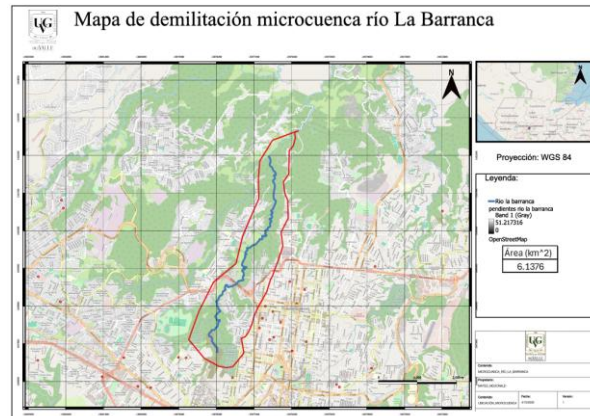
Previo a la reclasificación, se verificó que todas las capas vectoriales y ráster trabajaran bajo el mismo sistema de referencia espacial, en este caso EPSG:32615 – WGS 84 / UTM Zone 15N, con el fin de garantizar la correcta superposición y compatibilidad entre los insumos geográficos. Trabajar en un único sistema de coordenadas es indispensable, ya que evita desplazamientos, errores de alineación y discrepancias en los cálculos de distancia, área o pendiente (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2023).

Una vez unificadas las proyecciones, se procedió a la reclasificación de las variables utilizando el software QGIS. Este proceso se efectuó principalmente mediante la herramienta Reclassify by Table del

menú Raster → Raster análisis, asignando a cada rango de valores un valor de susceptibilidad al riesgo según los criterios metodológicos establecidos: muy bajo (2), bajo (4), medio (6), alto (8) y muy alto (10) (González Valencia, 2006; Toro, 2024).

### **Figura 30**

#### **Límite de la microcuenca**



Nota. La figura muestra el mapa que delimita la extensión territorial de la microcuenca del río La Barranca

## **1. Reclasificación de capas temáticas**

### **a) Pendientes**

Se reclasificaron considerando que las áreas más planas tienen mayor susceptibilidad a inundaciones, esto como se muestra en la Cuadro 3 (Tarazona Pérez et al., 2024).

### Cuadro 3

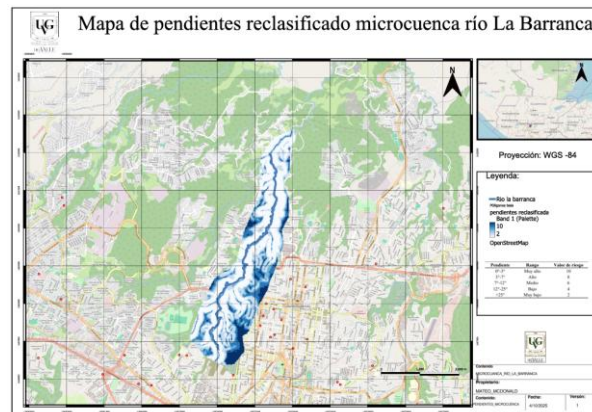
#### Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (pendientes)

Pendiente	Rango	Valor de riesgo
0°-3°	Muy alto	10
3°-7°	Alto	8
7°-12°	Medio	6
12°-25°	Bajo	4
>25°	Muy bajo	2

Nota. El cuadro muestra la reclasificación de la capa de pendientes en 5 rangos y la clasificación de valores de riesgo. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

### Figura 31

#### Mapa de pendientes clasificado en niveles de riesgo



Nota. La figura muestra el mapa de pendientes con dicha capa reclasificada de la microcuenca del río La Barranca.

#### b) Precipitación

Se reclasifico a capa de precipitación en 5 rangos y la clasificación de valores de riesgo Se reclasificaron los valores utilizando el método de Tarazona Pérez et al., (2024).

#### Cuadro 4

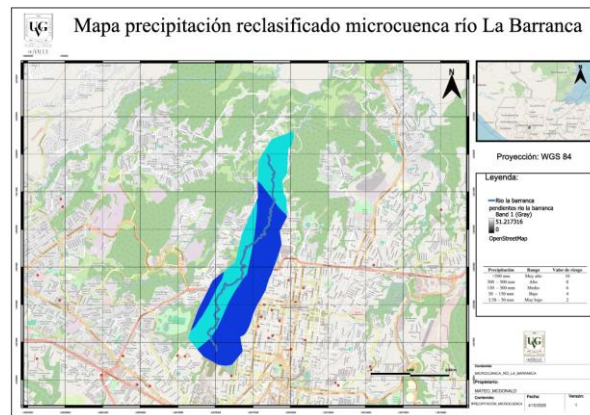
#### Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (precipitación)

Precipitación	Rango	Valor de riesgo
>500 mm	Muy alto	10
300 – 500 mm	Alto	8
150 – 300 mm	Medio	6
50 – 150 mm	Bajo	4
3.58 – 50 mm	Muy bajo	2

Nota. El cuadro muestra la reclasificación de la capa de precipitación. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

#### Figura 32

#### Precipitación clasificada en niveles de riesgo



Nota. La figura muestra el mapa de precipitación con dicha capa reclasificada de la microcuenca del río La Barranca

#### c) Drenajes

Reclasificación de la capa de drenajes en la clasificación de valores de riesgo, utilizando el método de Tarazona Pérez et al., (2024).

## Cuadro 5

### Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (drenajes)

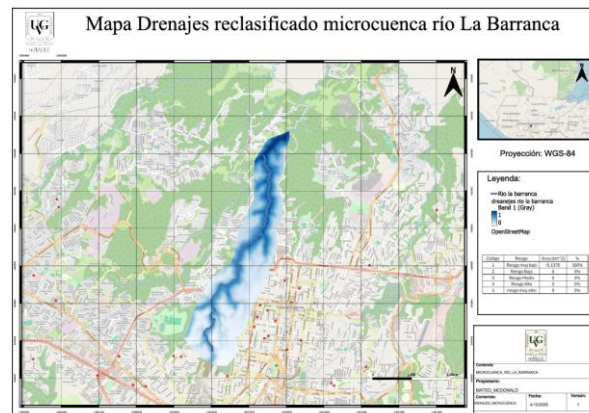
Distancia	Rango	Valor de riesgo
0-500 m	Muy alto	10
500-1500	Alto	8
1500-3000	Medio	6
3000-6000 m	Bajo	4
6000-8500 m	Muy bajo	2

Nota. El cuadro muestra la reclasificación de la capa de drenajes en la clasificación de valores de riesgo.

Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

## Figura 33

### Drenajes clasificados en niveles de riesgo



Nota. La figura muestra el mapa de drenajes con dicha capa reclasificada de la microcuenca del río La Barranca

#### d) Cobertura de suelo

Se reclasificaron según susceptibilidad al riesgo, basándose en la capa de la cobertura del suelo en la clasificación de valores de riesgo. Tarazona Pérez et al., (2024).

## Cuadro 6

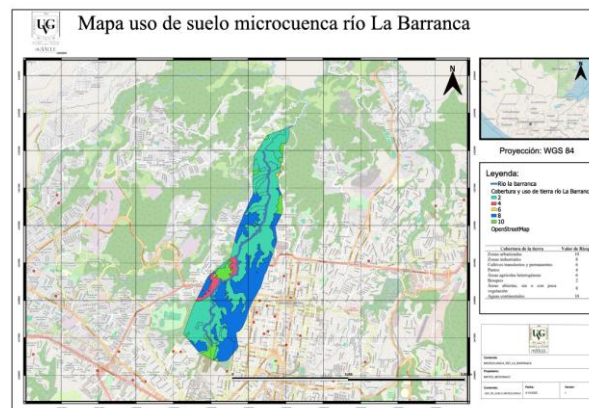
### Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (cobertura de suelo)

Cobertura de la tierra	Valor de Riesgo
Zonas urbanizadas	10
Zonas industriales	8
Cultivos transitorios y permanentes	6
Pastos	4
Áreas agrícolas heterogéneas	6
Bosques	2
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	8
Aguas continentales	10

Nota. El cuadro muestra la reclasificación de la capa de la cobertura de suelo. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

## Figura 34

### Cobertura del suelo clasificado en niveles de riesgo



Nota. La figura muestra el mapa de cobertura del suelo con dicha capa reclasificada de la microcuenca del río La Barranca

e) Modelo Digital de Elevación (DEM)

Se reclasificaron por las áreas más bajas con mayor susceptibilidad debido a proximidad a drenajes y mayor probabilidad de acumulación de agua, mientras que las áreas más altas presentan menor vulnerabilidad según Tarazona Pérez et al., (2024).

**Cuadro 7**

**Reclasificación según susceptibilidad al riesgo (DEM)**

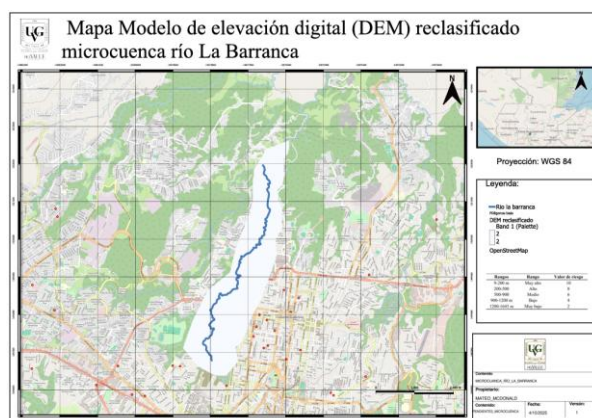
Rangos	Rango	Valor de riesgo
9-200 m	Muy alto	10
200-500	Alto	8
500-900	Medio	6
900-1200 m	Bajo	4
1200-1643 m	Muy bajo	2

Nota. El cuadro muestra la reclasificación del DEM en 5 rangos y la clasificación de valores de riesgo.

Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

**Figura 35**

**Mapa de modelo de elevación Digital (DEM) reclasificado**



Nota. La figura muestra el mapa del DEM con dicha capa reclasificada de la microcuenca del río La Barranca

## **C. Identificación de los factores críticos**

### **1. Visita al sitio de disposición final de la zona 3**

Además de la obtención y creación de las capas georreferenciadas igualmente se realizó una visita técnica al sitio de disposición final de la zona 3, con el objetivo de identificar los principales factores de riesgo asociados al mismo, así como también, obtener la mayor información del sitio de disposición final, tanto su funcionamiento, gestión de residuos, drenajes de aguas pluviales, cuerpos de agua, desembocaduras de estos cuerpos, etc.

El sitio de disposición se separa en 4 grandes áreas, la primera es el área de monitoreo, sistemas e informática, esta área es la entrada del personal hacia el sitio de disposición, en esta área se encuentran unas plumillas las cuales son abiertas con un previo escaneo biométrico el cual comprueba que la persona o “recuperadores” (antes llamados guajeros) está registrado en el sistema. Esto se hace para evitar la entrada no autorizada de personal, en especial a menores de edad.

*Figura 36*

*Área de monitoreo del sitio de disposición final de la zona 3*



Nota. La figura muestra la primera zona del sitio de disposición final el cual es el área de monitoreo de entradas de personal al sitio

Posteriormente se encuentra el área de transferencia, este lugar esta denominado así ya que ahí se almacena todo el material reciclable, ya sea papel, cartón, vidrios, PET, entre otros. Cabe resaltar que esta área no cuenta ni es parte de la municipalidad, sino que es una empresa privada la encargada de gestionar este material reciclable. Al día el sitio de disposición final recibe alrededor de 600 ingresos las cuales son de los camiones de basura típicos de color amarillo, pero se cuenta con 200 más ingresos de otro tipo de vehículos, estos provenientes no solamente de la Ciudad de Guatemala sino de 14 municipios extra colindantes a la ciudad.

La tercera área del sitio de disposición final es la báscula de pesaje, en esta zona se controla el peso de cada camión que ingresa al sitio y debe de tener un aproximado de 4 ton por camión. Esta medida se realiza con una báscula de pesaje con una capacidad de 40 ton. En esta zona se encuentra el pluviómetro el cual mide los datos proporcionados de la precipitación de la zona distintos meses del año.

*Figura 37*

*Área de pesaje sitio de disposición final*



Nota. La figura muestra la segunda zona del sitio de disposición final el cual es el área de pesaje en el cual pesan todos los camiones entrantes del sitio

Seguidamente se presentó un área verde la cual antes servía como sitio de disposición final, pero se pudo rehabilitar ya que el sitio de disposición al alcanzar la zona su máxima capacidad se compacta sobre una capa de selecto. Esto mismo se realizó en esta área hasta llegar a un momento que se decidió volverla un área verde. Más en específico se convirtió en un área el cual usan materia orgánica proveniente de una organización que genera muchos desechos orgánicos, lo que se hace es que se realice composta con estos desechos orgánicos y los lixiviados generados, pero estos no tienen ningún tratamiento y se acumulan en un tanque especializado. Estos lixiviados como se mencionó anteriormente no se tienen una ubicación en específico, pero se plantea para un futuro un lugar de tratamiento para los mismos.

**Figura 38**

***Área de composta sitio de disposición final***



Nota. La figura muestra la tercera zona del sitio de disposición final, la cual es el área de compostaje en donde usan materia orgánica para hacer composta

**Figura 39**

***Composta realizada en área de compostaje sitio de disposición final***



Nota. La figura muestra el producto final que se obtiene en la zona de compostaje del sitio de disposición final

Además, se mostró la aplicación de este compostaje en un invernadero el cual se siembran distintas plantas las cuales decoran todo el sitio de disposición y algunas de ellas gracias a sus raíces le brindan capacidad soporte a los taludes del sitio. Esto nos muestra que las áreas inactivas del sitio de disposición final no solamente se rehabilitan como área verde, sino que se le da otro uso que apoye al funcionamiento de sitio como lo es este primer caso del invernadero y el área de compostaje.

***Figura 40***

***Invernadero del sitio de disposición final***



Nota. La figura muestra el invernadero en donde mantienen varios cultivos he utilizan la composta hecha en el área de compostaje

El último destino de la visita fue una vista del área de disposición final. Como su nombre lo dice es donde los camiones de basura van a depositar su contenido el cual está separada en áreas las cuales clasifican residuo de desecho. La diferencia de estos dos es que del residuo se pueden obtener materia reciclable y el desecho es materia inutilizable.

**Figura 41**

***Área de deposición final del sitio de disposición final***



Nota. La figura muestra el área de deposición final del sitio de dispersión final en donde termina todos los residuos

**Figura 42**

***Colaboradores municipales y visitantes sitio de disposición final***



Nota. La figura muestra los colaboradores y la visita que fue participante a la visita guiada al sitio de disposición final

Además de obtener información valiosa sobre las distintas áreas de operación del sitio de disposición final, la visita también permitió recopilar información directa mediante observación in situ, entrevistas con personal encargado y revisión de registros internos (pluviometría, reportes de mantenimiento y antecedentes de emergencias). A partir de esta aproximación se sistematizaron siete ejes de análisis que describen de manera integral el estado actual del sitio: aspectos físicos e hidrológicos, relación con cuerpos de agua y el colector municipal RMR, sistema de drenajes pluviales, manejo de lixiviados, estabilidad de taludes, gestión de residuos sólidos, e impactos en la comunidad y percepción local.

Cada uno de estos puntos constituye un insumo clave para comprender la interacción entre las condiciones naturales del terreno, la infraestructura construida y las prácticas de manejo implementadas en el sitio. La información obtenida no solo refleja la situación operativa y ambiental actual del relleno, sino que también evidencia las principales limitaciones y riesgos que deben considerarse en la formulación de propuestas de mejora y en la planificación de estrategias de modernización.

A continuación se detallan los ejes de análisis antes mencionados:

a) Aspectos físicos e hidrológicos

Durante la visita al sitio de disposición final se identificaron las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones y saturación de suelos. El sector norte, colindante con la cuenca del río la Barranca, es el más afectado en época lluviosa, particularmente entre los meses de junio y septiembre, cuando se registra la mayor intensidad de precipitación.

De acuerdo con los registros obtenidos en el pluviómetro instalado en la báscula de peso, la precipitación acumulada en junio de 2024 fue de 316 mm, mientras que en septiembre del mismo año se alcanzó el valor máximo con 330 mm, en julio de 2025, se midieron 263 mm, lo que confirma que en este periodo se concentran los niveles más críticos de lluvia. Estas cifras son significativas, pues evidencian la presión hídrica a la que está sometido el sitio y su influencia en procesos de escorrentía, infiltración y posibles deslizamientos de taludes.

En cuanto a la composición del terreno, se constató que el sitio presenta una variedad de suelos, debido a la constante recepción de materiales provenientes de distintas obras de construcción. Esta

heterogeneidad condiciona la filtración del agua, ya que mientras algunos estratos son sólidos y compactos, otros muestran mayor permeabilidad, generando riesgos de inestabilidad.

#### b) Cuerpos de agua y colector municipal RMR

El sitio de disposición final no cuenta con un río propio, pero está directamente relacionado con el colector municipal RMR, un sistema que recibe descargas de agua de colonias como la Reformita en zona y el Mariscal en zona 11.

En el año 2015, este colector sufrió una ruptura significativa que modificó la dinámica hídrica del lugar. A partir de ese momento, el agua dejó de circular de manera controlada por tuberías y comenzó a desbordar directamente dentro del sitio, formando un canal abierto que atraviesa parte del relleno. Dicho canal, además de transportar aguas negras provenientes de la ciudad, termina desfogando hacia el río de la Barranca, lo que agrava los impactos ambientales y representa un riesgo de contaminación para el ecosistema circundante.

Este hallazgo confirma que el sistema hídrico del relleno no es autónomo, sino que depende en gran medida de la funcionalidad del colector RMR, convirtiéndose en una vulnerabilidad estructural del sitio.

#### c) Sistema de drenajes pluviales

El relleno sanitario dispone de un sistema de drenajes pluviales que aprovecha las pendientes naturales del terreno. Estos drenajes consisten en canales abiertos que dirigen el agua hacia zonas de desfogue. Parte de la infraestructura ha sido reforzada mediante concreto lanzado en aproximadamente 280 metros de canalización, lo que ha permitido mejorar la conducción durante lluvias intensas.

No obstante, se reportaron fallas recurrentes en muros de contención y en canales de piedra, particularmente cuando los caudales alcanzan valores de hasta 70 m<sup>3</sup>/s en tormentas intensas. Estas fallas provocan erosión y desprendimientos que deben ser reparados posteriormente por el personal del sitio.

Como medida preventiva, el área de mantenimiento realiza limpiezas periódicas de cauces y alcantarillas antes del invierno, ya que la acumulación de desechos sólidos es frecuente y representa un factor de riesgo de taponamientos. Estas labores forman parte de las acciones rutinarias que buscan reducir la vulnerabilidad ante lluvias prolongadas.

#### d) Manejo de lixiviados

Un aspecto crítico identificado en la visita es el manejo de lixiviados. Actualmente, el sitio no cuenta con un sistema de tratamiento especializado. Los líquidos generados por la descomposición de los residuos son canalizados de forma directa hacia el colector RMR.

Dado que este colector ya transporta aguas negras de la ciudad, la mezcla con lixiviados intensifica la contaminación del flujo y aumenta la carga contaminante que finalmente llega al río de la Barranca. Esta práctica refleja una debilidad estructural en la gestión ambiental del sitio, ya que el control de lixiviados constituye uno de los criterios esenciales para la operación de un relleno sanitario con estándares adecuados.

Se reconoce que la construcción de un vaso recolector para el tratamiento de lixiviados implicaría un gran movimiento de tierras, y que dicha acción forma parte de los proyectos de modernización del sitio. Sin embargo, al momento de la visita, la medida aún no había sido implementada.

#### e) Estabilidad de taludes y deslizamientos

El sitio de disposición final se encuentra emplazado en un área de barrancos, lo cual incrementa la susceptibilidad a procesos de inestabilidad. En 2017, un evento significativo se produjo cuando un deslizamiento proveniente del Cementerio General arrastró material hacia el relleno, afectando incluso a camiones que se encontraban en operación.

A raíz de este evento, se implementaron medidas de mitigación como la construcción de bermas de estabilización de taludes. Desde entonces, no se han registrado deslizamientos de gran magnitud, aunque se mantienen zonas críticas en la parte norte del sitio. Estas áreas continúan siendo consideradas de alto riesgo, especialmente durante lluvias prolongadas.

#### f) Gestión de residuos sólidos

Son aproximadamente 2,500 toneladas de basura las que recibe el sitio diariamente, lo que equivale a 50,000 toneladas al mes. El método de disposición empleado es la conformación de celdas sanitarias, donde los residuos se compactan con maquinaria pesada (tractores tipo sheep foot, excavadoras y compactadoras).

Posteriormente, cada celda es cubierta con una capa de material inerte —arena, selecto o tierra— con un espesor de entre 0.6 cm y 1 metro, con el fin de reducir olores, prevenir incendios y controlar plagas.

Aunque no existen biodigestores en el sitio, se han desarrollado proyectos complementarios como biopilas para la producción de composta, lo que representa un esfuerzo limitado hacia la valorización de los residuos.

#### g) Impactos en la comunidad y percepción local

En cuanto a los impactos en la comunidad, se constató que los asentamientos cercanos, particularmente en el área de La Verbena, han reportado problemas de inundaciones. Sin embargo, no se evidenció el arrastre de basura hacia viviendas o calles, ya que los desechos permanecen contenidos dentro del relleno.

El sitio mantiene coordinación con instituciones como CONRED, COLRED y la Administración de Vulnerabilidades y Emergencias de la Municipalidad de Guatemala (AVE) para activar protocolos de emergencia durante la época de lluvias.

Desde la percepción de los trabajadores, el sector norte representa el área de mayor riesgo por posibles deslizamientos e inundaciones. Aunque existe un comité de emergencia y se cuenta con sistemas de alarma para la evacuación, se identificó que la educación ambiental y la sensibilización siguen siendo limitadas. Muchos trabajadores consideran el relleno como la única fuente de sustento económico, lo que ha generado una relación generacional con el sitio de más de 70 años, dificultando la adopción de cambios estructurales en la comunidad vinculada al relleno.

Para dar respuesta al **objetivo específico 2**, relacionado con la elaboración del mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca se llevaron a cabo varias etapas principales.

## **D. Elaboración del mapa de riesgo a inundaciones del río La Barranca**

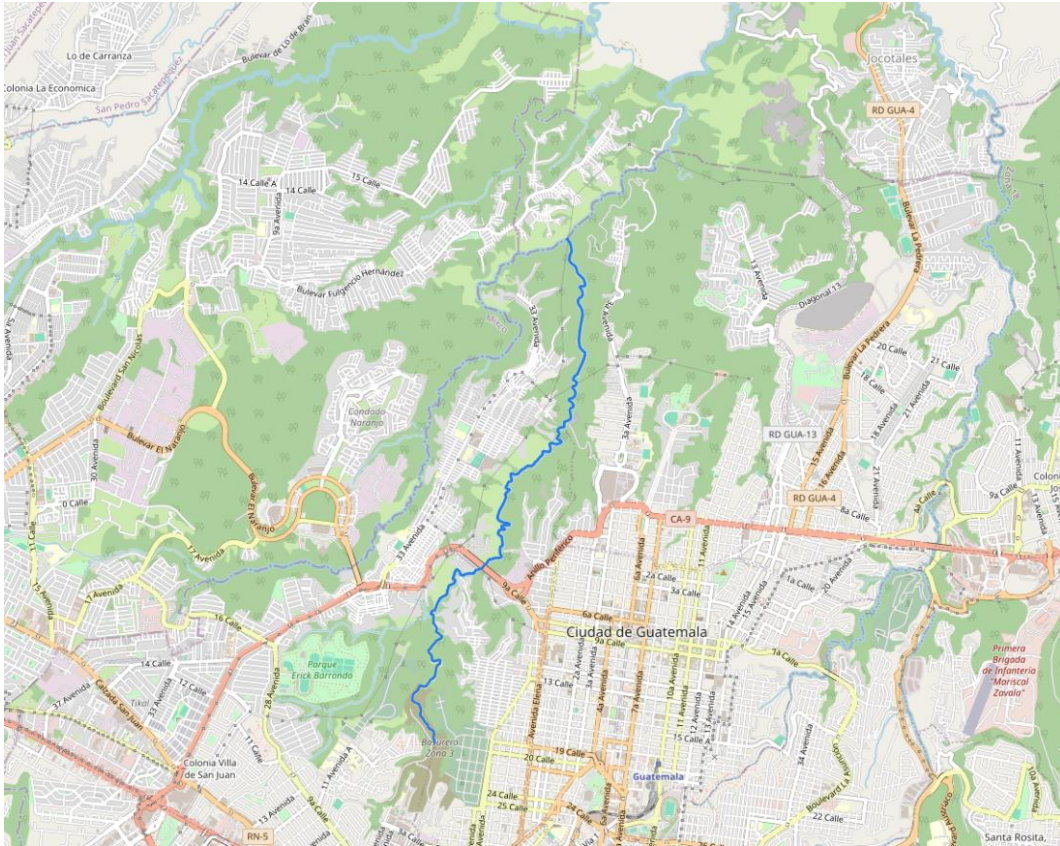
### **1. Delimitación río La Barranca**

Como primer punto del análisis de riesgo de inundación de la microcuenca del río la barranca fue la delimitación de la propia microcuenca, esto identificando en base al mapa global que el programa

Quantum GIS nos brinda llamado “OpenStreetMap”, este nos permitió delimitar en si el río la Barranca, para el posterior análisis de microcuenca.

**Figura 43**

**Delimitación del río La Barranca**



Nota. La figura muestra la delimitación del río La Barranca

**2. Delimitación del área de la microcuenca río La Barranca**

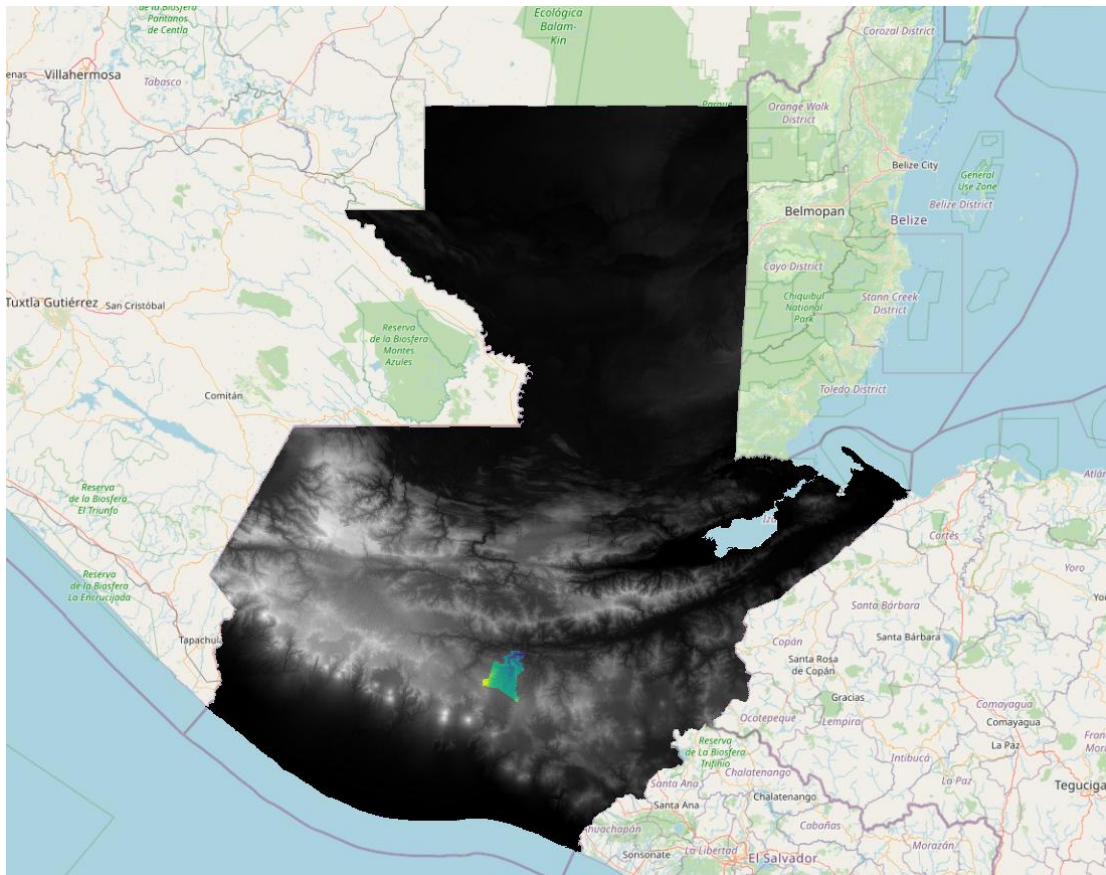
Al cargar las capas de los cinco criterios que influyen al riesgo de inundaciones se delimito el área de la microcuenca en cuestión. Cabe resaltar esto ya que todas las capas obtenidas cubren todo el país por lo que se debe determinar el área a cortar cada capa en cuestión.

Se delimitó la microcuenca del río la Barranca cortando el modelo de elevación digital (DEM) nacional a un nivel más detallado el cual abarcaba toda la longitud del río esto con la utilización “Clip ratser by

mask layer” en el menú de “Extraction” en las herramientas ráster. Esto ya que con esta nueva capa cortada se podría obtener la capa de pendientes del tramo entrando a detalle en el área a trabajar, además de que haciendo esto, se evitarían problemas repentinos de fallos en el programa por analizar todo el país.

**Figura 44**

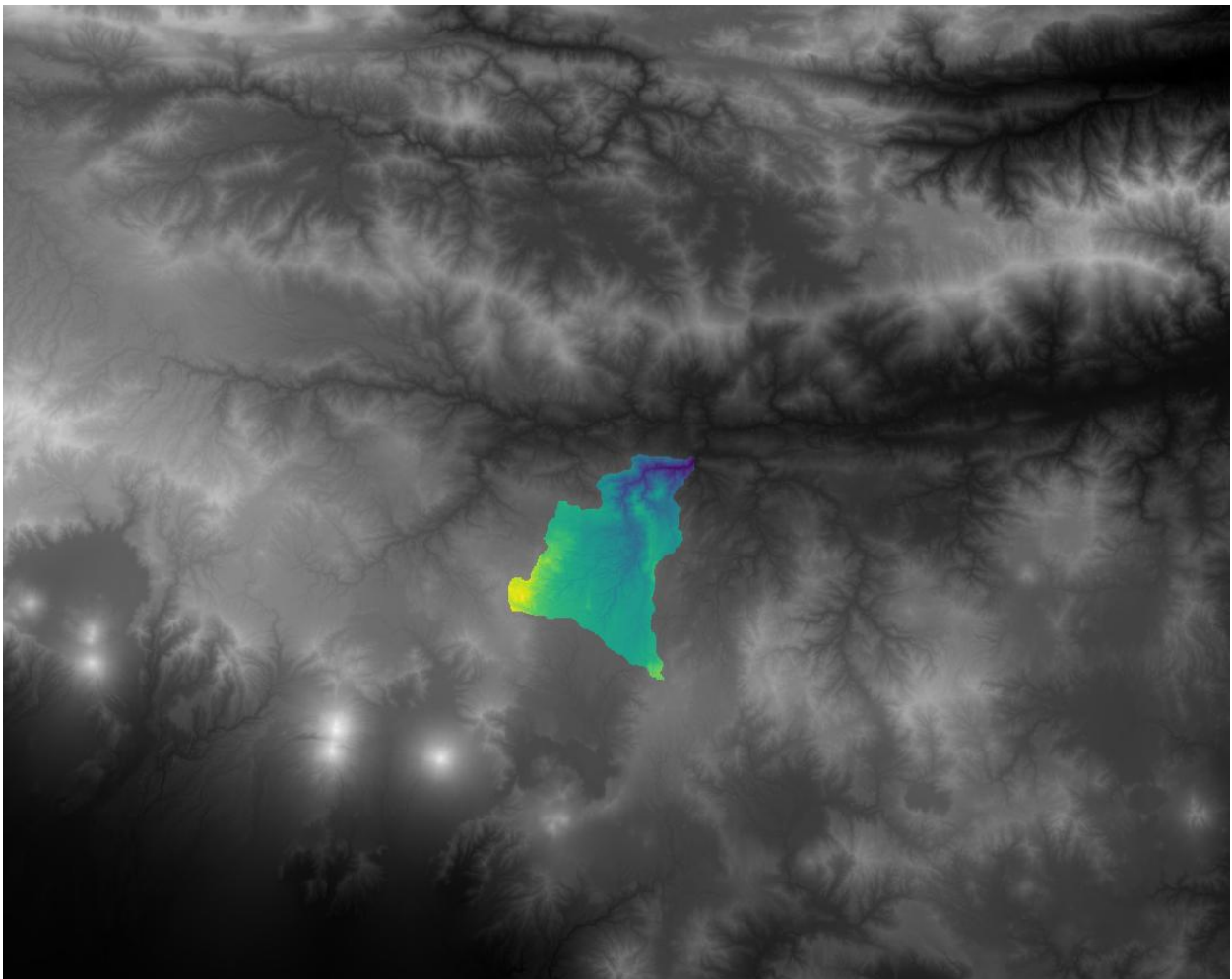
**DEM nacional**



Nota. En la figura se muestra el DEM de Guatemala

*Figura 45*

*DEM nacional cortado*



Nota. En la figura se muestra el DEM de Guatemala cortado acercándose más a la microcuenca del río la Barranca

Al obtener la capa de pendientes podemos delimitar la microcuenca creando una nueva capa tipo polígono. Se dibujó la microcuenca tomando como criterio las partes altas alrededor del río antes ya delimitado, dándonos así la capa tipo polígono la delimitación de la microcuenca del río la Barranca.

**Figura 46**

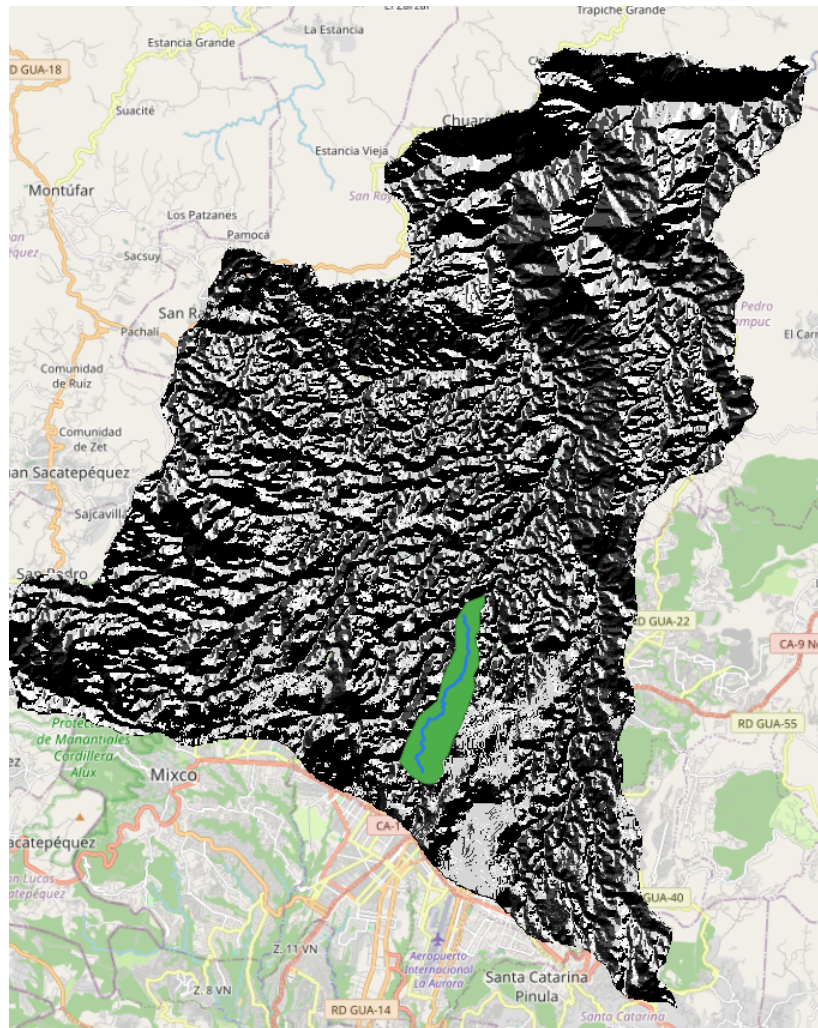
**Capa de pendientes obtenido de DEM cortado**



Nota. En la figura se muestra el mapa de pendientes usado para delimitar la microcuenca del río La Barranca

**Figura 47**

**Capa tipo polígono microcuenca río la Barranca en base a capa de pendientes**



Nota. En la figura se muestra la capa vectorial de la microcuenca del río La Barranca ya delimitada

### **3. Aplicación del análisis multicriterio**

Al ya tener delimitada la cuenca, delimitar en esta área los parámetros a utilizar y reclasificarlos según Tarazona Pérez et al., (2024) como se muestra en la sección 6.2 del presente documento, se llevó a cabo la realización del análisis multicriterio que dio como resultado el mapa de riesgo a inundaciones.

a) Ponderación de variables

Para poder realizar en análisis multicriterio se ponderaron cada variable mediante el método de análisis jerárquico (AHP) y según Tarazona Pérez et al., (2024). Estos se ponderaron como se muestra en el Cuadro 8.

**Cuadro 8**

***Ponderación de variables***

<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Nota. En el cuadro se muestra la ponderación de las variables y su porcentaje de influencia para aplicar el análisis multicriterio. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

b) Integración y análisis

La integración de las variables reclasificadas se realizó mediante la técnica de Suma Lineal Ponderada (SLP) la cual usa formula presentada en la figura 47. Esta fórmula fue aplicada directamente desde la herramienta Quantum GIS (QGIS), más en específico con la herramienta “Raster Calculator” la cual permite trabajar con múltiples capas tipo ráster, y aplicar el porcentaje a cada una de ellas como se muestra en la Figura 48.

Figura 48

### Fórmula SLP

$$R = (D * 0.10) + (P * 0.15) + (C * 0.10) + (Pr * 0.35) + (Dr * 0.30)$$

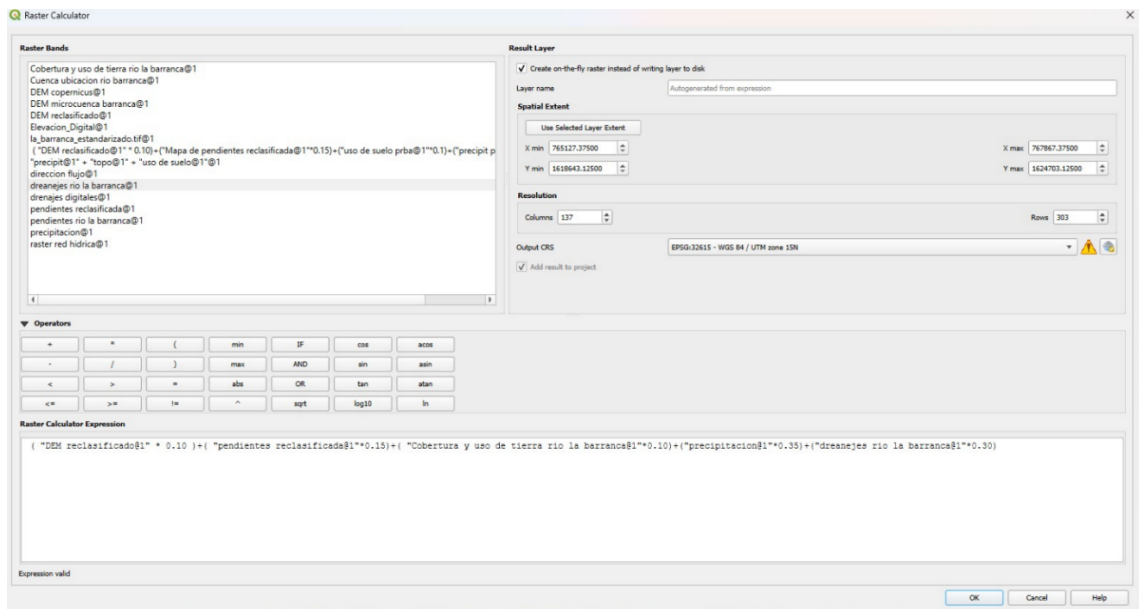
Donde:

- R** = Riesgo de inundación.
- D** = DEM reclasificado.
- P** = Pendientes reclasificadas.
- C** = Coberturas de la Tierra reclasificadas.
- Pr** = Precipitación reclasificada.
- Dr** = Distancia a drenajes reclasificada.

Nota. En la figura se muestra la fórmula utilizada para la realización del análisis multicriterio. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

Figura 49

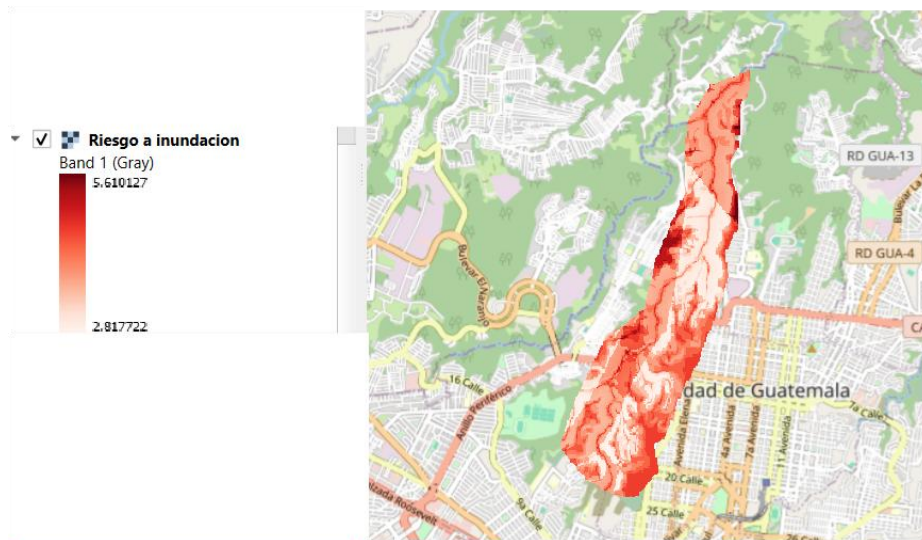
### Menú Raster Calculator QGIS



Nota. En la figura se muestra el menú de la herramienta utilizada en QGIS para la realización del análisis multicriterio y obtención de la capa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca

**Figura 50**

**Resultado inicial análisis multicriterio previo a reclasificación**



Nota. En la figura se muestra el resultado inicial del análisis multicriterio previo a su reclasificación final

c) Reclasificación de la capa

El resultado del análisis fue una capa continua de riesgo a inundación, con fin de un mejor entendimiento de esta, se reclasificó en cinco categorías cualitativas según Tarazona Pérez et al., (2024).

**Cuadro 9**

**Reclasificación de mapa de riesgo a inundaciones**

<b>Clasificación cualitativa</b>	<b>Valores</b>
Riesgo muy bajo	1
Riesgo bajo	2
Riesgo medio	3
Riesgo alto	4
Riesgo muy alto	5

Nota. En el cuadro se muestra la clasificación del riesgo a inundación en cinco niveles. Fuente: (Tarazona Pérez et al., 2024)

## **E. Propuestas para mitigación o gestión del riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca**

Para dar respuesta al **objetivo específico 3**, relacionado con: Propuestas para Mitigación o Gestión del riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca se propuso los siguientes capítulos. Esta etapa metodológica representa el componente aplicado y propositivo del estudio, en la cual se transforman los resultados obtenidos en el diagnóstico y la visita de campo en soluciones concretas de intervención que contribuyen a la reducción del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia del territorio.

El planteamiento de las medidas se fundamenta en el enfoque de gestión integral del riesgo, cuyo objetivo es disminuir las condiciones de vulnerabilidad existentes y fomentar una respuesta sostenible ante los eventos hidrometeorológicos. Con base en la clasificación de las zonas de susceptibilidad identificadas en el análisis, se establecieron tres niveles de intervención —riesgo medio, alto y muy alto—, los cuales permiten jerarquizar las acciones y orientar los recursos hacia los sectores de mayor prioridad.

La metodología se apoyó en la evaluación directa de las condiciones físicas y operativas del sitio de disposición final y su entorno inmediato, identificando problemáticas como la erosión de taludes, la deficiencia en el sistema de drenaje pluvial, la presencia de lixiviados y la pérdida de cobertura vegetal. Estos aspectos fueron contrastados con la información espacial de la microcuenca, permitiendo diseñar medidas que respondan no solo a las condiciones puntuales del sitio, sino también a los procesos hidrológicos que afectan a toda la microcuenca del río La Barranca, garantizando así la aplicabilidad de las propuestas a un contexto más amplio de gestión ambiental y territorial.

Las acciones de mitigación se agruparon en dos categorías principales: medidas estructurales, que comprenden obras de control hidráulico, estabilización y mejora de la infraestructura existente; y medidas no estructurales, enfocadas en la educación ambiental, la planificación del uso del suelo, la gestión interinstitucional y el monitoreo permanente. Cada propuesta fue seleccionada considerando su viabilidad técnica, impacto esperado y sostenibilidad, priorizando aquellas que pueden implementarse en el corto y mediano plazo con recursos municipales y el apoyo de instituciones nacionales como el MARN y la CONRED.

En conjunto, esta metodología busca ofrecer una propuesta integral y replicable, aplicable tanto al sitio de disposición final como al resto de la microcuenca del río La Barranca. Su implementación permitirá reducir la exposición a inundaciones, mejorar la gestión ambiental y avanzar hacia un modelo de planificación urbana más resiliente, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 13 (Acción por el clima).

### **1. Zonas de riesgo muy alto**

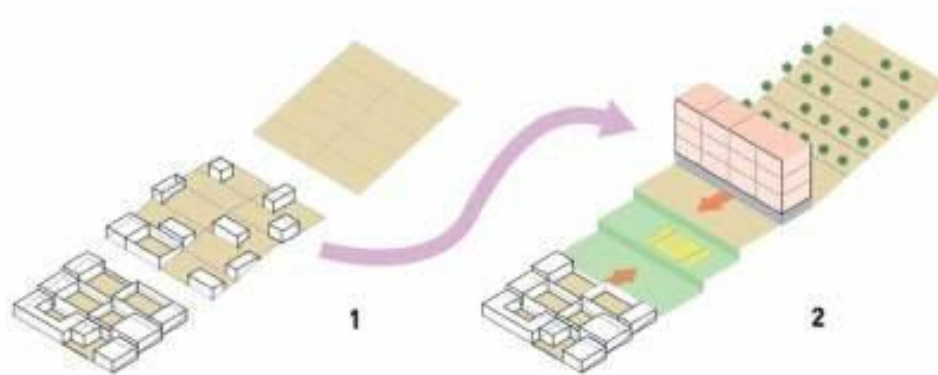
Las zonas clasificadas con riesgo muy alto se ubican principalmente en el tramo norte de la microcuenca del río La Barranca, donde convergen las mayores precipitaciones, las pendientes más pronunciadas y el contacto directo con el sitio de disposición final de la zona 3. En estos sectores, el análisis geoespacial demostró una alta probabilidad de inundaciones combinada con procesos activos de erosión y saturación de suelos. Por ello, las medidas seleccionadas priorizan la eliminación directa de la exposición y la reducción inmediata de la amenaza, dado que cualquier intervención parcial sería insuficiente para garantizar la seguridad del entorno.

La reubicación de viviendas y actividades en estas zonas se eligió, la solución más efectiva para reducir la exposición humana a eventos destructivos. Esta medida, aunque socialmente compleja, es la única capaz de eliminar el riesgo de pérdida de vidas y daños severos a la infraestructura. Complementariamente, se propuso la estabilización de taludes mediante muros de contención, gaviones y técnicas de bioingeniería, ya que estos taludes inestables representan una amenaza constante de deslizamientos durante lluvias intensas.

La reconfiguración o cierre de celdas activas del sitio en áreas de muy alto riesgo es indispensable, dado que la acumulación de residuos en zonas de fuerte pendiente incrementa la posibilidad de colapso estructural y generación de lixiviados contaminantes. La instalación de canales de desvío y drenajes de emergencia se justifica para permitir el flujo controlado de aguas superficiales y evitar erosiones que puedan socavar los taludes del vertedero. Finalmente, se plantearon medidas no estructurales como la implementación de sistemas de alerta temprana, señalización y planes de evacuación, indispensables para una respuesta rápida durante eventos de lluvia extrema. En conjunto, estas soluciones se seleccionaron porque abordan el riesgo de forma integral, combinando seguridad física, control hidráulico y gestión social.

**Figura 51**

**Reubicación de vivienda**



Nota. En la figura se muestra la reubicación de viviendas por riesgo a inundaciones. Fuente: (Vásquez Santamaría, 2019)

**2. Zonas de riesgo alto**

Las zonas clasificadas con riesgo alto presentan una probabilidad considerable de inundación, aunque con condiciones menos críticas de pendiente y estabilidad. Generalmente corresponden a áreas aledañas al colector pluvial RMR y sectores intermedios del cauce del río La Barranca. En estas zonas, el problema principal radica en la obstrucción de drenajes, la deficiencia en la conducción de caudales y el arrastre de residuos sólidos, factores que aumentan el riesgo durante las tormentas.

Por esta razón, se priorizaron medidas orientadas al mejoramiento hidráulico y al mantenimiento sistemático de la infraestructura existente. La rehabilitación de drenajes principales y su revestimiento con materiales duraderos se propuso para aumentar la capacidad de conducción y reducir los colapsos por erosión. La instalación de trampas de sedimento y rejillas se fundamenta en la necesidad de retener residuos sólidos, evitando su acumulación en los puntos bajos del sistema.

Asimismo, la construcción de estanques de retención e infiltración se justifica como una solución técnica de bajo costo que permite reducir los caudales pico en temporada lluviosa, disminuyendo la presión sobre los canales principales. Estas obras se complementan con el refuerzo de muros y canales secundarios, garantizando la continuidad del flujo y evitando erosiones laterales.

En cuanto a las medidas no estructurales, la implementación de un programa de limpieza trimestral responde a los hallazgos de la visita técnica, donde se evidenció acumulación de residuos en los canales pluviales. De igual manera, las campañas de sensibilización comunitaria buscan cambiar las prácticas de disposición inadecuada de basura, las cuales son una de las principales causas del riesgo en la zona. Estas medidas fueron elegidas porque combinan soluciones de ingeniería con acciones de mantenimiento y educación, esenciales para sostener la funcionalidad del sistema de drenaje a largo plazo.

### ***Figura 52***

#### ***Mantenimiento de instalaciones***



Nota. En la figura se muestra el mantenimiento de las instalaciones de drenaje. Fuente: (Ltd, s. f.)

### **3. Zonas de riesgo medio**

Las zonas clasificadas como de riesgo medio corresponden a áreas con menor pendiente y menor exposición directa al cauce del río, donde el riesgo de inundación depende principalmente de la capacidad de infiltración del suelo y del manejo del agua pluvial superficial. Aunque en estos sectores el riesgo no es crítico, sí existe vulnerabilidad acumulada por la pérdida de cobertura vegetal y la falta de espacios de absorción.

Por ello, las soluciones propuestas priorizan infraestructura verde y medidas preventivas de bajo costo, que fortalecen la resiliencia natural del territorio. La implementación de zanjas de infiltración, cunetas

vegetadas y reforestación de laderas se seleccionó porque mejora la infiltración del agua de lluvia, reduce la escorrentía superficial y ayuda a estabilizar el suelo. Estas acciones, además, generan beneficios ecológicos adicionales, como la reducción de temperatura y la mejora de la calidad del aire.

Las pequeñas obras de retención, como gaviones y terrazas de infiltración, fueron elegidas por su capacidad de disminuir la velocidad del flujo pluvial y mitigar la erosión en sectores de pendiente moderada. A nivel operativo, estas obras pueden ser construidas con participación comunitaria, lo que reduce costos y fomenta la apropiación local del proyecto.

En cuanto a las medidas no estructurales, la educación ambiental y la creación de brigadas de monitoreo comunitario se propusieron para consolidar una cultura de prevención y cuidado de los recursos hídricos. Estas estrategias buscan que la población participe activamente en el mantenimiento de drenajes y en la detección temprana de obstrucciones o daños. Finalmente, la zonificación y control del uso del suelo se incluyó para evitar nuevas ocupaciones en áreas de riesgo medio, previniendo que estas se transformen en zonas de riesgo alto o muy alto en el futuro.

### ***Figura 53***

#### ***Infraestructura Verde***



Nota. En la figura se muestra un ejemplo de infraestructura verde que disminuye el riesgo a inundaciones. Fuente: (*Infraestructura Verde: Un método para mejorar la resiliencia de las ciudades frente a inundaciones* | CAPRA | *Probabilistic Risk Assessment Platform*, s. f.)

Posteriormente, con base en el análisis realizado y la justificación técnica de las medidas correspondientes a cada nivel de riesgo, se elaboró una tabla resumen de propuestas de mitigación que integra las acciones estructurales y no estructurales recomendadas para la microcuenca del río La Barranca y el sitio de disposición final de la zona 3.

Lo presentado en el Cuadro 10 tiene como finalidad sistematizar la información y facilitar la comprensión de las soluciones propuestas, agrupándolas según el nivel de riesgo identificado: medio, alto y muy alto. Además, incluye para cada categoría el horizonte de implementación, los responsables institucionales y los indicadores de seguimiento que permitirán evaluar la efectividad de las intervenciones a lo largo del tiempo.

De esta manera, la tabla constituye una herramienta de planificación y gestión, que permite priorizar acciones, asignar responsabilidades y orientar los recursos hacia las zonas de mayor vulnerabilidad, promoviendo la reducción progresiva del riesgo a inundaciones dentro de la microcuenca.

**Cuadro 10**

***Propuestas de mitigación a riesgo a inundaciones por nivel***

Nivel de Riesgo	Medidas Propuestas	Horizonte de Implementación	Responsables	Indicadores de Seguimiento
Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reubicación de viviendas y actividades en zonas críticas.</li> <li>• Estabilización de taludes con muros de contención, gaviones y bioingeniería.</li> <li>• Cierre o reconfiguración de celdas del sitio de disposición final.</li> <li>• Canalización de emergencia y control de escorrentías, en</li> </ul>	Corto Plazo (0–6 meses) Mediano Plazo (6–12 meses)	Municipalidad de Guatemala, CONRED, MARN, Operador del sitio, Comunidades locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personas reubicadas.</li> <li>• Taludes estabilizados.</li> <li>• Incidentes reportados.</li> <li>• Activación del sistema de alerta.</li> </ul>

	<p>especial del colector RMR.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de alerta temprana y señalización.</li> <li>• Plan social de reubicación y acompañamiento comunitario.</li> </ul>			
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rehabilitación y revestimiento de drenajes.</li> <li>• Instalación de trampas de sedimento y rejillas.</li> <li>• Construcción de estanques de retención e infiltración.</li> <li>• Refuerzo de muros y canales secundarios.</li> <li>• Programa de limpieza trimestral.</li> <li>• Campañas de sensibilización y control de residuos.</li> </ul>	Mediano Plazo (6–18 meses)	Municipalidad, MARN, Operador del sitio, Empresas de saneamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de taponamientos.</li> <li>• Volumen de sedimentos retenidos.</li> <li>• Calidad del agua de descarga.</li> <li>• Cumplimiento de limpieza programada.</li> </ul>
Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de infraestructura verde (zanjas, cunetas vegetadas, reforestación).</li> <li>• Pequeñas obras de retención (gaviones, terrazas, reservorios).</li> <li>• Educación ambiental continua.</li> <li>• Brigadas de monitoreo comunitario.</li> </ul>	Mediano a Largo Plazo (1–3 años)	Municipalidad, MARN, Organizaciones comunitarias, ONG ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie verde recuperada (ha).</li> <li>• Número de talleres impartidos.</li> <li>• Reportes de brigadas comunitarias.</li> <li>• Actualización del mapa de riesgo.</li> </ul>

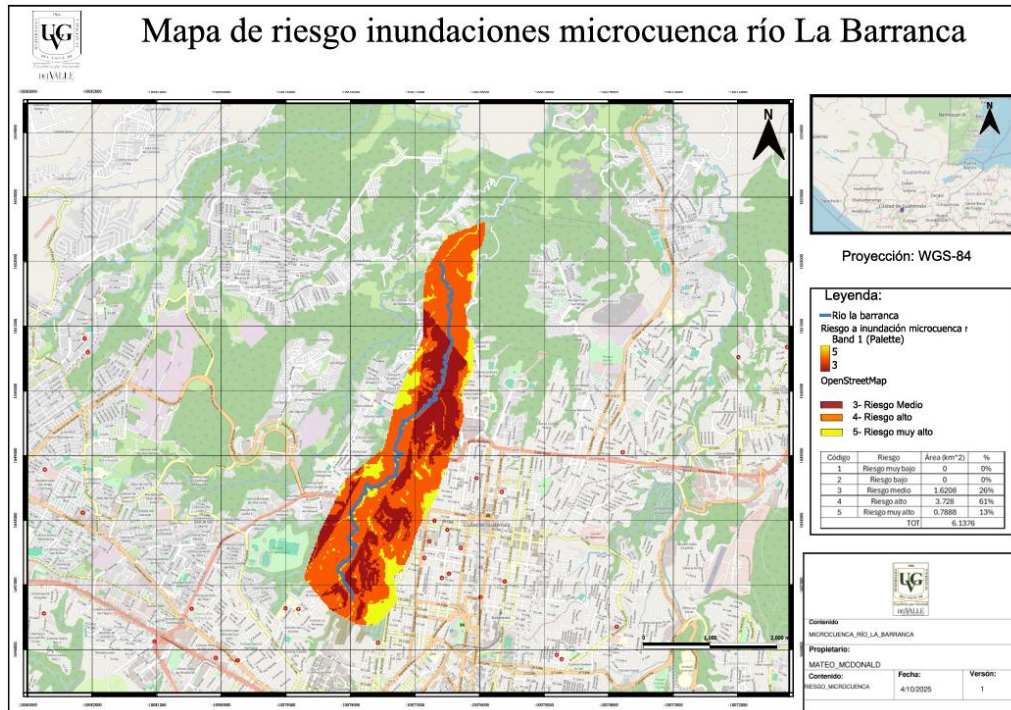
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonificación y control de nuevas ocupaciones.</li> </ul>			
--	---	--	--	--

Nota. El cuadro resume las soluciones estructurales y no estructurales propuestas para cada categoría de riesgo identificada en el mapa de riesgo de inundaciones de la microcuenca del río La Barranca. Cada conjunto de medidas está asociado con un horizonte de implementación, los actores responsables y los indicadores de seguimiento que permitirán evaluar su efectividad.

## VI. Resultados y discusión

Figura 54

Mapa de riesgo a inundaciones microcuenca del río La Barranca



Nota. En la figura se muestra el mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca

Cuadro 11

Distribución de riesgo a inundación por categoría microcuenca del río La Barranca

Código	Riesgo	Área (km <sup>2</sup> )	%
1	Riesgo muy bajo	0	0%
2	Riesgo bajo	0	0%
3	Riesgo medio	1.6208	26%
4	Riesgo alto	3.728	61%
5	Riesgo muy alto	0.7888	13%
TOT		6.1376	

Nota. En el cuadro la distribución de riesgo de inundación de la microcuenca del río La Barranca clasificándola en cinco categorías cualitativas: Riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Se muestran el área en kilómetros cuadrados y el porcentaje que corresponde al área total de la microcuenca. Como se muestra en el mapa de riesgo a inundaciones en la figura 53 se puede ver la clasificación de cada área en las cinco categorías de riesgo a nivel cualitativo: Riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Estas categorías nos indican la probabilidad relativa a inundaciones en función a la combinación ponderada de cinco factores críticos como lo son la cobertura de suelo, precipitación, drenajes, pendientes y el modelo de elevación digital (DEM) de la microcuenca del río La Barranca. El análisis multicriterio con ayuda a herramientas SIG, en este caso Quantum GIS (QGIS), permitieron la integración precisa y efectiva de las variables a lo que resultó a que el mapa de riesgo a inundaciones de la microcuenca del río La Barranca fuera un producto cartográfico útil y fácilmente interpretable.

Como podemos notar en la tabla número diez podemos ver que el riesgo alto cubre mayor porcentaje del territorio 61 % seguido por el riesgo medio 26 %. Esto y la ausencia de áreas de riesgo muy bajas o bajas evidencian la prevalencia de áreas vulnerables en la microcuenca del río La Barranca, y es un resultado coherente tomando en cuenta que el área de estudio es una hondonada y que colinda con el sitio de disposición final de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.

Hablando del riesgo muy alto a inundaciones podemos notar que se tiene un 13 % del área de la microcuenca concentrándose en el lado este y oeste de la misma. Esto se debe a que se tienen los cinco parámetros más altos en niveles de riesgo apuntando a que sean las áreas más propensas a las inundaciones.

## **A. Identificación de áreas críticas**

### **a) Áreas de mayor riesgo (muy alto y alto)**

Como se mencionó anteriormente las áreas con mayor riesgo a inundación se ubican a los extremos este y oeste de la microcuenca, esto debido a las siguientes características:

- Cobertura de suelo: En estas áreas predominan áreas urbanizadas entre las cuales podemos mencionar el sitio de disposición final, estos al estar impermeabilizados contribuye al estancamiento de las precipitaciones y apoyan al riesgo a inundaciones.
- Pendientes: En estas áreas de estudio y por ende en el sitio de disposición final nos encontramos con pendientes casi nulas, esto adicionalmente a un suelo impermeable aumenta al riesgo de inundaciones en estas áreas.
- Cuerpos de agua: En estas zonas se ubica las aguas provenientes del recolector RMR el cual recolecta aguas negras de colonia La Reformita en zona 11 y 12 y de Mariscal zona 11. Esto es un factor por tomar en cuenta que aumenta el riesgo a inundaciones y se respalda con las ubicaciones de mayor riesgo en el mapa.

Añadiendo a esto gracias a estos factores se producen fenómenos como la saturación de los suelos, obstrucción de drenajes, daños a viviendas y poblados aledaños a la microcuenca. Por eso mismo se propusieron soluciones para la mitigación de las inundaciones en estas zonas con mayor riesgo. Las cuales se presentan a continuación.

## Mitigación

En las zonas clasificadas con riesgo muy alto, ubicadas principalmente en el tramo norte de la microcuenca, se identificaron condiciones críticas que incluyen altas precipitaciones, fuertes pendientes y la proximidad directa al sitio de disposición final de la zona 3. Debido a la alta probabilidad de inundaciones, erosión activa y saturación de suelos, se priorizan medidas integrales que incluyen la reubicación de viviendas y actividades para eliminar la exposición humana, así como la estabilización de taludes mediante muros de contención y técnicas de bioingeniería. Además, se propone la reconfiguración o cierre de celdas activas del vertedero, instalación de canales de desvío y drenajes de emergencia para controlar el flujo superficial y reducir la erosión. Complementan estas acciones sistemas de alerta temprana, señalización y planes de evacuación para mejorar la respuesta ante eventos extremos.

En las zonas de riesgo alto, caracterizadas por pendientes menos pronunciadas, pero con problemas significativos de obstrucción de drenajes y deficiente conducción de caudales, las propuestas de mitigación se centran en el mejoramiento hidráulico y mantenimiento. Se recomiendan la rehabilitación de drenajes principales con revestimientos duraderos, instalación de trampas de sedimentos y rejillas para

retener residuos sólidos, además de la construcción de estanques de retención e infiltración para disminuir caudales pico. Se complementan estas obras con el refuerzo de muros y canales secundarios, junto con programas trimestrales de limpieza y campañas de sensibilización comunitaria para cambiar prácticas de disposición de basura. Estas medidas integran soluciones técnicas con mantenimiento y educación para sostener a largo plazo la funcionalidad del sistema de drenaje.

#### b) Áreas de mayor medio (medio)

En el caso de las áreas de riesgo medio ubicadas mayormente en el área central de la microcuenca podemos analizar los mismos factores que se analizó previamente para el riesgo más alto. Por lo que podemos mencionar:

- Cobertura de suelo: En estas áreas predominan áreas boscosas o la misma superficie del río La Barranca, áreas las cuales a diferencia de las urbanizadas promueven a la infiltración del agua a los mantos freáticos evitando su acumulación en la superficie o simplemente incorporándose al cauce del río.
- Pendientes: En estas áreas a diferencia de las zonas de mayor riesgo se tienen pendientes mucho más pronunciadas por la naturaleza de área de ser una hondonada, estas grandes pendientes no retendrán el agua en un solo lugar sino la llevarán al río de por sí.

Aunque el riesgo sea menor en estas áreas se propuso igualmente medidas de mitigación a este riesgo latente en zonas de riesgo medio en la microcuenca del río La Barranca, a continuación, se muestran las propuestas.

#### Mitigación

Las propuestas de mitigación para las zonas de riesgo medio se centran en el fortalecimiento de la resiliencia natural a través de obras verdes. Se prioriza la implementación de zanjas de infiltración, cunetas vegetadas y la reforestación de laderas para mejorar la infiltración del agua, reducir la escorrentía superficial y estabilizar el suelo. Estas intervenciones no solo mitigan el riesgo de inundaciones, sino que también aportan beneficios ecológicos como la reducción de temperatura y mejora de la calidad del aire.

Adicionalmente, se proponen obras menores de retención como gaviones y terrazas de infiltración, que disminuyen la velocidad del flujo pluvial y mitigan la erosión en sectores con pendientes moderadas. Estas obras fomentan la participación comunitaria en su construcción y mantenimiento, lo que contribuye a la apropiación local y reducción de costos.

Como medidas complementarias no estructurales se incluyen programas de educación ambiental y la formación de brigadas comunitarias de monitoreo para promover una cultura de prevención y cuidado del recurso hídrico. Finalmente, se recomienda la zonificación y control del uso del suelo para prevenir nuevas ocupaciones que puedan aumentar el riesgo futuro.

## VII. Conclusiones

- Se logró recopilar e integrar información geoespacial relevante de la microcuenca del río La Barranca, incorporando variables físicas y ambientales como pendiente, precipitación, cobertura del suelo, red de drenajes y modelo digital de elevación. La identificación de estos factores críticos permitió comprender la dinámica hidrológica de la microcuenca y evidenciar cómo la urbanización acelerada y la presencia del sitio de disposición final de la zona 3 incrementan la susceptibilidad al riesgo de inundaciones.
- La elaboración del mapa de riesgo a inundaciones permitió clasificar la microcuenca en cinco niveles de riesgo, destacándose una alta concentración de áreas con riesgo alto y medio. Los resultados demuestran una relación directa entre el sitio de disposición final de la zona 3 y el aumento de la vulnerabilidad, debido a la alteración del drenaje natural, la acumulación de residuos y la degradación ambiental, constituyéndose el mapa como una herramienta clave para la planificación territorial y la toma de decisiones.
- Las propuestas de mitigación formuladas responden de manera integral a los distintos niveles de riesgo identificados, combinando medidas estructurales y no estructurales orientadas a reducir la exposición, la vulnerabilidad y los impactos asociados a las inundaciones. Estas acciones, que incluyen reubicación de viviendas, estabilización de taludes, mejoras en el drenaje, infraestructura verde y educación ambiental, contribuyen a fortalecer la gestión del riesgo y la resiliencia de la microcuenca del río La Barranca.

## VIII. Recomendaciones

- Priorizar la ejecución inmediata de la reubicación de viviendas en áreas de riesgo muy alto junto con la estabilización de taludes para evitar pérdidas humanas y daños severos a la infraestructura.
- Implementar programas permanentes de rehabilitación, revestimiento y mantenimiento hidráulico de drenajes para mejorar la conducción del agua y evitar obstrucciones que aumenten el riesgo en zonas de alto riesgo. Complementar con trampas de sedimentos y rejillas para controlar residuos sólidos.
- Fomentar la aplicación de infraestructura verde en zonas de riesgo medio, promoviendo zanjas de infiltración, cunetas vegetadas, reforestación y pequeñas obras de retención con participación comunitaria, para fortalecer la absorción natural y disminuir la escorrentía.
- Desarrollar campañas continuas de educación ambiental, sensibilización y formación de brigadas comunitarias para promover una cultura de prevención, monitoreo y manejo responsable de residuos sólidos, optimizando así la funcionalidad del sistema de drenaje.
- Fortalecer el control y planificación del uso del suelo para evitar ocupaciones en zonas vulnerables y prevenir el incremento del riesgo a inundaciones, alineando las acciones con los planes municipales de ordenamiento territorial y gestión ambiental.
- Mejorar la coordinación interinstitucional entre Municipalidad, MARN, CONRED y operadores del sitio de disposición final para integrar las acciones de mitigación, mantenimiento y emergencia, garantizando una gestión integral y sostenible del riesgo en la microcuenca.
- Para futuros estudios similares al desarrollado en esta tesis, se recomienda ampliar el número de variables consideradas en la evaluación del riesgo a inundaciones, incorporando el análisis del tipo de suelo, su permeabilidad, compactación y capacidad de infiltración, así como la susceptibilidad a la licuefacción, especialmente en zonas con suelos saturados o aluviales. Asimismo, sería pertinente incluir factores como el nivel freático, la conductividad hidráulica, la

geomorfología fluvial, la capacidad hidráulica de los cauces, la sedimentación de drenajes y la variabilidad e intensidad de eventos de precipitación extrema asociada al cambio climático, con el fin de mejorar la precisión de los modelos y fortalecer la planificación y mitigación del riesgo por inundaciones.

- Implementar un sistema de monitoreo a largo plazo y actualización periódica del mapa de riesgo a inundaciones, mediante el uso continuo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección, incorporando información actualizada sobre cambios en el uso y cobertura del suelo, crecimiento urbano, modificaciones en la red de drenaje y comportamiento hidrológico de la microcuenca. Asimismo, es fundamental integrar registros históricos y en tiempo real de precipitación, caudales y eventos extremos, así como realizar validaciones de campo periódicas, con el fin de mantener el mapa de riesgo actualizado y garantizar su utilidad como instrumento de apoyo para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

## IX. Bibliografía

- Alcaldía de Medellín. (2020). Programa Cuencas Verdes: Restauración y manejo sostenible de microcuencas urbanas. Medellín, Colombia.
- Banco Mundial. (2020). Gestión de riesgos climáticos y urbanos en América Latina. Washington D.C.: World Bank Group.
- Bish, S. (2025, 12 febrero). Cómo prevenir las inundaciones urbanas: identifica las causas y actúa | K9 Rescate Protección Civil 2025. K9 Rescate Protección Civil. <https://k9rescate.com/inundaciones-urbanas/>
- Bruno, R., Follador, M., Paegelow, M., Renno, F., & Villa, N. (2009). Integrating Remote Sensing, GIS and Prediction Models to Monitor the Deforestation and Erosion in Petén Reserve, Guatemala. arXiv preprint arXiv:0904.0317.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). Gestión integrada de riesgos y adaptación al cambio climático en América Latina. Santiago de Chile: CEPAL.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2023). Importancia del manejo de basura para evitar inundaciones. Recuperado de <https://conred.gob.gt>
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2025a). Lluvias en Guatemala: CONRED reporta más de 10 mil afectados y 856 emergencias. República. Recuperado de <https://republica.com/actualidad/lluvias-en-guatemala-conred-reporta-mas-de-10-mil-afectados-y-856-emergencias-2025789420>
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2025b). Sistema Conred mantiene atención a incidentes ocasionados por lluvias. Recuperado de <https://conred.gob.gt/sistema-conred-mantiene-atencion-a-incidentes-ocasionados-por-lluvias/>
- Cuencas Hidrográficas en el Arrecife Centroamericano. (s. f.). WWF. <https://www.wwfca.org/cuencas>

- Cucurucho en Guatemala. (2024, 19 de noviembre). Barrio El Gallito de fiesta: la consagración de sus amados 2024. Recuperado de <https://cucuruchoenguatemala.com/barrio-el-gallito-de-fiesta>
- Diario de Centro América. (2024). MARN elimina 201 basureros ilegales. Recuperado de <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/marn-elimina-201-basureros-ilegales/>
- Domínguez, F. (2020, septiembre). LOS RELLENOS SANITARIOS, AUNQUE NO NOS GUSTEN SON NECESARIOS. Secretaría de Medio Ambiente. [https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2022/07/Bordeando\\_73.pdf](https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2022/07/Bordeando_73.pdf)
- Dreamstime. (s. f.). Erosión en el suelo y las laderas causada por la lluvia [Imagen]. Recuperado de <https://es.dreamstime.com/erosion-en-el-suelo-y-laderas-causada-por-la-lluvia-estructura-del-es-debil-hay-un-deslizamiento-de-tierra-se-han-adoptado-image199420774>
- Efe. (2022, 10 julio). Muerte y destrucción: lluvias en Guatemala afectan varias regiones y estas son las cifras. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/muerte-y-destruccion-lluvias-en-guatemala-afectan-varias-regiones-y-estas-son-las-cifras/>
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP). (2017). Publicado el manual de actividades económicas de 2017. Recuperado de <https://www.fempa.es/noticias/actualidad/economia/publicado-el-manual-de-actividades-economicas-de-2017>
- Flores, P. (2025, 13 junio). MuniGuate busca ampliar el basurero en vez de reubicarlo. Quorum. [https://quorum.gt/barrio/medioambiente/muniguate\\_ampliacion\\_basurero\\_zona\\_3](https://quorum.gt/barrio/medioambiente/muniguate_ampliacion_basurero_zona_3)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Guía técnica para la gestión integral de microcuencas. Roma: FAO.
- Funes, C. (2014). Propuesta formal para una planta de clasificación y disposición final de los desechos sólidos urbanos sólidos urbanos del área metropolitana de Guatemala [Tesis de Licenciatura, Universidad del ITSMO]. <https://glifos.unis.edu.gt/digital/tesis/2014/47786.pdf>

Gamboa, V. (2024, 1 julio). Captan en video una inundación en el Cementerio General. Soy502. <https://www.soy502.com/articulo/severas-inundaciones-cementerio-general-video-50>

Gonzales, K. (2 de Julio de 2021). Genially. Obtenido de Genially: <https://view.genially.com/60e325ec51f9eb0d69c5acfd/presentation-zonas-de-guatemala>

Google Earth. (2 de febrero de 2025). Google. Obtenido de Google earth: <https://earth.google.com/web/search/zona+3/>

Guzmán, G. (2019, 14 junio). Inundaciones urbanas en Ciudad de Guatemala. <https://es.linkedin.com/pulse/inundaciones-urbanas-en-ciudad-de-guatemala-gabriela-guzman>

iAgua, R. (2024, 23 mayo). ¿Qué es una inundación? iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion>

Instituto Holandés para la democracia Multipartidaria. (2024). Nimd. Obtenido de Nimd.

López, M., López, M., & López, M. (2025, 30 abril). Implementan Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial en Casillas, Santa Rosa. Agencia Guatemalteca de Noticias - AGN. <https://agn.gt/implementan-plan-de-desarrollo-municipal-y-ordenamiento-territorial-en-casillas-santa-rosa>

Lw. (2023, 2 febrero). Inundaciones tipos: ¿Cómo se clasifican las diferentes inundaciones? MARCA. <https://us.marca.com/actualidad/2023/02/02/63dbd0e646163fdc448b4589.html>

MAGA. (2000). MAGA.GOB.gt. Obtenido de MAGA: <https://www.maga.gob.gt/download/clasificcion-suelo.pdf>

Martínez, E., Martínez, E., & Martínez, E. (2024, 21 julio). CONRED registra 11 nuevos incidentes provocados por las lluvias en Guatemala. Agencia Guatemalteca de Noticias - AGN. <https://agn.gt/conred-registra-11-nuevos-incidentes-provocados-por-las-lluvias-en-guatemala/>

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN. (2023). El cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 164-2021 reducirá los desechos sólidos que llegan a las fuentes hídricas. Recuperado de <https://guatemala.gob.gt>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN. (2023b). MARN impulsa gestión integral de los desechos y la protección hídrica en Quetzaltenango. Recuperado de <https://guatemala.gob.gt>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN. (2024). Análisis multicriterio de riesgos ambientales en el municipio de Matazano, Guatemala. Guatemala: MARN.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN. (2024). Metodología para el análisis multicriterio de riesgo de inundaciones a nivel municipal. Guatemala: MARN.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN. (2024b). Mapa de riesgos y vulnerabilidad ambiental en zonas urbanas. Guatemala: MARN.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2023). MARN establece ruta de trabajo para mitigar los efectos del cambio climático. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2024). Mapa de riesgos. Ciudad de Guatemala: MARN. Recuperado de [https://www.marn.gob.gt/wpfd\\_file/mapa-de-riesgos/](https://www.marn.gob.gt/wpfd_file/mapa-de-riesgos/)
- Nataliacsarmiento, & Nataliacsarmiento. (2024, 21 junio). Lluvias en Guatemala dejan al menos diez muertos e inundaciones. EFE Noticias. <https://efe.com/mundo/2024-06-22/las-fuertes-lluvias-en-guatemala>
- Ogaldes, M. o. D. (2024, 22 agosto). Episodio 2: Aquí hubo un río. Agencia Ocote. <https://www.agenciaocote.com/blog/2024/08/20/episodio-2-aqui-hubo-un-rio>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2018). Gestión integral de residuos sólidos urbanos y salud pública. Washington D.C.: OPS.

- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). ¿Qué es cuenca hidrológica? Cartilla técnica (1.ª ed.). Sociedad Geográfica de Lima / Foro Peruano para el Agua – GWP Perú. <https://www.gwp.org/>
- Paliaga, G., Faccini, F., Luino, F., & Turconi, L. (2019). A spatial multicriteria prioritizing approach for geo-hydrological risk mitigation planning in small and densely urbanized basins. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(1), 53–70.
- Quiñónez, E. (s. f.). Inundaciones en Guatemala. República.gt. <https://epublica.gt/vive-guatemala/>
- Salazar-Briones, C., Ruiz-Gibert, J. M., Lomelí-Banda, M. A., & Mungaray-Moctezuma, A. (2020). An Integrated Urban Flood Vulnerability Index for Sustainable Planning in Arid Zones of Developing Countries. *Water*, 12(2), 608.
- Sánchez, J. (2024, 30 octubre). Inundaciones: qué son, causas y consecuencias. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/>
- SingularGreen, & SingularGreen. (2024, 9 agosto). Prevención de inundaciones, por qué y cómo las cubiertas vegetales ayudan. SingularGreen. <https://www.singulargreen.com/prevencion-inundaciones>
- Tarazona Pérez, M. A., Corzo Leal, L. M., Mantilla Quintero, T. P., & Parra Pérez, E. (2024). Análisis multicriterio para la evaluación del riesgo de inundación en el municipio de Tibú, Norte de Santander, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- Tito, B. (2021, 18 julio). Que Es lixiviados de un sitio de deposición final o vertederos. *Ingeniería Ambiental*. <https://ingenieriaambiental.net/que-es-lixiviados>
- Understanding Global Weather Perils: Flood Risk | Descartes Underwriting. (2024). Descartes Underwriting. <https://descartesunderwriting.com/>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030. Ginebra: Naciones Unidas.

Vise, C. (s. f.). ¿Qué es un sitio de deposición final y cómo funciona? <https://blog.vise.com.mx/que-es-un-relleno-sanitario-y-como-funciona>

Weatherspark. (mayo de 2025). weather spark. <https://weathspark.com/>

WordPress.com VIP. (2015, 21 diciembre). La pobreza está más cerca de lo que creemos: El basurero de la zona 3 - La Hora. La Hora. <https://lahora.gt/>

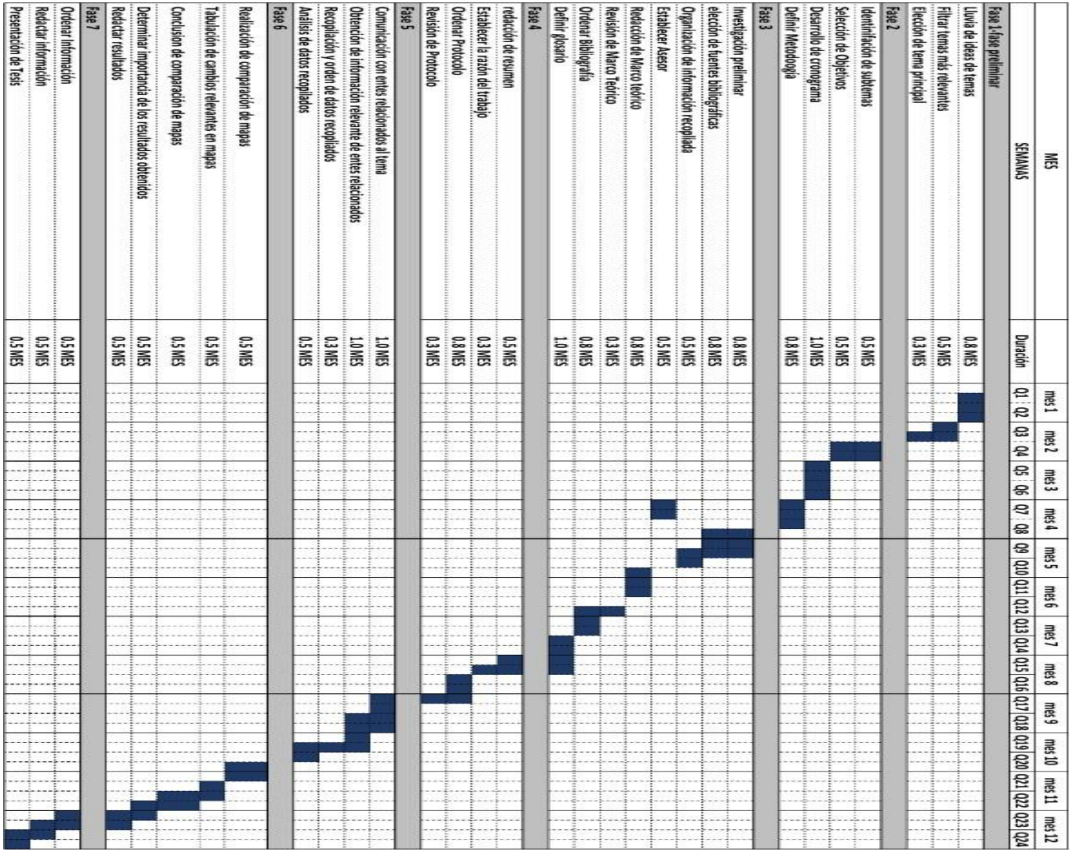
World Bank. (2020). Climate Risk and Urban Resilience in Latin America. Washington D.C.: World Bank Group.

Zhou, Q., Su, J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2021). A GIS-Based Hydrological Modeling Approach for Rapid Urban Flood Hazard Assessment. *Water*, 13(11), 1483.

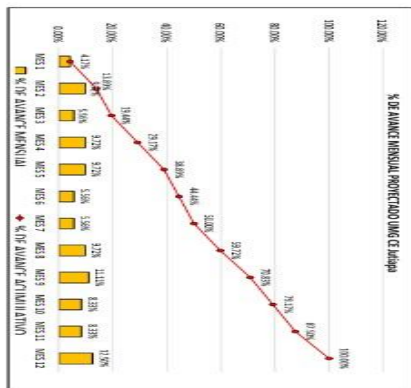
# X. Anexo

## Anexo 1

### Cronograma de trabajo



% DE AVANCE MENSUAL			
MES	CANTIDAD	% DE AVANCE MENSUAL	% DE AVANCE ACUMULADO
MES 1	3	4.1%	4.1%
MES 2	7	9.1%	13.6%
MES 3	4	5.5%	19.4%
MES 4	7	9.1%	29.1%
MES 5	7	9.1%	38.9%
MES 6	4	5.5%	44.6%
MES 7	4	5.5%	50.0%
MES 8	7	9.1%	59.7%
MES 9	8	11.1%	70.8%
MES 10	6	8.3%	79.1%
MES 11	6	8.3%	87.5%
MES 12	9	12.5%	100.0%



Notas. En el anexo se muestra el cronograma de trabajo a seguir para la realización del actual trabajo de graduación.