

## Evaluación del riesgo de inundación con la aplicación de un modelo multicriterio en el municipio de Popayán, Colombia

Autores

Diosisteo Machado Barrera [dmachadoba@unadvirtual.edu.co](mailto:dmachadoba@unadvirtual.edu.co)

Edison Camacho Hernández [ecamachoher@unadvirtual.edu.co](mailto:ecamachoher@unadvirtual.edu.co)

María Paula Suescun Serpa [mpsuescuns@unadvirtual.com](mailto:mpsuescuns@unadvirtual.com)

Director: Yetfersson Arley Serrato Velosa [yetfersson.serrato@unad.edu.co](mailto:yetfersson.serrato@unad.edu.co)

### Resumen

El riesgo de inundación es un desafío crítico en Popayán, una ciudad con características topográficas complejas y ríos importantes como el Molino y el Cauca. Este fenómeno se ha intensificado debido a la urbanización descontrolada y al cambio climático, lo que aumenta la frecuencia y severidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, con el objetivo de evaluar de manera detallada su vulnerabilidad ante este tipo de eventos. Para llevar a cabo esta evaluación, se implementó un modelo multicriterio utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permite integrar múltiples factores que influyen en el riesgo de inundación, como la topografía, el uso del suelo, la precipitación y la capacidad de drenaje. Los resultados obtenidos a través del modelo evidencian una heterogeneidad significativa en la distribución del riesgo de inundación a lo largo del municipio de Popayán. Se identificaron áreas de muy alto riesgo, las cuales, a pesar de representar un porcentaje relativamente pequeño del territorio, concentran una alta vulnerabilidad. Por otro lado, una gran proporción del municipio se encuentra clasificada como de riesgo medio, lo que indica una susceptibilidad considerable a inundaciones.

*Palabras claves:* Análisis multicriterio, cuenca, índice de susceptibilidad.

### Introducción

El riesgo de inundación es un desafío crítico en Popayán, una ciudad con características topográficas complejas y ríos importantes como el Molino y el Cauca. Este fenómeno se ha intensificado debido a la urbanización descontrolada y al cambio climático, lo que

aumenta la frecuencia y severidad de los eventos hidrometeorológicos extremos. Estudios recientes en la región han destacado la utilidad de metodologías multicriterio integradas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar estas amenazas, ofreciendo una perspectiva más precisa y

eficiente para la planificación territorial y la gestión de riesgos (Guzman,2024).

La metodología multicriterio permite ponderar variables como la topografía, el uso del suelo, las condiciones hidrológicas y la capacidad de drenaje, mientras que los SIG facilitan la creación de mapas de riesgo que visualizan las áreas más vulnerables (Cárdenas, 2018.). Esta combinación de técnicas ha demostrado ser especialmente útil en Colombia, donde la normativa ambiental exige el uso de herramientas avanzadas para evaluar y mitigar riesgos en proyectos territoriales y urbanos. Por ejemplo, en Popayán, se han desarrollado estudios específicos sobre la vulnerabilidad en sectores como el barrio Junín Bajo, empleando SIG para identificar zonas críticas y proponer soluciones adaptativas como la reubicación de comunidades o la construcción de infraestructuras protectoras.

La integración de SIG y metodologías multicriterio no solo permite una evaluación técnica detallada, sino que también fomenta la participación de las comunidades y el fortalecimiento de la gobernanza local en torno al manejo de riesgos.

## Objetivos

### General

Evaluar la susceptibilidad a inundaciones en el municipio Popayán mediante la aplicación de un análisis multicriterio en el Municipio de Popayán.

### Específico

1) Procesar los factores condicionantes de inundaciones con los factores físicos y ambientales que influyen en la ocurrencia de inundaciones en el municipio.

2) Desarrollar un modelo multicriterio en un SIG, asignando pesos a cada factor de acuerdo a su importancia relativa en la generación de inundaciones.

3) Definir las clases de susceptibilidad y cuantificar las áreas de cada categoría para facilitar la interpretación y la toma de decisiones.

## Identificación del caso de estudio

Características del Municipio de Popayán, capital del departamento del Cauca en Colombia, presenta una serie de características geográficas, socioeconómicas y ambientales que la hacen un caso de estudio relevante para evaluar el riesgo de inundación.

Ubicación geográfica y topografía: Ubicación: Se encuentra en el Valle del Cauca, a una altitud promedio de 1780 metros sobre el nivel del mar.

Topografía: Presenta una topografía accidentada con pendientes variables, lo que influye en la dinámica de las aguas superficiales y la susceptibilidad a inundaciones.

Hidrografía: La ciudad está atravesada por varios ríos y quebradas, que son los principales agentes geomorfológicos y, a su vez, los principales riesgos en eventos extremos (IDEAM,2020).

Clima:

Tipo de clima: Popayán presenta un clima templado, con una marcada estación seca y otra lluviosa (IDEAM, 2020).

Precipitación: El mes de mayor precipitación suele ser octubre, aunque esto puede variar ligeramente de un año a otro. Es fundamental consultar datos climáticos actualizados del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para obtener

información precisa sobre las tendencias de precipitación en la zona (IDEAM,2020).

**Temperatura:** Las temperaturas son relativamente estables a lo largo del año, con valores promedio que oscilan entre los 15°C y 20°C. (IDEAM, 2020).

**Vulnerabilidad socioeconómica:**

**Asentamientos humanos:** La expansión urbana ha llevado a la ocupación de zonas de riesgo, como llanuras aluviales y taludes inestables, aumentando la vulnerabilidad de la población ante eventos extremos como inundaciones.

**Infraestructura:** La infraestructura de la ciudad, especialmente en zonas periféricas, puede ser deficiente, lo que limita la capacidad de respuesta ante emergencias.

## Metodología

El análisis multicriterio, también conocido como evaluación multicriterio o toma de decisiones multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés), es una metodología que permite evaluar y priorizar diferentes alternativas en contextos donde intervienen múltiples criterios, a menudo conflictivos.

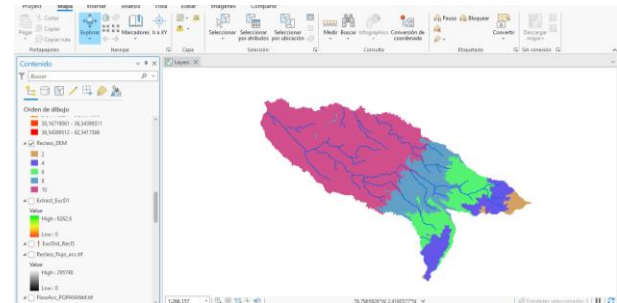
Esta metodología es crucial en la ordenación del territorio, la administración de recursos naturales y el proceso de decisiones públicas, pues combina aspectos técnicos, sociales y ambientales para proporcionar soluciones equilibradas (Vásquez & Jibaja 2020). En Colombia, su uso ha sido fundamental en la valoración de riesgos ambientales y de proyectos de infraestructura.

Etapas de la Metodología

**Recopilación y Preparación de Datos:**

**Modelo Digital de Elevación (MDE):** Adquirir un MDE con la resolución espacial adecuada para el área de estudio. Asegurar que la unidad de medida de la elevación sea consistente.

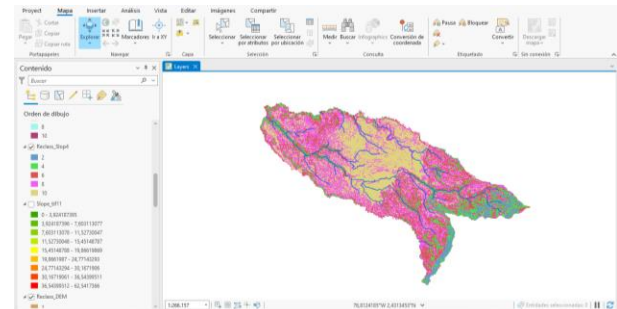
**Figura 1. Ráster MDE**



Fuente. Autoría propia 2024.

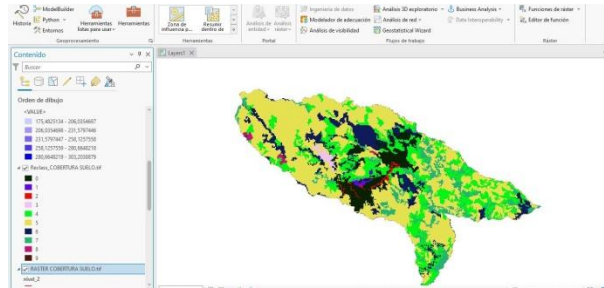
**Pendiente:** Derivar un mapa de pendientes a partir del MDE utilizando las herramientas de análisis espacial del SIG.

**Figura 2. Ráster pendiente**



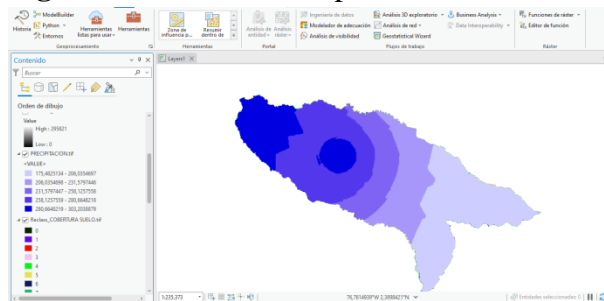
Fuente. Autoría propia 2024.

**Cobertura del suelo:** Obtener una clasificación de la cobertura del suelo para el área de estudio (Land Cover 2018). Reclasificar las clases de cobertura en función de su influencia en la escorrentía y la infiltración.

**Figura 3.** Ráster nivel 2 Cobertura del Suelo

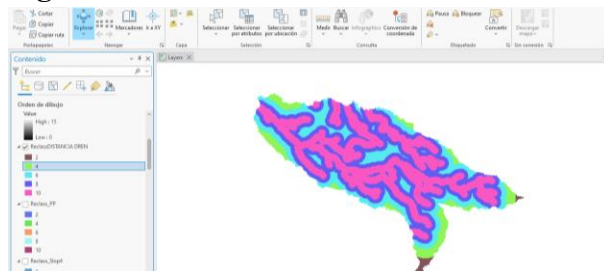
Fuente. Autoría propia 2024.

Datos de precipitación: Adquirir datos de precipitación en formato ráster con una resolución espacial y temporal compatible con los demás datos.

**Figura 4.** Ráster de Precipitación

Fuente. Autoría propia 2024.

Distancia a drenajes: Crear un mapa de distancia a la red de drenaje utilizando las herramientas de análisis de distancia del SIG.

**Figura 5.** Distancia euclidiana

Fuente. Autoría propia 2024.

Rasterización y Reclasificación:

Conversión a ráster: Asegurarse de que todos los datos estén en formato ráster con la misma resolución espacial y sistema de coordenadas.

Reclasificación: Asignar valores de 10 a 2 a cada celda de los rústers, según la escala de riesgo definida (10: muy alto, 8: alto, 6: medio, 4: bajo, 2: muy bajo). La reclasificación debe basarse en la importancia relativa de cada valor dentro de cada factor.

Asignación de Pesos:

Definición de pesos: Asignar los siguientes pesos a cada factor:

MDE: 10%

Pendiente: 15%

Cobertura del suelo: 10%

Precipitación: 35%

Distancia a drenajes: 30%

Justificación: La ponderación de cada factor debe estar basada en estudios previos, conocimiento experto y la importancia relativa de cada factor en el contexto del área de estudio.

Álgebra de Mapas:

Cálculo del índice de susceptibilidad: Utilizar la herramienta de álgebra de mapas para multiplicar cada ráster reclasificado por su peso correspondiente y luego sumar los resultados. La ecuación sería:

$$\text{Índice de susceptibilidad} = (\text{MDE}0.1) + (\text{Pendiente}0.15) + (\text{Cobertura}0.1) + (\text{Precipitación}0.35) + (\text{Distancia}0.3)$$

Normalización: Normalizar los valores del índice de susceptibilidad para que estén entre 0 y 1.

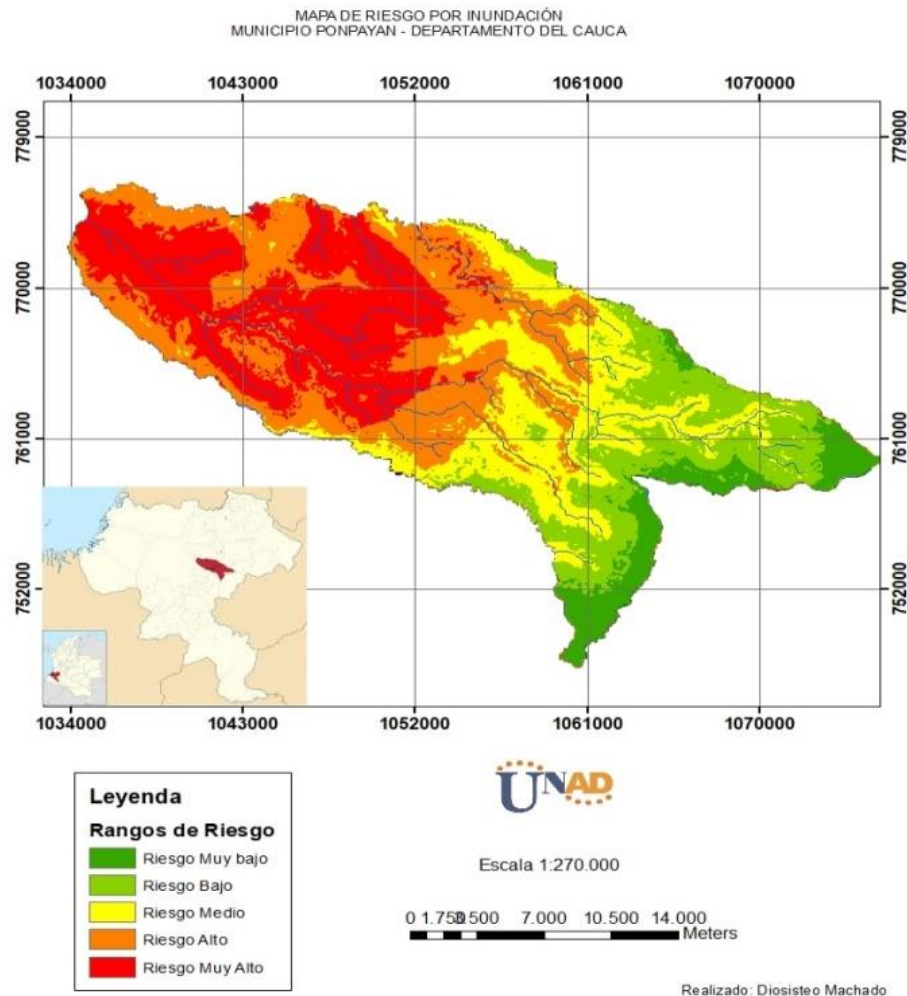
Generación del Mapa de Inundación:

Clasificación: Clasificar los valores del índice de susceptibilidad en categorías de riesgo (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)

utilizando los rangos de valores obtenidos en la normalización.

Visualización: Crear un mapa temático que represente las diferentes categorías de riesgo.

**Figura 6.** Mapa final de riesgo de inundaciones



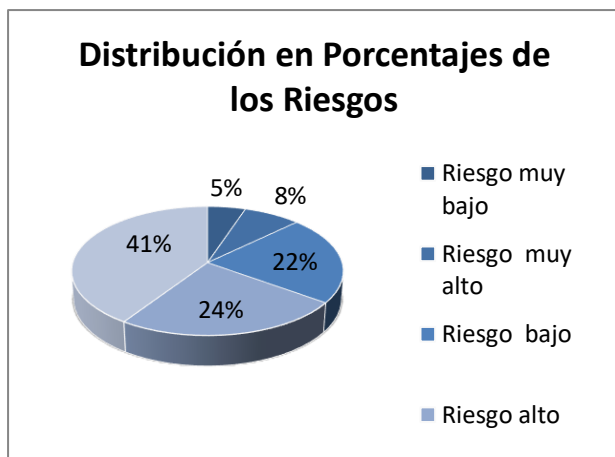
Fuente. Autoría propia 2024.

## Resultados

Basándonos en los datos proporcionados, podemos observar una clara heterogeneidad en la distribución del riesgo de inundación a nivel municipal. Las áreas clasificadas como de **muy alto riesgo** representan un porcentaje relativamente pequeño (7.6%) del territorio, pero su concentración indica la presencia de zonas altamente vulnerables. Por otro lado, las

áreas de **riesgo medio** representan la mayor proporción del territorio (40.676%), lo que sugiere que una gran parte del municipio se encuentra en una situación de riesgo moderado.

**Figura 7.** Muestra la distribución en porcentaje de los riesgos por inundación



Fuente. Autoría propia 2024.

**Áreas Críticas:**

- **Zonas de muy alto riesgo:** Estas áreas son las de mayor prioridad para la intervención. Suelen coincidir con zonas bajas, cercanas a cursos de agua, con suelos poco permeables o con una historia de inundaciones recurrentes. Es fundamental implementar medidas de protección y prevención en estas zonas.
- **Zonas de alto riesgo:** Aunque no tan críticas como las anteriores, estas áreas también requieren una atención especial. Pueden albergar infraestructuras importantes, asentamientos humanos o ecosistemas sensibles.

**Tabla 1.** Clasificación de riesgos

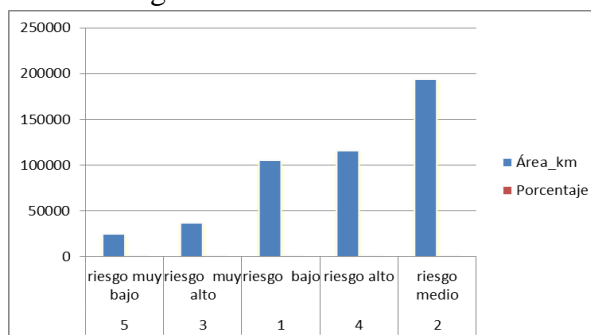
Nº	RIESGO	Área_km	Porcentaje (%)	Categorías
1	Riesgo muy alto	36530,33	7,685	
2	Riesgo alto	115708,67	24,343	
3	Riesgo medio	193344,871	40,676	
4	Riesgo bajo	105456,1	22,186	
5	Riesgo muy bajo	24284,73	5,109	

Esta tabla muestra la clasificación cualitativa y cuantitativa de los riesgos del municipio Popayán.

**Impacto Potencial en Diferentes Sectores**

- **Comunidades:** Las áreas de alto y muy alto riesgo suelen albergar asentamientos humanos vulnerables. Las inundaciones en estas zonas pueden provocar desplazamientos, pérdidas de viviendas, daños a la salud y problemas psicosociales.
- **Infraestructuras:** Carreteras, puentes, sistemas de alcantarillado y otras infraestructuras vitales pueden resultar dañadas o destruidas por las inundaciones, interrumpiendo los servicios esenciales y generando costos elevados de reconstrucción.
- **Sistemas Agropecuarios:** Las zonas agrícolas ubicadas en áreas de riesgo pueden sufrir pérdidas de cultivos, erosión de suelos y contaminación de fuentes de agua, afectando la seguridad alimentaria y los ingresos de los agricultores.
- **Ecosistemas:** Las inundaciones pueden alterar los ecosistemas acuáticos y ribereños, afectando la biodiversidad, la calidad del agua y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan.

**Figura 8.** Grafica de distribución de riesgos en km.



Fuente. Autoría propia 2024.

## Conclusiones

El análisis detallado de la distribución espacial del riesgo de inundación en el municipio Popayán ha permitido identificar áreas críticas y comprender las implicaciones de este fenómeno en diferentes sectores. Los resultados obtenidos sugieren que una proporción significativa del territorio municipal se encuentra expuesta a un riesgo moderado o alto de inundaciones.

Las áreas clasificadas como de muy alto riesgo representan una amenaza significativa para las comunidades, infraestructuras y ecosistemas. Es fundamental implementar medidas de gestión del riesgo para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de estos territorios.

## Recomendaciones

Zonificación detallada de áreas de riesgo

Implementar estudios de microzonificación para identificar las áreas más vulnerables. Este análisis debe considerar variables como la geomorfología, los patrones históricos de inundación, el uso del suelo y la geología local, con el apoyo de herramientas SIG para representar espacialmente estas vulnerabilidades (DPN,s.f).

Incorporación de soluciones basadas en la naturaleza.

Promover la restauración de ecosistemas ribereños y la implementación de barreras naturales como zonas de amortiguación y corredores verdes. Estas medidas no solo reducen el riesgo de inundaciones, sino que también mejoran la biodiversidad. (IDEAM, 2015).

Fortalecimiento de la infraestructura urbana

Reforzar la infraestructura hidráulica en zonas críticas, como canales y sistemas de drenaje, para manejar caudales excesivos durante lluvias extremas. Además, planificar el desarrollo urbano evitando la construcción en áreas de alta susceptibilidad (Triana,2024).

Monitoreo y alerta temprana

Establecer sistemas de monitoreo hidrometeorológico en tiempo real con sensores y estaciones en puntos estratégicos. Estos sistemas deben integrarse con plataformas SIG para generar mapas dinámicos de riesgo que permitan tomar decisiones informadas en emergencias (UNGRD, 2017).

Participación comunitaria y educación

Involucrar a las comunidades locales en la gestión del riesgo mediante talleres y campañas de educación ambiental. Es clave que los habitantes comprendan los riesgos y colaboren en la implementación de estrategias adaptativas (UNGRD, 2017).

Articulación institucional

Promover la cooperación entre autoridades locales, regionales y nacionales para coordinar estrategias de mitigación y respuesta ante inundaciones, alineándose con las normativas colombianas en gestión del riesgo, como las de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2017).

## Referencias bibliográficas

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad,

4(1). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335841>

Departamento Nacional de Planificación (DNP). (s.f). Metodología para la evaluación de riesgos naturales. [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Gestion-Riesgo-Desastres/Metodologia-para-evaluar-los-riesgos/Metodologia%20para%20Evaluar%20Riesgos%20\(1\).pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Gestion-Riesgo-Desastres/Metodologia-para-evaluar-los-riesgos/Metodologia%20para%20Evaluar%20Riesgos%20(1).pdf)

Guzmán D, W. (2024). Uso de herramientas SIG para la evaluación del riesgo de inundación por desbordamiento del río Molino, en el barrio Junín Bajo, municipio de Popayán. Repositorio de Obras Digitales. <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/s/repositorio/item/14645>

IDEAM. (2020). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://archivo.ideam.gov.co/> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Resolución 2182 de 2016. Lineamientos para la gestión del riesgo de desastres en proyectos licenciados. <https://www.minambiente.gov.co>

Molina, J. C. (2014). Ordenamiento territorial y gestión del riesgo de desastres: una mirada desde América Latina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(1), 115-132. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/regcoven/issue/view/1170>

Triana Márquez, M. J. (2024). Desarrollo de propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para la mitigación de inundaciones de la cuenca alta de la quebrada El Hospital, Cali, Valle del Cauca. Universidad El

Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/eff788d1-ca5a-4dd6-9e97-9466f41c062b>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2017). Estrategias para la gestión de riesgos en municipios vulnerables a inundaciones. Bogotá, Colombia. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Plan-Nacional-de-Gestion-del-Riesgo.aspx>

Vásconez Urbano, H. D., & Jibaja Urbano, Á. H. (2020). Análisis multicriterio dentro de un SIG para la identificación de zonas susceptibles a deslizamientos, en la parroquia San José del Tambo, cantón Chillanes, provincia Bolívar. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/56325/jdchaucanest.pdf?sequence=1>

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/ePTld0zANTo?feature=shared>