

## **Análisis de Riesgo de Inundación para en el municipio de PAZ DE RIO ubicado en el Departamento de BOYACÁ.**

Angela Patricia Castillo Cruz [apcastilloc@unadvirtual.edu.co](mailto:apcastilloc@unadvirtual.edu.co)

Juan Diego Arguello Suarez [jdarguellos@unadvirtual.edu.co](mailto:jdarguellos@unadvirtual.edu.co)

**Asesor:** Luis Alejandro Ospina Sanchez [luisa.ospina@unad.edu.co](mailto:luisa.ospina@unad.edu.co)

### **Resumen**

Se realizó un análisis de riesgo de inundación en el municipio de Paz de Río, ubicado en el departamento de Boyacá, mediante un análisis de multicriterio desarrollada con el software ArcGIS Pro. Este análisis se basó en datos estadísticos complementados con imágenes satelitales, lo que permitió evaluar de manera precisa los riesgos en la zona y apoyar la toma de decisiones.

*Palabras claves:* Inundación, análisis de Riesgo, modelo digital de elevación (MED), análisis multicriterio.

### **Introducción**

Las inundaciones son fenómenos naturales que suelen ocurrir durante épocas de alta recepción, cuando las fuentes de agua, como ríos y quebradas, se desbordan, lo que provoca desastres y genera riesgos para las comunidades cercanas.

A nivel nacional e internacional, se ha avanzado significativamente en el desarrollo de estrategias para prevenir o mitigar los peligros y riesgos asociados con estos fenómenos naturales, así como los efectos derivados del calentamiento global, que a raíz de este fenómeno ha intensificado la recurrencia de desastres en períodos más cortos, lo que exige una respuesta más rápida y eficiente. En este contexto, los entes gubernamentales han fortalecido sus estudios e investigaciones para mejorar la forma de responder ante las diferentes eventualidades derivadas de la ocurrencia de desastres. Una de las entidades encargadas de la atención y prevención de desastres es la Unidad Nacional para la Gestión

del Riesgo de Desastres (UNGRD), creada en 2011 mediante el Decreto 4147 y bajo la Ley 1444, adscrita a la Presidencia de la República. Siendo la entidad encargada de coordinar la gestión del riesgo de desastres en Colombia, cuyo objetivo principal es liderar la gestión del riesgo y promover acciones preventivas para enfrentar los desastres naturales de manera efectiva.

A nivel nacional en los últimos años se observado que los fenómenos de inundaciones se han presentado con mayor frecuencia. Esto debido a la presencia de fenómenos como el de la “niña”, lo que ha desatado un elevado numero de emergencias y personas afectadas o damnificadas, además de incidir en grandes extensiones de terreno. Siendo este ultimo elemento uno de los factores más difíciles de analizar. Por lo tanto, la aplicación de sistemas de información geográfica y los análisis de multicriterio proporcionan una herramienta muy valiosa para el estudio y prevención ante las inundaciones.

Para el estudio del municipio de Paz del Río – Boyacá, se realizó la aplicación Modelos digitales de elevación y del software Argis Pro, además mediante la aplicación del análisis multicriterio como método para establecer los niveles de riesgo de inundación en este municipio.

### **Objetivos**

General:

Realizar un análisis multicriterio del riesgo de inundación para el municipio de Paz de Río (Boyacá) utilizando el software Argis Pro.

Específicos.

- Realizar un análisis de las zonas con alto riesgo de inundación para el municipio de Paz de Río – Boyacá.
- Analizar los factores de riesgo en paz de río que contribuyen a las inundaciones.
- Determinar los porcentajes de riesgo de inundación para el municipio de Paz de Río.

### **Identificación del caso de estudio**

Paz de Río es un municipio minero ubicado en el norte del departamento de Boyacá, con una extensión de 117 km<sup>2</sup>, se encuentra a una altitud de 2200 msnm., y posee una temperatura de 16.5 °C en promedio. Según la gobernación de Boyacá (2019) 38.7 Km<sup>2</sup> de la extensión territorial pertenecen al área urbana y 78.3 Km<sup>2</sup> a la zona rural. La región es atravesada por los ríos Chicamocha y Soapaga, los cuales son fundamentales para la dinámica hídrica local. Paz de Río limita al norte con el municipio de Sativasur, al sur con Tasco y Betéitiva, al oriente con Sativasur y Tasco y al occidente con los municipios de Belén y Tutazá. Sus habitantes se dedican principalmente a la agricultura, ganadería y

actividades artesanales; Sin embargo, la minería es la principal fuente económica, siendo la Empresa Siderúrgica Nacional de Paz de Río, fundada en 1948, uno de los pilares de la economía local. Esta empresa es una de las más grandes de Colombia.

El municipio presenta una complejidad geológica y topográfica debido a la presencia de colinas y montañas, lo que la hace susceptible a deslizamiento de tierra y caída de rocas, fenómenos causados por el uso intensivo del suelo. Un ejemplo de esta vulnerabilidad ocurrió en abril de 2012, cuando los ríos Chicamocha y Soapaga se desbordaron, provocando el colapso de la carretera y la destrucción de varias viviendas cercanas. Este evento también resultó en el desalojo de numerosas familias por el riesgo de deslizamientos de tierra, y provocó la caída del puente que conecta a Paz de Río con otras veredas, afectando gravemente la comunicación.

En octubre de 2011 se presentaron deslizamiento, inundación y flujo de lodos lo que obligo a evacuar a 108 familias según lo reporto la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2011)

En el municipio además de los ríos principales nombrado anteriormente, se presentan algunas otras unidades hídricas que suman sus vertientes a la oferta hidrológica del municipio (Alcaldía de Paz de Río, 2024), estas, junto a su extensión, porcentaje y veredas relacionadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Unidades Hídricas en el Municipio de Paz de Rio

Unidad hidrográfica	Área ha	Porcentaje	Veredas
Río Soapága	2.948,73	24,08%	Carichana, Chitagoto, Colacote, Salitre, Sibaria, Soapaga y Socotacito
Quebrada Chucuzá	628,10	5,13%	Carichana y Colacote
Quebrada Colacote	652,33	5,33%	Carichana y Colacote
Quebrada Chincaila	782,73	6,39%	Carichana, Colacote y Soapaga
Quebrada Rincón Grande	2.543,27	20,77%	Chorrera, Piedra gorda, Socotacito y Tiza
Quebrada Colorada	3.060,40	25,00%	Chitagoto, Chorrera, Piedra gorda, Sibaria, Soapaga, Socotacito y Tiza
Zanjon la Chivatera	838,58	6,85%	Chitagoto, Salitre y Sibaria
Río Güina o Río Pargua	789,66	6,45%	Socotacito

Fuente: Alcaldía de Paz de Rio, 2024 (Plan de ordenamiento territorial).

## Metodología

### 1. Materiales y Métodos

#### a. Modelo digital de elevación (MED)

Según Felicísimo (1994, citado por Burgos, 2014) es un modelo simbólico, de estructura numérica y digital que pretende presentar la elevación de un terreno con una distribución bidimensional. Para el presente estudio se tuvo en cuenta el uso de MED tipo ráster.

#### b. Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio según Mendoza & Martins (2006, citado por Cano, 2011) La evaluación o análisis multicriterio es un término general para describir un conjunto de enfoques formales que buscan tener en cuenta criterios múltiples para ayudar a individuos o grupos a explorar las decisiones de importancia.

En cuanto al uso del análisis multicriterio Roche (1998, citado por Espejel, 2015) indica que este se utiliza principalmente para analizar problemas, sistemas o casos con múltiples objetivos y con información cuantitativa y cualitativa. Permitiendo de esta manera poder optar por decisiones adecuadas para los objetivos propuestos por una entidad o por investigadores.

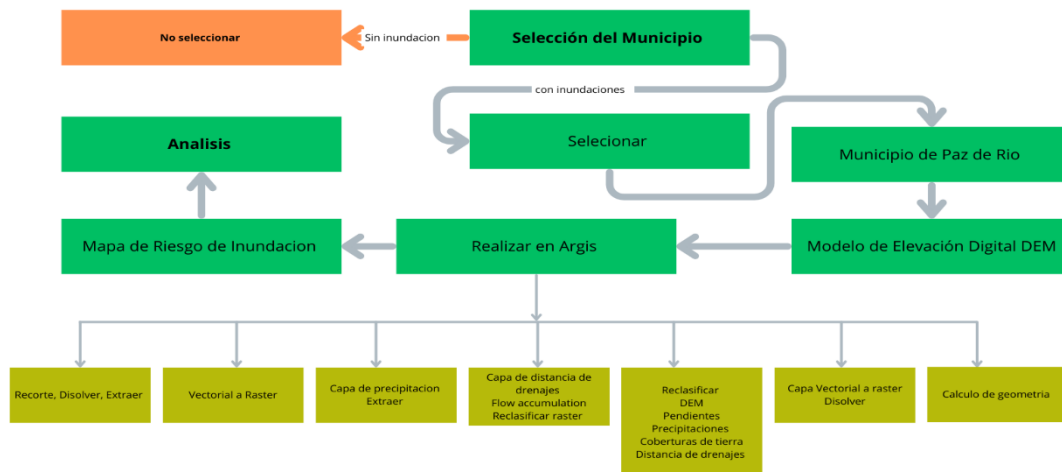
La metodología de análisis multicriterio presenta la posibilidad de generar niveles de jerarquización que pueden ir distribuidos en la escala 1-5, donde se asigna una valoración cualitativa a cada nivel pudiéndose combinar con colores que enfatizen su representación en mapas o tablas. Por consiguiente, en este análisis se asignó la ponderación de riesgo Muy alto (Rojo), riesgo alto (Naranja), riesgo medio (Amarillo), riesgo bajo (Verde oscuro) y riesgo muy bajo (Verde claro) como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación cualitativa y cuantitativa de riesgo y simbología

Clasificación cualitativa	Valoración	Simbología
Riesgo muy alto	5	
Riesgo Alto	4	
Riesgo Medio	3	
Riesgo Bajo	2	
Riesgo Muy Bajo	1	

Fuente: Universidad nacional Abierta y a distancia UNAD.

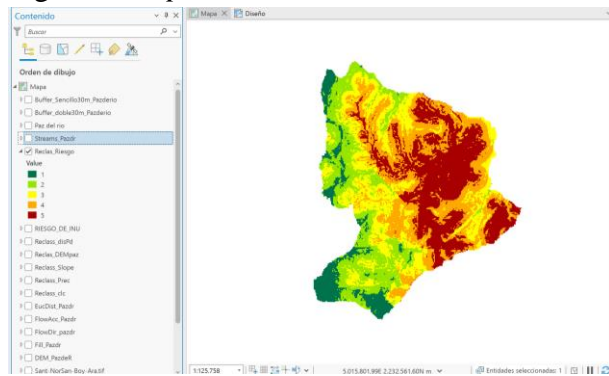
Figura 1. Diagrama de flujo metodológico



Fuente: Autoría Propia

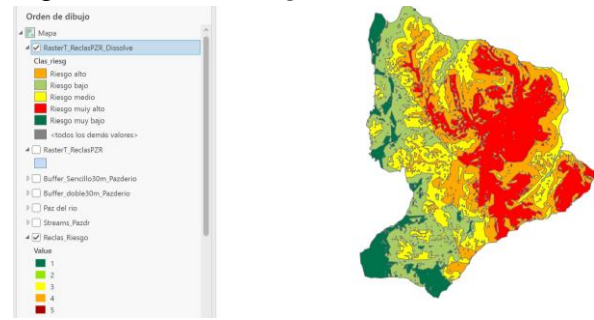
Luego de la aplicación de los procesos respectivos al análisis mediante el software Argis se pudo obtener el mapa de Riesgo de inundación para el municipio de Paz de Rio. A continuación de muestran algunas de las imágenes resultantes:

Figura 2. *Capa ráster*



Fuente: Autoría Propia

Figura 3. *Cálculo de geometría*



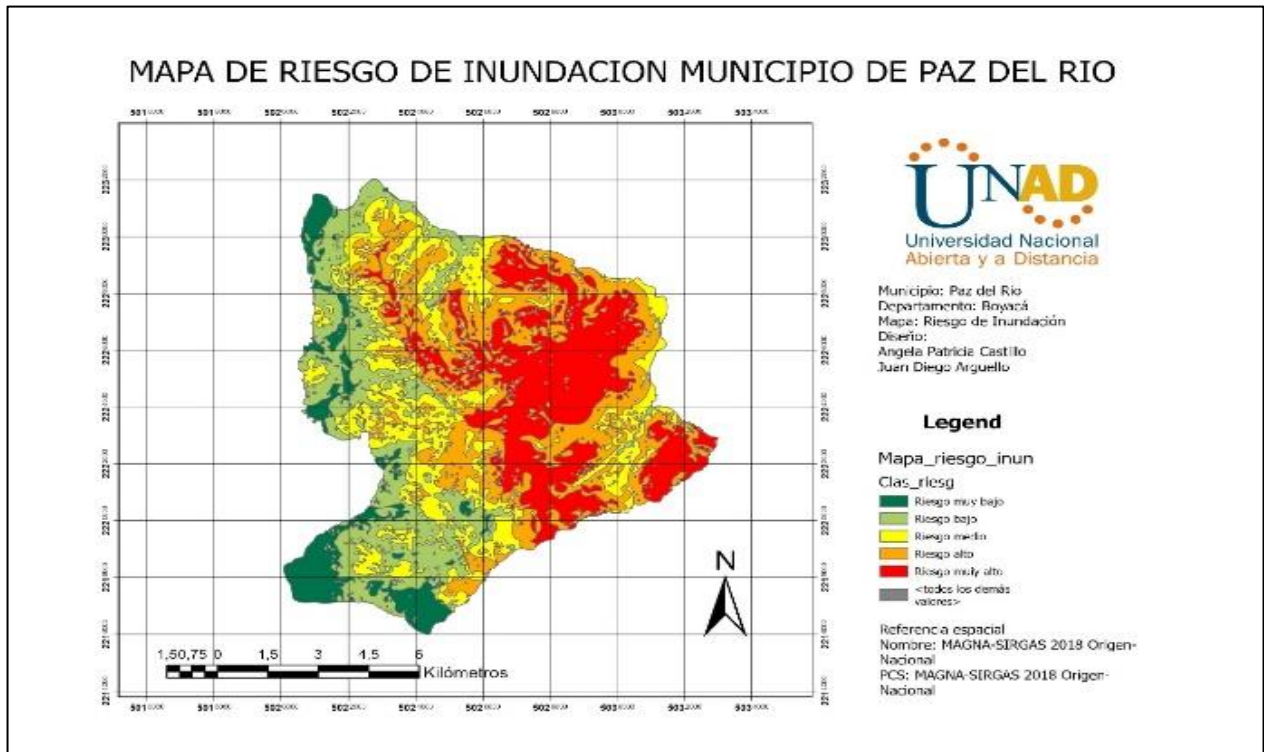
Fuente: Autoría Propia

Figura 4. *Capa ráster a capa vectorial*.



Fuente: Autoría Propia

Figura 5. *Mapa de Riesgo de inundación del municipio de Paz de Rio – Boyacá*



Fuente: Autoría Propia

## Resultados

Una vez aplicados los elementos metodológicos se pudieron obtener resultados muy significativos para el establecimiento del riesgo de inundación en el municipio de Paz de Rio.

### 1. Extensión zonas de riesgo

El municipio de Paz de Rio – Boyacá al encontrarse integrado por varias unidades hídricas (Tabla 1), presenta diferentes zonas en las que el riesgo de inundación se observa según la tabla 3. Para estas se determinó el área en la unidad de medida en Km<sup>2</sup>.

Tabla 3. Clasificación de riesgo de inundación con medida en Km<sup>2</sup>.

gridcode	Clas_riesg	Area
1	Riesgo muy bajo	9,77 kmCuadrado
2	Riesgo bajo	23,7 kmCuadrado
3	Riesgo medio	25,63 kmCuadrado
4	Riesgo alto	31,28 kmCuadrado
5	Riesgo muy alto	30,41 kmCuadrado

Fuente: Autoría propia

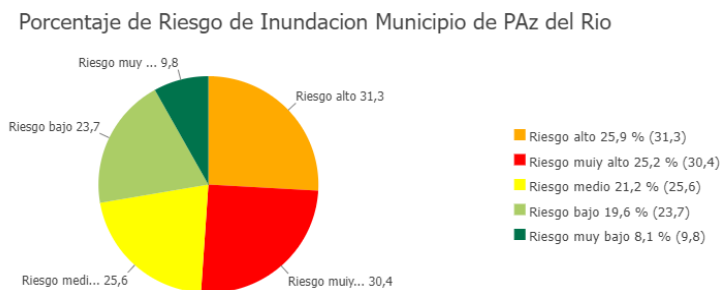
Se pudo determinar que la zona con mayor extensión (31,28 Km<sup>2</sup>) fue la clasificada como de riesgo alto, seguida por 30,41 km<sup>2</sup> correspondientes riesgo muy alto. Siendo estos los dos valores más representativos dentro de la clasificación para el territorio del municipio. En cuanto al riesgo muy bajo (9,77 km<sup>2</sup>) y el bajo (23,7 km<sup>2</sup>) se encontró que su representación es mucho menor lo que indica que la mayor parte de los terrenos municipales son susceptibles a la inundación como se muestra en el mapa de riesgo de inundación (figura 5).

Mediante la aplicación de la metodología de análisis multicriterio se pudo determinar que el municipio de paz de Rio – Boyacá, se encuentra bajo una elevada influencia de inundación lo que para este

estudio se representa dentro de los riesgos alto y muy alto y medio; ya que sus porcentajes de territorio estuvieron en 31,3 %; 30,4% y 25,6% respectivamente (Figura 6). Lo que demuestra que el 87,3 % del municipio es susceptible o muy susceptible antes el fenómeno de la inundación. Esto se puede agudizar especialmente en las temporadas invernales o de mayor precipitación que según la secretaria de Salud Departamental de Boyacá (2013) se encuentra en los entre los meses de Abril-Mayo y Octubre – Noviembre.

Respecto al riesgo bajo y muy bajo el municipio presenta un porcentaje territorial que corresponde a 23,7 % y 9,8% respectivamente (figura 6). Siendo estas porciones territoriales menores que los de mayor riesgo de inundación. Estas condiciones permitirán a los habitantes tener una mejor condición de vida respecto al riesgo estudiado.

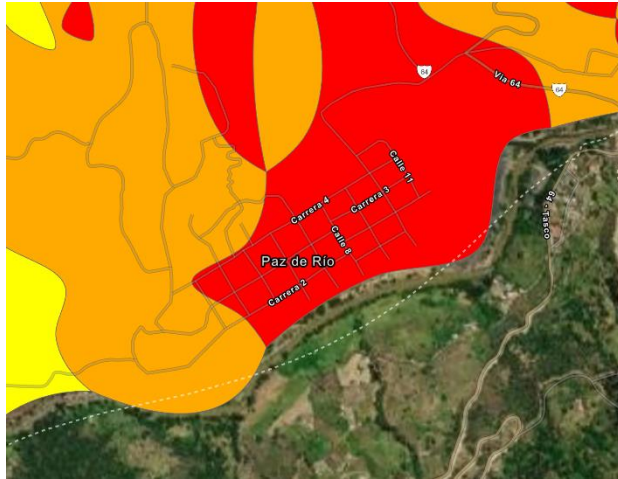
Figura 6. Porcentajes de Riesgo de inundación municipio de Paz de Rio – Boyacá



Fuente: Autoría propia

En cuanto al casco urbanos se puede establecer que la mayor parte de este se encuentra ubicado en la zona de riesgo muy alto como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Ubicación de casco urbano en zona de muy alto riesgo de inundación.



Fuente: Autoría propia

Nota: Se puede observar la ubicación del casco urbano dentro de la zona de muy alto riesgo simbolizada en color rojo.

### Conclusiones

- De acuerdo a los resultados el análisis de riesgo de inundación permite identificar que alrededor del 87,3% del municipio se encuentra en alta vulnerabilidad (riesgo alto y muy alto).
- Las zonas clasificadas con riesgo bajo y riesgo muy bajo, se representan en una porción pequeña, por lo que se debe considerar el trabajar en estrategias de mitigación con un alcance de gran parte del municipio.
- Paz de río cuenta con dos principales fuentes hídricas que contribuyen al riesgo de inundación, lo que se puede identificar sobre la importancia de obtener un análisis detallado de cada cuenca para lograr generar planes enfocadas en las mismas.
- El riesgo de inundación se ve amplificado durante los meses de abril-mayo -octubre y noviembre, durante estos periodos es esencial el

fortalecimiento de las medidas de respuesta ante emergencia.

- En concordancia con lo expuesto por la secretaria de salud de Boyacá (2013) en su estudio sobre el mapa de riesgo de calidad del agua para consumo humano de los ríos Soapaga y Pargua. Algunos de los factores que aumentan la vulnerabilidad de inundación son la diferencia de elevación de los terrenos y el aumento de precipitaciones en estas zonas lo que contribuye a la inestabilidad de suelo, erosión e inundaciones.
- El territorio cuenta con mayor parte de zonas en riesgo expuesto a inundaciones por lo que se deben diseñar políticas públicas urgentes para intervención de las mismas.
- La aplicación del análisis multicriterio ha sido vital para obtener una visión detallada del riesgo de inundación en el municipio de Paz de Río, el método y el software Argis Pro, permitieron identificar las áreas mas vulnerables lo que puede servir para priorizar mecanismos y acciones de acuerdo a los resultados.

### Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre los riesgos a los que se encuentra el municipio de Paz de río es crucial fortalecer varias áreas claves dentro del marco de la gestión del riesgo. donde se trabaje en mejorar:

- El sistema de infraestructura de drenaje pluvial, y señalización de los mismos.
- Realizar una organización basada en el ordenamiento territorial restringiendo el desarrollo urbano en las zonas que están clasificadas con riesgo alto y muy alto.

- Tener los planes de emergencia documentados, implementados y socializados con la comunidad.
- Sensibilización y capacitación de respuesta ante cualquier emergencia, permitiendo que la población esté preparada en caso de cualquier tipo de emergencia.
- Realizar simulacros y continuos seguimientos para estar actualizando los datos de riesgo, y las condiciones actuales de las zonas.
- Desarrollar monitorios continuos respecto a los cambios en la morfología del suelo y causas de las unidades hídricas.

### Referencias bibliográficas

Contreras, F. I., & Odriozola, M. P. (2016). Aplicación de Modelos de Elevación Digital para la delimitación de áreas de riesgo por inundaciones. San Luis del Palmar, Corrientes, Rca. Argentina. Recuperado de [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30675/CONICET\\_Digital\\_Nro.9fe12c59-8384-4863-bb26-1554e067c865\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30675/CONICET_Digital_Nro.9fe12c59-8384-4863-bb26-1554e067c865_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Burgos, V. H., & Salcedo, A. P. (2014). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (2, 2014, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina). Recuperado de <http://www.b.ns.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf>

Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT Paz de Río 2024. Alcaldía de Paz de Río. Recuperado de <https://www.pazderio-boyaca.gov.co/eot/esquema-de-ordenamiento-territorial-eot-paz-de-rio-2024>

Argumentación Histórica y Geográfica Sobre el Límite entre el Municipio de Betétiva con los Municipios de Belen, Paz de Río, Tasco, Cerinza, Floresta, Busbanza y Corrales. (2019). Gobernación de Boyacá. Secretaria de Planeación. Dirección Geográfica y de Gestión Territorial. Recuperado de <https://planeacion.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2023/05/ESTUDIO-BETEITIVA-DIC-2019.pdf>

Cano Casas, L. ., & Escobar Martínez, J. F. . (2011). Diseño de redes de monitoreo apoyadas por herramientas SIG y modelación Geoespacial. *Aqua-LAC*, 3(1), 18–25 recuperado de <https://www.aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/68/45>

Unidad Nacional de Gestion del Riesgo de Desastres. (2011, noviembre 17). Prevención Ante el Riesgo Paz del Río Boyacá, un caso para resaltar. [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/old\\_noticias/1227.aspx](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/old_noticias/1227.aspx)

Secretaria de salud de Boyacá. (2013). Mapa de riesgo de calidad del agua para consumo humano de los ríos Soapaga y Pargua, fuentes de abastecimiento del acueducto urbano del Municipio de Paz de Río – Boyacá. Recuperado de [https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images\\_Documentos\\_Salud\\_Publica\\_Ano\\_2014\\_AGUA\\_CONSUMO\\_HUMANO\\_MAPA\\_RIESGO\\_MAPA-DE-RIESGO-DE-PAZ-DE-RIO.pdf](https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_AGUA_CONSUMO_HUMANO_MAPA_RIESGO_MAPA-DE-RIESGO-DE-PAZ-DE-RIO.pdf)

**Enlace de sustentación:**

<https://www.youtube.com/watch?v=SdAgD3etx7I>