

## Peligros ambientales y antrópicos sobre las aguas de la Comuna de Ondjiva, Angola

Julio Antonio del Puerto Sánchez

email: [julioantonioster11@gmail.com](mailto:julioantonioster11@gmail.com)

Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Instituto Superior Politécnico de Cunene, Comuna de Ondjiva, Cunene, Angola.

Yaset Martínez Valdés

email: [yaset@cih.cujae.edu.cu](mailto:yaset@cih.cujae.edu.cu)

Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cujae, La Habana.

### RESUMEN

Este trabajo aborda aspectos relacionados con la identificación de los peligros ambientales que afectan la Comuna de Ondjiva y su interrelación directa con la contaminación de las aguas, propia de la acción antrópica. A partir del estudio de los recursos hídricos de la zona de estudio, se realizó una evaluación de los riesgos por contaminación antrópica sobre las aguas. La investigación estuvo estructurada en cuatro etapas, cuyos principales resultados fueron: modelo tipológico de los peligros ambientales y el modelo geoestadístico de calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio. Mediante la caracterización y zonificación de los factores naturales y antrópicos en la región de estudio, se identifica la contaminación por residuos sólidos como el principal foco contaminante de las aguas de la Comuna de Ondjiva.

**Palabras clave:** aguas, modelo geoestadístico, modelo tipológico, Ondjiva, peligros ambientales

## Environmental and anthropic hazards on the waters in the Ondjiva Commune, Angola

### ABSTRACT

This paper addresses aspects related to the identification of environmental hazards that affect the Ondjiva commune and their direct interrelation with water pollution, typical of anthropic action. From the study of the water resources of the study area, an evaluation of the risks due to anthropic contamination on the waters was carried out. The research was structured in four stages, the main results of which were: a typological model of environmental hazards and a geostatistical model of the quality of surface and groundwater in the study area. Through the characterization and zoning of natural and anthropic factors in the study region, solid waste pollution is identified as the main pollutant focus of the waters of the Ondjiva Commune.

**Keywords:** waters, geostatistical model, typological model, Ondjiva, environmental hazards

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales junto a las actividades humanas pueden constituir una amenaza a la calidad de las aguas freáticas, modificando los mecanismos de recarga de los acuíferos e introduciendo otros nuevos, cambiando la distribución, frecuencia, tasa y calidad de la recarga del agua subterránea. La comprensión de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios resultan críticos para la evaluación del peligro de contaminación de este valioso recurso. Estos peligros ambientales pueden ser catalogados en naturales y antrópicos. Los peligros naturales son aquellos fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos, que por su magnitud de severidad y frecuencia pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, su infraestructura social y a las propias actividades del desarrollo humano. Por otro lado, los peligros antrópicos son derivados de la acción directa del ser humano sobre la naturaleza, como son la contaminación ocasionada en el agua, aire, suelo, deforestación, incendios, entre otros.

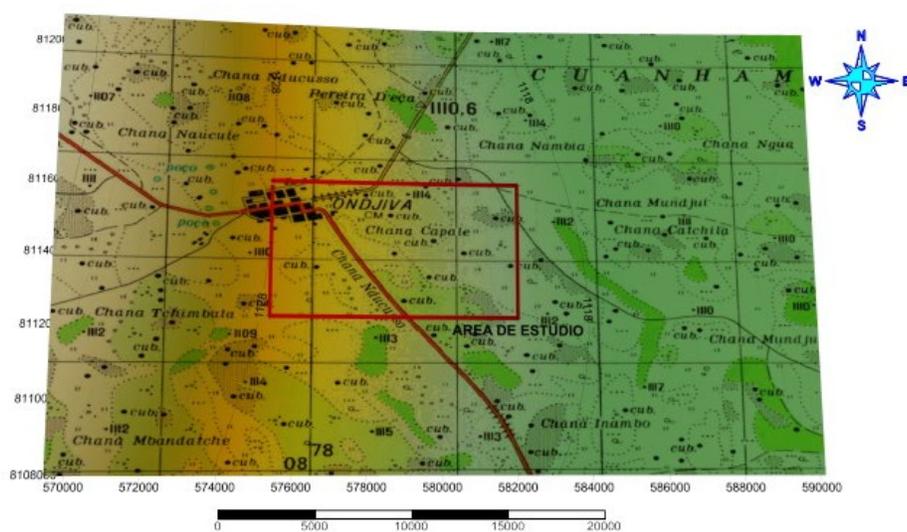
La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo; pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas que lo componen son relativamente delgadas y permeables. Una de las principales fuentes de contaminación de los acuíferos viene dada por las descargas o lixiviado de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras, cuando se producen en una cantidad que excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes.

Los perfiles naturales del subsuelo atenúan muchos contaminantes en forma activa e históricamente han sido considerados potencialmente eficaces para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas (Colectivo de Autores 2019). La autoeliminación de contaminantes durante el transporte subterráneo en la zona vadosa (no saturada) es resultado de la degradación bioquímica y de la reacción química, de conjunto con los procesos de retardo de contaminantes por fenómenos de adsorción, al aumentar el tiempo disponible para los procesos que conducen a su eliminación. Sin embargo, no todos los perfiles del subsuelo y estratos subyacentes son igualmente eficaces en la atenuación de contaminantes, y los acuíferos son particularmente vulnerables a la contaminación cuando, por ejemplo, se encuentran rocas consolidadas altamente fisuradas. El grado de atenuación también variará ampliamente según el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en un ambiente determinado (Foster et al. 2001).

Las estimaciones de los recursos de aguas subterráneas renovables en Angola rondan los 58 km<sup>3</sup>/año. En sentido general, este potencial hidrogeológico no está muy desarrollado en el país, debido a la fácil disponibilidad de las aguas superficiales para su uso. Los acuíferos más importantes se encuentran en depósitos sedimentarios a una profundidad que varía entre los 10 a 30 m en el Planalto Central y entre 5 y 30 m en la región de Huambo. En las zonas costeras y semiáridas del sur de la bahía del río Cunene, la profundidad ronda los 200 m. La distribución espacial de las reservas de aguas subterráneas en el país, ubica más de un 40% de los pozos del país en la provincia de Cunene, cerca de un 30% en la provincia de Huila y un 15% en la de Namibe.

La ciudad de Ondjiva, antes conocida como Villa Pereira d'Eça, es una Comuna, sede del municipio de Cuanyama y capital de la provincia de Cunene, la más meridional del país y fronteriza con Namibia. La posición geográfica de la Comuna de Ondjiva se define aproximadamente entre la intercepción entre el paralelo 17°04' de latitud Sur y el meridiano 15°43' de longitud Este de Greenwich, a 30 km de la frontera con Namibia (ver figura 1). La

mayor parte de los acuíferos que son explotados en la Comuna de Ondjiva son acuíferos libres, o sea que la superficie superior limita la zona saturada con un nivel muy variable donde no existen capas confinadas superiores que sirvan de barrera natural de contención para la infiltración de los contaminantes del suelo, ampliando la susceptibilidad a la contaminación (Veríssimo 2019). La investigación se centra en conocer de manera detallada, la situación actual de la calidad de las aguas provenientes de los acuíferos y los embalses de la región de estudio y el impacto de los peligros ambientales y antrópicos sobre estas.



**Figura 1. Mapa planimétrico de la Comuna de Ondjiva, Angola (Mapa de localización)**

## DESARROLLO

Por medio del análisis, caracterización y zonificación de los peligros naturales y antrópicos presentes en la región de estudio, es posible identificar las fuentes de contaminación por vertido de residuos sólidos urbanos sobre las aguas subterráneas y superficiales de la Comuna de Ondjiva. El objetivo general del trabajo es identificar, caracterizar y regionalizar los factores naturales y antrópicos presentes en la región de estudio, así como modelar el efecto peligros-daños-riesgos ambientales en su relación con la calidad de las aguas subterráneas. Para lograr este objetivo se elaboró una metodología que se estructura en varias etapas: Etapa N° 1. Análisis integral de la información; Etapa N° 2. Procesamiento de la información recopilada; Etapa N° 3. Análisis e interpretación de la base digital y Etapa N° 4. Identificación de los peligros-daños-riesgos ambientales en la región de estudio. La metodología de trabajo se describe a continuación para ilustrarla convenientemente y facilitar su comprensión.

### Etapa N° 1. Análisis integral de la información

Se realiza el análisis de la información a partir de la revisión actualizada de estudios sobre las características físicos-geográficas de la región de estudio, trabajos de campo, muestreos realizados anteriormente y ad hoc. A partir de estas investigaciones se obtuvieron modelos temáticos sobre la regionalización de los peligros ambientales y antrópicos en la Comuna de Ondjiva. Fue necesario la revisión y el análisis de las legislaciones, políticas y directrices nacionales que incluyen patrones de salud y seguridad ambiental con el fin de identificar los peligros naturales y antrópicos de mayor incidencia en la región. Esta etapa de trabajo duró 24 días.

## **Etapa N° 2. Procesamiento de la información recopilada**

Para conocer la realidad con mayor precisión e identificar los posibles peligros, se realizó un muestreo de los vertidos líquidos, los residuos sólidos y las emisiones a la atmósfera, para su posterior análisis y verificación del cumplimiento de las normas estipuladas (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio 2018). En esta etapa se realizaron visitas de campo, llegándose a realizar un levantamiento de 15 km<sup>2</sup> del área de estudio. Se tomaron 15 muestras de aguas superficiales y subterráneas de los barrios Cachila 3, Barrio Castillo, Plaza Chomocuyo y la Comuna de Ondjiva afectadas por actividades antrópicas. En este sentido se identificaron además, numerosos microvertederos de residuos sólidos los cuales tienen una gran incidencia en la contaminación de los acuíferos libres de la región. Otro aspecto de relevancia fue el trabajo realizado en áreas rurales con una gran actividad agrícola. En estas se tomaron 12 muestras de aguas subterráneas procedentes de pozos superficiales, con denominación: Castillos 1, Castillos 2 (Barrio Castillo), Cafito 1, Cafito 2, Cafito 3 (Barrio Cafito), Pozo 2, Pozo 6, Pozo 8, Pozo 11, BE 3 (Barrio Naipala 1), Pozo 13 y BM 1 (Barrio Cachila 3), los cuales tienen profundidades que oscilan entre los 8 y 60 m del nivel estático). Esta etapa de la investigación se realizó en un período de 18 días.

Las muestras se tomaron en botellas de vidrio topacio de 1 L de capacidad, cerradas con tapones de teflón y refrigeradas en el campo, suministradas por la empresa de Agua y Saneamiento de la Comuna de Ondjiva. En Angola los patrones de potabilidad son definidos por el Ministerio de Salud utilizando varios parámetros, que fueron medidos en el campo o en el laboratorio como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales, dureza, metales pesados, concentración de nitrógeno y fósforo, sólidos totales, oxígeno disuelto, pH, turbidez y conductividad eléctrica. Los puntos de recolección de las muestras de agua fueron seleccionados sobre la base de criterios espaciales y sanitarios partiendo del sistema de distribución de pozos de agua, priorizando aquellos barrios que cuentan con tanques sépticos, con el objetivo de estudiar la posible infiltración de las aguas residuales al subsuelo. Esta situación que se da en estos barrios, los caracteriza como áreas vulnerables a la contaminación y se denominan como puntos críticos.

Las muestras tomadas en estos puntos críticos se realizaron en diciembre de 2019 y fueron entregadas al laboratorio de la Empresa de Tratamiento de Agua de Changongo. En el laboratorio las muestras se conservaron en oscuridad y a 4 °C hasta su extracción (menos de 24 horas). Por falta de reactivos no fue posible realizar el análisis de los algunos parámetros. Solo se mencionarán aquellos que fueron realizados y que guardan relación con el factor suelo, elemento a tener en cuenta para la contaminación directa o indirecta de las aguas superficiales y subterráneas.

El pH estuvo por encima de 7 en las 10 muestras analizadas en los pozos activos escogidos, solo superándose el valor de 10 en las aguas superficiales del embalse Chomocuyo, lo que puede estar asociado a algún tipo de contaminación biológica. Otro parámetro analizado fue la conductividad eléctrica, la cual tuvo valores por encima de los 1,1 mS/cm en ocho muestras de agua subterránea, mientras que en las otras dos restantes, no superaron los 3 mS/cm, indicando la presencia de altas concentraciones de sales de cloruro. Por otro lado, en las aguas superficiales del embalse este valor no superó los 0,6 mS/cm. Otro resultado de interés es el estudio del parámetro turbidez, donde solo se observó un valor de 45,9 NTU presente en las aguas superficiales, propio de un embalse con un fondo arcilloso y producto de las precipitaciones de las lluvias que se ponen en contacto con la superficie del embalse.

### Etapa N° 3. Análisis e interpretación de los datos digitales: Obtención del modelo hidrogeológico conceptual

Un modelo hidrogeológico conceptual permite identificar las condiciones de recarga y descarga de agua, las características litológicas y geométricas de la roca permeable, las secuencias estratigráficas y las respectivas condiciones hidrogeológicas locales, las direcciones de flujo del agua subterránea, los gradientes hidráulicos, los coeficientes de transmisividad y capacidad de almacenamiento, entre otras variables (Ingeominas 2004). Para construir un modelo hidrogeológico conceptual se deben seguir tres etapas básicas: definición de las unidades hidroestratigráficas; realización del balance hídrico; y definición del sistema de flujo en el acuífero (Anderson and Woessner 1992). El modelo conceptual permite entender el funcionamiento de los acuíferos, predecir su comportamiento y determinar sus recursos explotables, prevenir los posibles impactos ambientales sobre el sistema y como herramienta para un aprovechamiento y gestión integral del recurso hídrico subterráneo (Maestre et al. 2008).

El principal objetivo de esta investigación es definir el modelo conceptual que mejor represente el comportamiento hidrogeológico en la zona de estudio con base a los antecedentes y análisis hidrológicos e hidrogeológicos recopilados en las etapas anteriores. Para la obtención del modelo hidrogeológico conceptual se realizó la interpretación de la base digital geológica, hidrológica e hidrogeológica disponible para la zona de estudio. Para realizar esta última, se partió de los datos de coordenadas superficiales, profundidad, niveles dinámicos y estáticos y registros de caudales de 51 pozos de agua. Con esta información de base se confeccionó el primer mapa temático que es el modelo hidrogeológico conceptual de la región de estudio a escala 1:2500, representado por un sistema de información geográfica como aparece representado en la figura 2.

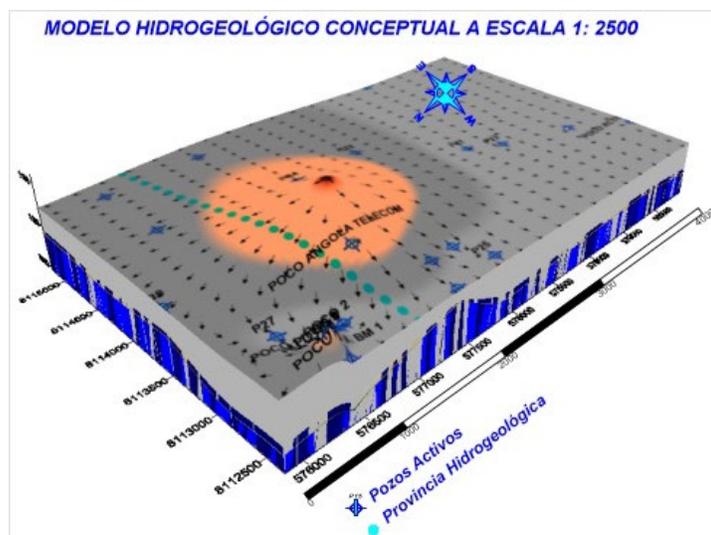


Figura 2. Modelo hidrogeológico conceptual de la Comuna de Ondjiva y áreas aledañas a la misma

### Etapa N° 4. Identificación de los peligros-daños-riesgos ambientales en la región de estudio.

La identificación de impactos ambientales es un método sistemático que fue diseñado para la identificación y evaluación de los impactos ambientales potenciales y principalmente basados en el riesgo representado (Gutiérrez et al. 2004). La mayor parte de la información que se usa en las evaluaciones de los peligros naturales es generada por centros de investigación y monitoreo de

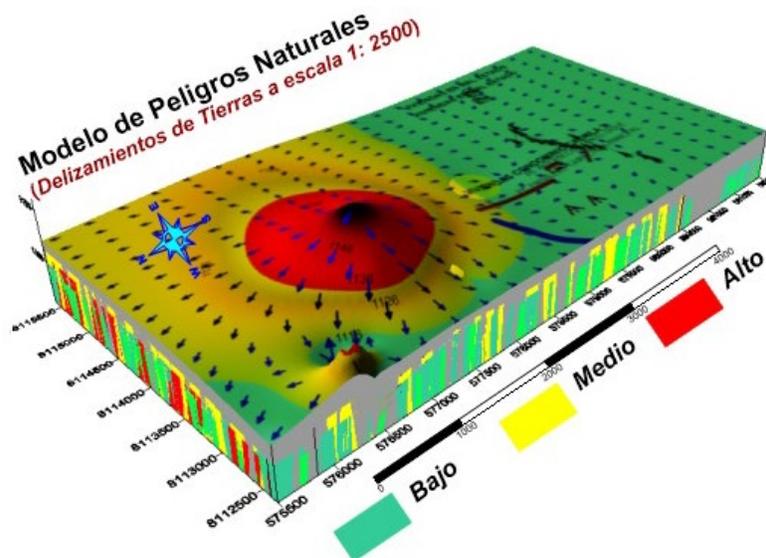
desastres naturales ya sean nacionales o internacionales, universidades, entidades para el manejo de desastres, agencias de planeamiento multisectorial y sectorial, ministerios y entidades de servicios públicos. Mientras algo de la información puede aparecer en artículos científicos o como datos estadísticos, el resto fácilmente utilizable se puede encontrar en forma de mapas, informes, artículos de periódicos y/o revistas, actas o memorias de talleres y congresos relacionados con los peligros, reseñas históricas, etcétera. (Brabb 1984).

### Identificación de los peligros naturales y antrópicos.

Atendiendo a la metodología, según Sánchez (2002), la clasificación tipológica de los peligros está dada inicialmente por la identificación de la morfometría del relieve, diferencia entre los valores de las curvas de nivel, sobre todo para los peligros naturales como deslizamiento de tierras e inundaciones. En el área de estudio fue identificado un total de cuatro tipos de peligros ambientales, distribuidos en dos grupos, naturales y antrópicos, que por su desarrollo predominan en una región o lugar determinado.

### Peligro por deslizamiento de tierras

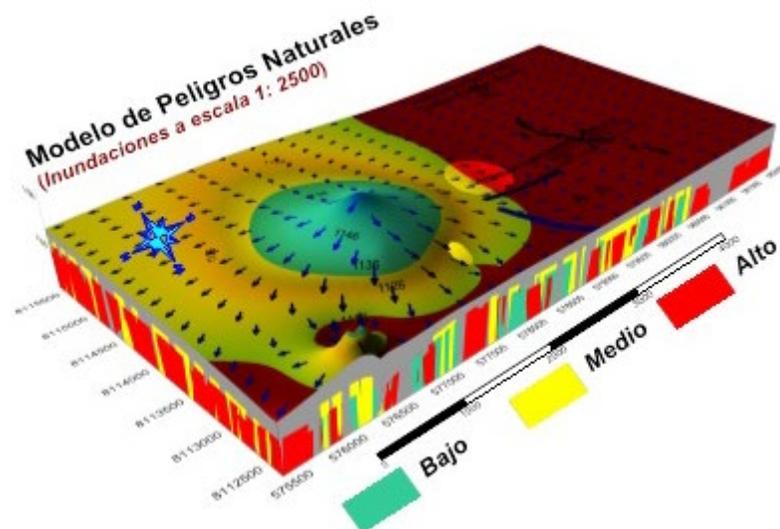
Los peligros por deslizamiento de tierras fueron clasificados según el tipo de proceso natural en bajo, medio y alto. La identificación de los mismos fue realizada a través de la simulación de los datos (curvas de nivel, aspectos de la pendiente, morfometría del relieve, entre otros) para estos tres tipos de escenarios, a los cuales se le aplicaron coeficientes para cada tipo de peligro. Para el peligro bajo se aplicó un coeficiente de 25%, para el peligro medio un coeficiente de 50% y para un escenario de peligro alto se tiene un 75%. Para ello se asignó una escala de colores que corresponde con los tres tipos de escenarios (verde: Peligro bajo, amarillo: Peligro medio, rojo: Peligro alto), véase figura 3.



**Figura 3. Modelo de peligros naturales referente a deslizamiento de tierras  
Peligro por inundación**

Las llanuras de inundación y las áreas inundables son áreas dinámicas de terreno que deben ser evaluadas en términos de los riesgos que representan. Algunos de los conceptos importantes relacionados con las inundaciones como llanuras de inundación y áreas inundables con su

naturaleza cambiante, frecuencia de ocurrencia, período de inundación, relación con las prácticas de desarrollo y manera de mitigar los efectos de las inundaciones, han sido el punto esencial para demostrar la importancia de cómo considerar las inundaciones lo más temprano posible en el proceso de planificación y la aplicación de imágenes de percepción remota en la demarcación de áreas inundables (Leopold et al. 1964). Para el desarrollo de este trabajo, fueron analizadas las situaciones de algunos puntos críticos en el área de estudio donde ha sido posible determinar las áreas susceptibles a las inundaciones, las cuales aparecen representadas en la figura 4.



**Figura 4. Modelo de peligros naturales referente a inundaciones**

La situación actual en la Comuna de Ondjiva se caracteriza por la ausencia total de un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos y sus componentes elementales de limpieza, recogida y destino final. Este fenómeno resulta un problema serio desde el punto de vista ambiental en la región. Durante el inventario final de fuentes contaminantes realizado en la región de estudio, fueron identificados numerosos microvertederos de residuos sólidos aislados en los barrios. Se realizó una caracterización del medio físico receptor, donde se identificaron como las áreas de mayor contaminación, aquellas donde se encuentran los mercados tradicionales y las zonas urbanas de mayor densidad poblacional, donde se destacan los barrios: Los Castillos, Naipalala 1, Cachila 1, 2 y 3 y Cafito 1 y 2. En estos se observaron un total de tres tipos de peligros ambientales presentes en la región de estudio. El peligro por contaminación del suelo por residuos sólidos urbanos no tratados, contribuye al peligro por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (FAO 2019). El principal foco de contaminación por residuos sólidos es el vertedero principal Cachila 3. Próximo a este, se encuentra un pozo de abastecimiento de agua ubicado en una zona muy baja, el cual se inunda fácilmente, convirtiéndose en un foco de mayor contaminación y transmisión de enfermedades de origen hídrico.

Según Sousa (2015), las fosas sépticas no son un destino adecuado para este tipo de residuo sólido. Los efluentes de las fosas sépticas contienen contaminantes que deben ser removidos, por lo cual, después de la fosa séptica se recomienda instalar un filtro anaeróbico. Este dato sirve para realizar la simulación del escurrimiento superficial de las lluvias que son directamente puestas en contacto con la materia orgánica del suelo y las fosas sépticas. Esta información se agrega a los datos obtenidos de los análisis físicos realizados a las aguas superficiales y

subterráneas de los puntos que fueron muestreados. A continuación se presentan los modelos geoestadísticos donde se puede observar la distribución espacial de las propiedades físicas evaluadas en las 15 muestras tomadas en pozos y embalses.

## pH

Para el consumo de agua potable los valores de pH recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), deben estar entre 6,5 y 8,5. El pH de las aguas subterráneas varía generalmente entre 6,5 a 8,5 (Otálvario et al. 2008). En el caso de la investigación se comprobó que de las 15 muestras analizadas, el 33% de las mismas mostraron valores de pH superiores a 8,5. Un ejemplo de ello lo constituye el embalse de Chomocuyo con un valor de 10,64. Esta propiedad del agua es una herramienta importante para la evaluación de la vulnerabilidad de la misma, si se estima el período de tiempo que el agua durante su flujo, consume para recorrer una determinada distancia, o sea el tiempo de tránsito. Tiempos de tránsitos más largos, permiten por regla general, una mayor atenuación de los contaminantes debido al retardo del proceso de las reacciones de degradación. Según Foster et al., 2001 la vulnerabilidad extrema está relacionada con la vulnerabilidad a muchos poluentes, incluyendo los que rápidamente han sido degradables en muchos escenarios de contaminación. Ejemplo de ellos son: pesticidas catiónicos, metales pesados no asociados a elevada carga orgánica o en condiciones de valores de pH y Eh extremos.

En la investigación se logra demostrar que existe una marcada relación entre la contaminación de las aguas y las enfermedades por transmisión hídrica. También se hace necesario insistir en realizar estudios de suelos, análisis y caracterización de los mismos, pues constituyen la vía directa de posible contaminación por metales pesados, los cuales pueden ser absorbidos por los cultivos y causar enfermedades tóxicas, crónicas e incluso causar la muerte en animales y en la población de la región. En el modelo que se presenta en la figura 5 se puede observar que la barra de colores mantiene la misma clasificación para un tipo de peligros relacionado con la contaminación de las aguas: peligro alto para valores superiores a 9 con color rojo, peligro bajo con color verde para valores entre 6,5 y 9 y peligro medio con color amarillo por debajo de 6,5.

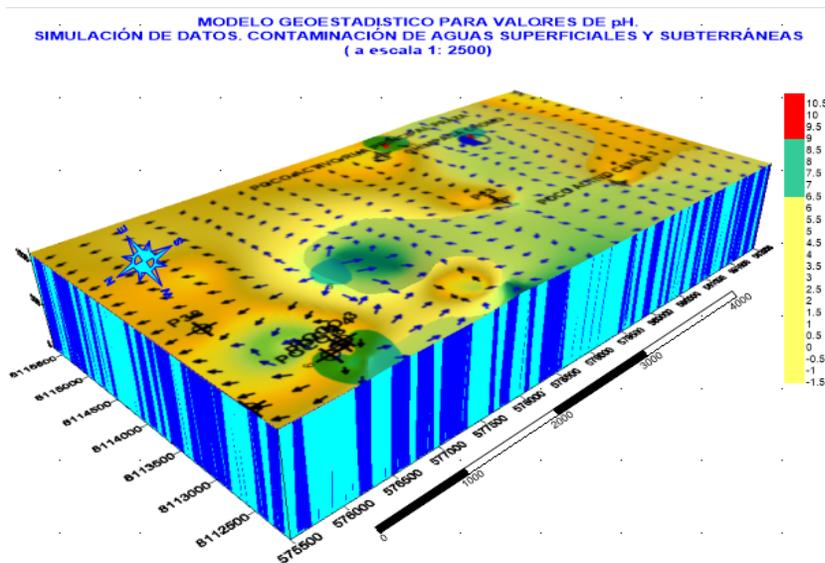


Figura 5. Modelo geoestadístico para valores de pH

## Turbidez

El valor máximo permisible de la turbidez en el agua para el consumo humano, según la OMS es de 5,0 NTU (Otálvario et al. 2008). Los valores registrados en los cinco embalses analizados superan este valor de referencia, con un índice de turbidez máximo en el embalse de Chomocuyo (45,9 NTU), lo cual hace que sus aguas tengan un alto potencial nocivo para la salud humana, y por lo tanto, no sean recomendables para su consumo, véase figura 6. Se observa en este modelo que la barra de colores mantiene la misma clasificación para un tipo de peligros relacionado con la contaminación de las aguas, con peligro alto para valores superiores a 30 (color rojo), peligro bajo con color verde para valores menores de 5 y peligro moderado con color amarillo para un rango de valores entre 5 y 30.

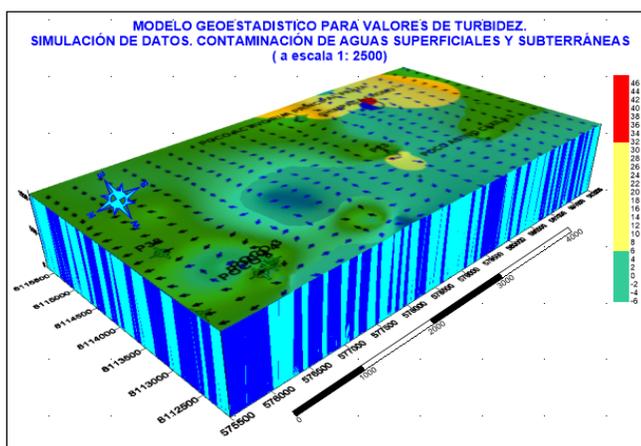


Figura 6. Modelo geoestadístico para valores de turbidez

## Conductividad eléctrica

La medición de la conductividad en el agua es una manera indirecta y simple de inferir la presencia de iones provenientes de sustancias polares, generalmente sustancias orgánicas disueltas en el agua como cloratos, sulfatos, carbonatos y fosfatos. La presencia de dichas sustancias aumenta la conductividad del agua, pues las mismas se comportan como electrólitos contribuyendo a la conducción de la electricidad en el agua, acentuando las características salobres de esta. Por otro lado, la presencia de las sustancias apolares que no se ionizan como el alcohol, petróleo y azúcar, conllevan a una conductividad eléctrica del agua menor. Valores altos de este parámetro, pueden servir como indicador de la presencia del fenómeno de la intrusión salina en un acuífero o una posible contaminación por sustancias nocivas relacionadas con la utilización de fertilizantes y pesticidas en la agricultura (Otálvario et al. 2008). La tabla 1 muestra valores de conductividad para varios tipos de agua que se toman como referencia para el análisis.

Tabla 1. Valores de conductividad eléctrica para diferentes tipos de agua

Muestras	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Agua pura	0,055
Agua destilada	0,5-5
Agua de lluvia	5-30
Agua subterránea	30-2000
Salmuera	>100000

Durante el muestreo realizado en los 15 puntos de referencia, se obtuvieron siete valores de conductividad eléctrica menores de 1 mS/cm, resultando el resto con valores por encima de este valor, dato que demuestra que el agua subterránea analizada para estos ocho valores restantes, se encuentra en el rango permisible para agua dulce, pues son menores de 2 mS/cm (véase tabla 2).

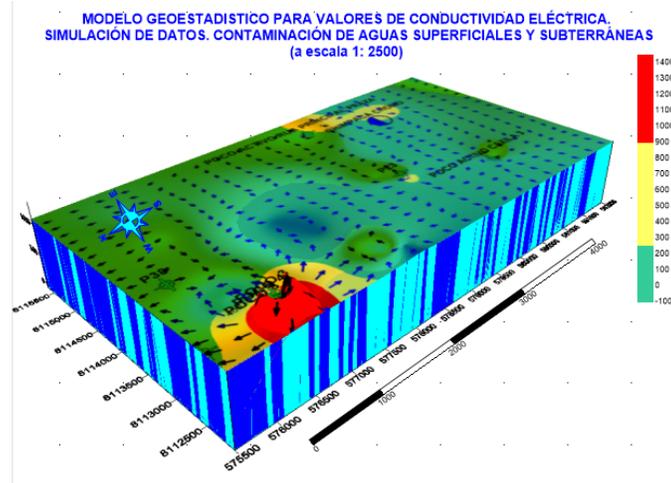
**Tabla 2. Resultados de los análisis de laboratorio para el muestreo de los 15 puntos (Parámetros físicos de la calidad de las aguas)**

Coord x	Coord y	CE	TURBIDEZ	pH	ELEMENTO
577 292	8 113 610	0,00248	0,95	7,88	Castillos 1
577 101	8 113 273	0,00260	0,99	7,92	Castillos 2
576 303	8 112 516	1,282	0,94	7,79	Cafito 1
576 281	8 112 559	1,285	0,91	7,76	Cafito 2
576 457	8 112 260	1,288	0,88	7,73	Cafito 3
576 559	8 112 610	1,294	0,82	7,67	Pozo 2
576 380	8 112 525	1,300	0,76	7,61	Pozo 6
576 318	8 112 524	1,303	0,73	7,58	Pozo 8
576 301	8 112 591	1,309	0,67	7,52	Pozo 11 BE 3
576 417	8 112 326	1,312	0,64	7,48	Pozo 13 BM 1
580 295	8 114 811	0,544	45,9	10,64	Embalse 1
579 317	8 113 300	0,524	30,8	9,14	Embalse 2
579 378	8 115 269	0,504	28,5	9,08	Embalse 3
579 419	8 115 361	0,484	25,4	9,05	Embalse 4
579 536	8 115 450	0,464	24,8	9,03	Embalse 5

Según los datos mostrados en la tabla 1, se puede calificar las aguas subterráneas como aguas dulces, pues los análisis realizados a los 10 pozos de abasto de agua ubicados en la región de estudio, mostraron valores por debajo de lo permitido (0,03-2,0 mS/cm). No obstante, hay que mantener un control estricto de la calidad de las mismas, pues un aumento pudiera estar relacionado con procesos antrópicos como: sobreexplotación del acuífero libre que está en contacto con materia orgánica proveniente de la superficie, contaminación por fertilizantes químicos provenientes de la agricultura y/o intrusión salina derivada de una sobreexplotación de estos pozos.

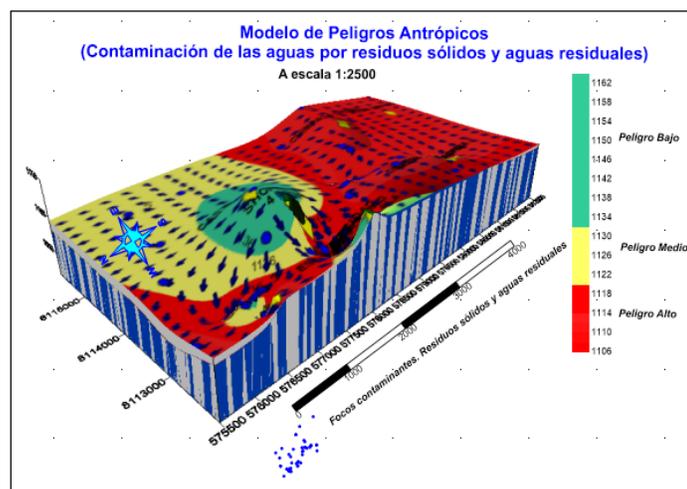
Por otro lado, los valores medios de conductividad eléctrica detectados en los embalses analizados, sugiere varias causas de posible contaminación como pueden ser: materia orgánica, algún tipo de microorganismo, sales disueltas o coloides, que pueden llegar a estos diluidos en las aguas de la escorrentía superficial. La presencia de cualquiera de estos factores por separado o la combinación de estos, pueden elevar ligeramente los valores de este parámetro físico. Otro de los parámetros analizados en la investigación fue la turbidez, que según las normas de la OMS, no deben superar el valor de 5 NTU, sin embargo los análisis realizados en los cinco embalses, muestran valores por encima de este valor de referencia, declarando estas aguas como no aptas para el consumo humano, situación agravante para la población que habita cerca de las mismas, pues afirman que la utilizan como fuente de cocción de sus alimentos y para el consumo humano, demostrando falta de conocimiento sobre la aparición de posibles enfermedades en la comunidad que pueden estar provocadas por esta situación de contaminación.

En cuanto al pH, se deben destacar los cinco valores que se encuentran por encima de 9, pues según la normativa internacional para el consumo de agua potable, los valores seguros están dentro del rango de 6,5 a 8,5. Teniendo en cuenta esto, los embalses no cumplen con este parámetro de calidad, principalmente el embalse 1, perteneciente a la región de Chomocuyo, indicando un valor extremo de pH, que pudiera estar relacionado con la aparición de algunas trazas de metales pesados. Esta situación constituye un peligro ambiental muy nocivo para la salud humana que vive en la región de estudio. En la figura 7 se observa el modelo geoestadístico para los valores de conductividad eléctrica.



**Figura 7. Modelo geoestadístico para valores de conductividad eléctrica**

Las condiciones de simulación de un nuevo modelo, se ha adaptado a la identificación de los factores naturales y antrópicos presentes en la región de estudio, donde se han insertado a este, las características hidrogeológicas del acuífero, los datos de los residuos sólidos y la identificación de las fosas sépticas en la región. Con toda esta información se estimaron las condiciones de simulación planteadas, en las cuales se brindó como resultado el modelo de peligros ambientales, el cual se clasificó en cuanto a la magnitud de los peligros en bajo, medio y alto como puede apreciarse en la figura 8.



**Figura 8. Modelo de peligros ambientales en la Comuna de Ondjiva**

Según los datos mostrados en este modelo, la escala de colores define un área extensa con peligro por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, del tipo alto con color rojo, pues los vertederos o basureros aislados constituyen la principal fuente de contaminación para este tipo de acuífero libre, el cual es muy vulnerable por estar expuesto al contacto directo con la superficie del terreno. Esto significa que toda la materia orgánica vertida en el suelo, reacciona con las aguas de escorrentía de las lluvias, favoreciéndose la infiltración de esta mezcla de agua de lluvia con materia orgánica disuelta, desprendiendo gases a la atmósfera e infiltrándose al manto a través de un suelo muy permeable.

En cuanto al peligro medio y bajo aparecen en una proporción mucho menor. En los barrios de Cachila 1, 2 y 3, más la Plaza de Chomucuyo, ubicada al noreste de la Comuna de Ondjiva se identificó una región de peligro alto (zona a la derecha del modelo con color rojo), relacionado con la contaminación del suelo por residuos sólidos, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por los lixiviados que estos generan, sumándose a este cuadro, las aguas residuales provenientes de las fosas sépticas del condominio de los profesores de la universidad. En el extremo izquierdo del modelo, se observó que los peligros predominantes son de bajo a medio, representados con los colores verde y amarillo. Dentro de esta zona, se identificaron pequeñas zonas de peligro alto por contaminación de las aguas subterráneas relacionado con los lixiviados de residuos sólidos de carácter orgánico.

### **Relación entre el peligro-daño-riesgo identificados en la región de estudio**

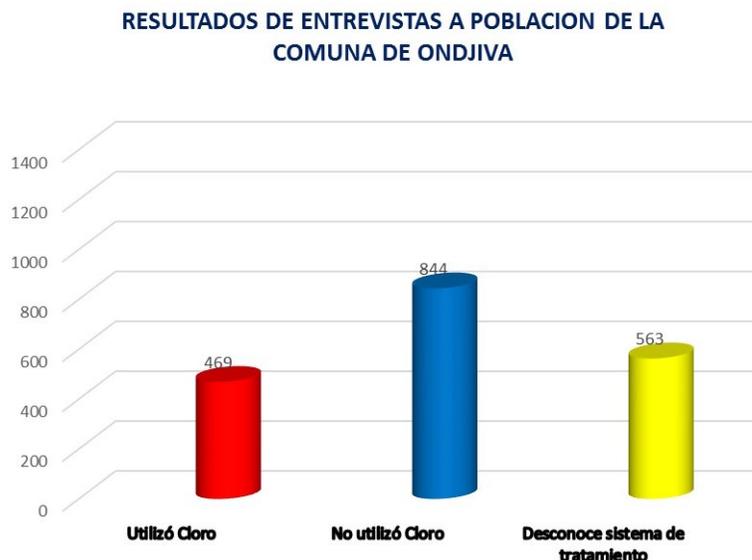
Se ha demostrado que existe relación entre los peligros-daños-riesgos ambientales en la zona de estudio, los cuales son identificados de forma directa a partir de la aparición de enfermedades hídricas relacionadas con la contaminación de las aguas como se aprecia en la tabla 3. En este sentido, durante el levantamiento de campo, se realizaron entrevistas en cada centro de salud a un ritmo promedio de 125 personas diarias durante 15 días. Este tipo de trabajo se realiza por primera vez y está vinculado con una propuesta de proyecto de ordenamiento urbano territorial del municipio Cuanhama y de la provincia Cunene. Para ello se identificaron enfermedades que no han sido erradicadas totalmente por los pobladores del lugar, donde carecen de un monitoreo y control periódico de estas.

**Tabla 3. Relaciones peligros-daños-riesgos ambientales identificados en la región de estudio**

<b>Peligros</b>	<b>Daños</b>	<b>Riesgos</b>
Malaria	Fiebre continua, dolor de cabeza, dolor corporal, constipación.	1593 personas padecieron la enfermedad.
Fiebre Tifoidea	Fiebre continua, dolor de cabeza, dolor corporal, constipación, hemorragia, úlcera en el intestino delgado.	188 personas padecieron la enfermedad.
Disentería Bacteriana	Diarrea con sangre o moco, dolor de abdomen, con evacuaciones entre 4 a 10 veces al día, paciente luce enfermo.	94 personas padecieron la enfermedad.

Se determinó que el desconocimiento humano sobre el tratamiento del agua en la población constituye un elemento de riesgo para la salud de los mismos. En los centros de salud no existen charlas educativas sobre cómo prevenir este tipo de enfermedades de transmisión hídrica. Sobre el tratamiento del agua para consumo, llama la atención que del 100% de personas entrevistadas, sólo el 25% utiliza cloro, el 45% expresa no utilizar ningún método de desinfección de la misma,

y el resto de la población utiliza otras fuentes de abastecimiento de agua sin aplicar ninguno de los métodos de desinfección, porque desconocen los mismos, véase figura 9.



**Figura 9. Resultados cuantitativos del uso de métodos para el tratamiento de las aguas superficiales y subterráneas en Ondjiva**

A partir de los resultados de este trabajo se recomendó a las autoridades de la Comuna de Ondjiva, desarrollar un estudio integral ambiental en la provincia Cunene, donde los actores principales sean, la universidad, la empresa y la comunidad, con el objetivo de buscar soluciones a los problemas generados por los factores naturales y antrópicos que afectan la región de estudio. Se les exhortó a replicar este trabajo de ordenamiento urbano territorial en los otros municipios que conforman la provincia de Cunene y en las otras regiones próximas a la misma. Se hizo hincapié en la necesidad urgente de implementar un programa de educación ambiental, dirigido principalmente a las escuelas primarias, donde los niños puedan obtener un conocimiento básico del cuidado y preservación del medio ambiente. Hacia la esfera del gobierno, se propone implementar un programa de capacitación para los funcionarios en las temáticas de evaluación, prevención y gestión de los riesgos ambientales generados por los factores naturales y antrópicos que afectan la región de estudio de forma más recurrente.

## CONCLUSIONES

1. Como novedad de esta investigación se presenta por primera vez un estudio de ordenamiento urbano territorial en la Comuna de Ondjiva, a partir de los análisis de calidad de las aguas superficiales y subterráneas, el cual se convierte en un primer antecedente para trabajos futuros sobre manejo ambiental de la región. A partir del procesamiento e interpretación de la base de datos digital, se obtuvo por primera vez el modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio, que unido al modelo geológico, sirvieron de base para la simulación de varios modelos tipológicos de peligros ambientales.
2. Con el procesamiento de los datos obtenidos, se realizó la simulación geoestadística de parámetros físicos que evalúan la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, demostrándose una relación directa con la identificación de enfermedades hídricas transmisibles, provocadas por la acción antrópica en la región de estudio. Se identificaron

- dos tipos de peligros naturales en la región de estudio: peligro por deslizamientos de tierras y peligro por inundaciones.
3. Se identificó el peligro por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales relacionado con la acción antrópica del hombre a través del vertido de residuos sólidos, fertilizantes e infiltración de aguas residuales provenientes de las fosas sépticas en el manto acuífero. El peligro por contaminación del suelo por residuos sólidos urbanos no tratados, constituye el principal peligro por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en la Comuna de Ondjiva, ejemplo de ello lo constituye el vertedero principal Cachila 3.
  4. Se demuestra la validación del modelo de peligros ambientales a partir de la caracterización y zonificación de los procesos naturales y antrópicos en la región de estudio. Se expone en la investigación, la relación que existe entre los peligros-daños-riesgos ambientales presentes en la región de estudio.

## REFERENCIAS

- Anderson M. P and Woessner W. W** (1992). “Applied groundwater modeling simulation of flow and advective transport”, Editorial Academic Press Inc., ISBN: 0-12-059485-4, San Diego, California, United States of America
- Brabb E. E.** (1984). “Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping”, IV International Symposium on Landslides, Vol. 1, pp. 307-323, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Toronto, Canada
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio** (2018). “Diagnóstico ambiental. Comunidad de Madrid, España”. Biblioteca Virtual de la Comunidad de Madrid, Madrid, España. Extraído de: [www.madrid.org/publicamadrid](http://www.madrid.org/publicamadrid) en julio de 2020
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D’Elía M. y París M.** (2001). “Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales”. ISBN: 84-8476-146-0. Editorial Banco Mundial, Washington D.C., USA
- Gutiérrez M. M., Márquez J. J., Materón H. y Rojas H.** (2004). “Modelación de acuíferos para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente”, Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, ISSN: 1692-9918, Vol. I, Nº. 1, pp. 38-49, Universidad del Valle, Cali, Colombia,
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas)** (2004). “Programa de Exploración de Aguas Subterráneas”. Tomado del sitio oficial del Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá, Colombia. Extraído de: [www.ingeominas.gov.co](http://www.ingeominas.gov.co) en agosto de 2020
- Leopold L. B., Wolman M. G. and Miller J. P.** (1964). “Fluvial processes in geomorphology”. Editorial Dover Publications Inc., San Francisco, California, USA, ISBN: 04-8668-5888
- Maestre F. T., Escudero A. y Bonet A.** (2008). “Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones”, Editorial Universidad Rey Juan Carlos, Servicio de Publicaciones, Madrid, España, ISBN: 978-84-9849-308-5
- Otálvaro M. V., Pimienta C. y Quintero M. C.** (2008). “Las aguas subterráneas. Un enfoque práctico. Colección de guías y manuales”, Editorial Universidad Nacional de Colombia e Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá, Colombia, ISBN: 978-958-99528-1-8
- Sánchez J. A.** (2002). “Identificación de los peligros geólogos geomorfológicos en la ciudad de Santiago de Cuba y áreas aledañas a la misma”, tesis en opción al grado de máster en Geología, mención Geología Ambiental, Universidad de Pinar del Río, Cuba
- Veríssimo, L. M.** (2019). “Plano de urbanización de la ciudad de Ondjiva. Caracterización biofísica”, Gobierno de la provincia de Cunene, Angola

**Colectivo de Autores** (2019). “Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos”, Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) y Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México. Extraído de: <https://agua.org.mx/biblioteca/estudio-sobre-proteccion-de-rios-lagos-y-acuiferos-desde-la-perspectiva-de-los-derechos-humanos> en septiembre de 2020.

### **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos a los siguientes especialistas angolanos de la Comuna de Ondjiva, por su valiosa contribución al desarrollo de este trabajo:

- Evangelisto Camati Vetchy: Administrador para el área técnica, Empresa de Aguas y Saneamiento de Cunene, Comuna de Ondjiva, Cunene, Angola.
- Julia Morales Perzil: Profesora Auxiliar, Departamento de Enfermería, Instituto Superior Politécnico de Cunene, Comuna de Ondjiva, Cunene, Angola.
- Enrique Rolando Nieves Pedrozo: Profesor Instructor, Departamento de Laboratorio Clínico y Microbiología, Facultad de Tecnología de la Salud, Instituto Superior Politécnico de Cunene, Comuna de Ondjiva, Cunene, Angola.

### **Conflictos de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### **Contribución de los autores**

*Julio Antonio del Puerto Sánchez* <https://orcid.org/0000-0001-6126-6396>

Realizó la identificación de los peligros ambientales que afectan la comuna de Ondjiva y su interrelación directa con la contaminación de las aguas producto de la acción antrópica. Elaboró la metodología de trabajo para la determinación de los peligros ambientales en la zona de estudio. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final del trabajo.

*Yaset Martínez Valdés* <https://orcid.org/0000-0001-9770-022X>

Participó en la evaluación de los riesgos por contaminación antrópica en la comuna de Ondjiva. Realizó la caracterización y zonificación de los factores naturales y antrópicos en la región de estudio. Revisó y colaboró en la redacción del trabajo en su versión final.