

IMPLEMENTING A MODEL FOR RESOURCE RISK MANAGEMENT WATER

Borda Prada Olga Lucia, Guerrero Rodríguez Ariel²

¹⁻² *Universidad La Gran Colombia, Bogotá D-C - Colombia. olga.borda@ugc.edu.co¹, ariel.guerrero@ugc.edu.co²*
Leonardo Di Franco ³ - *Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. leodifranco@gmail.com³ -*

Abstract– The results of the implementation of a model for the management of some risk indicators of water resources are presented below, for which, initially, an important drinking water supply network located in the Department of Cundinamarca Colombia was selected, next, vulnerability and threat factors were characterized and finally, risks associated with water quality and the use of water were analyzed quantitatively and qualitatively. soil mainly. This characterization was supported by the use of programming tools, drone photography, satellite images and analytical techniques such as Ultraviolet Visible spectrophotometry.

Keywords– Vulnerability, threat, risk, water resource, clean water

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL RECURSO HÍDRICO

Borda Prada Olga Lucia, Guerrero Rodríguez Ariel²

^{1,2} Universidad La Gran Colombia, Bogotá D-C - Colombia. olga.borda@ugc.edu.co¹, ariel.guerrero@ugc.edu.co²
 Leonardo Di Franco³ - Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. leodifranco@gmail.com³

Resumen– Se presentan a continuación los resultados de la implementación de un modelo para la gestión de algunos indicadores de riesgo del recurso hídrico, para lo cual, inicialmente, se seleccionó una importante red de abastecimiento de agua potable ubicada en el Departamento de Cundinamarca Colombia, seguidamente, se caracterizaron factores de vulnerabilidad y amenaza y finalmente, se analizaron de manera cuantitativa y cualitativamente riesgos asociados a la calidad del agua y al uso del suelo principalmente. Dicha caracterización, se apoyó en el uso de herramientas de programación, fotografía con Drone, imágenes satelitales y técnicas analíticas tales como la espectrofotometría Ultravioleta Visible.

Keywords– Vulnerabilidad, amenaza, riesgo, recurso hídrico, agua limpia

I. INTRODUCCIÓN

La gestión integral del recurso hídrico se relaciona con la identificación y control de eventos que pueden poner en riesgo las redes de abastecimiento, distribución y por tanto la sostenibilidad de las comunidades.

A nivel global, dicha gestión, se ha referido al diagnóstico y control de problemáticas de cobertura en zonas rurales y urbanas, al de los efectos de la variabilidad climática frente a las enfermedades de transmisión hídrica y a la priorización de impactos al objetobos de desarrollo sostenible, en particular al 6.1 que favorece la calidad de agua libre de contaminantes químicos y microbiológicos.

La distribución de agua segura se constituye en un eje fundamental de la soistenibilidad del entorno, ya que favorece a nivel local y regional la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación para la generación de planes, políticas y estrategias para gestionar los riesgos y por tanto los eventos mencionados.

De manera general, los conceptos relevantes en la gestión del recurso hídrico son la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. La amenaza representa el peligro de un evento que puede darse por causas naturales o por la acción humana, cuyo impacto afecta de manera directa la infraestructura, la vida humana, la

prestación de servicios, entre otros. Por otro lado, la vulnerabilidad es medible en cuanto a elementos como recursos ecosistemicos, personas, infraestructura, entre otros, que están expuestos a ciertas amenazas identificadas. Finalmente, el riesgo se mide en términos de los daños o impactos sobre los elementos mencionados. A continuación, se representa la relación entre estos conceptos.



En este contexto, se plantea una investigación para la implementación de un modelo para gestión del recurso hídrico, basado en la identificación cualitativa y cuantitativa de indicadores de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. La problemática surge de la caracterización de una red de abastecimiento regional ubicada en el Departamento de Cundinamarca, Colombia, la cual abastece alrededor de 270.000 habitantes.

Según datos de la Alcaldía Regional, la red NO cuenta con suficientes actualizaciones en sus mapas de riesgo por lo que resulta impreciso tomar decisiones en cuanto a los procesos de seguimiento de la calidad.

Así, desde la academia y basados en los resultados de esta investigación, se aportaron datos para la actualización de los mapas de riesgo mencionada, tales como, la valoración de atributos de la amenaza y vulnerabilidad, la evaluación del

riesgo de cancer asociado a ciertos contaminantes producto de los procesos de cloración y la cartografía de las redes de abastecimiento que permiten ubicar espacialmente zonas de vulnerabilidad y amenaza frente al riesgo del uso del suelo principalmente. Este último aspecto, hace apertura a una nueva investigación para la cuantificación de posibles trazas de componentes clorados y fosforados, debido al uso de plaguicidas en las prácticas de agricultura.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el marco de la problemática planteada se impelentan 3 fases, la primera, relacionada con la ubicación y descripción de una red de abastecimiento regional. En la segunda, se realizó una caracterización de la vulnerabilidad y amenaza basados en la metodología de GOD y en la tercera, se realizó una evaluación de los riesgos del recurso. A continuación, se amplía lo descrito.

Identificación de la red de abastecimiento de agua potable

Las fases dos y tres mencionadas se implementaron en una red de abastecimiento ubicada en el Departamento de Cundinamarca, Colombia. Ver figura 1

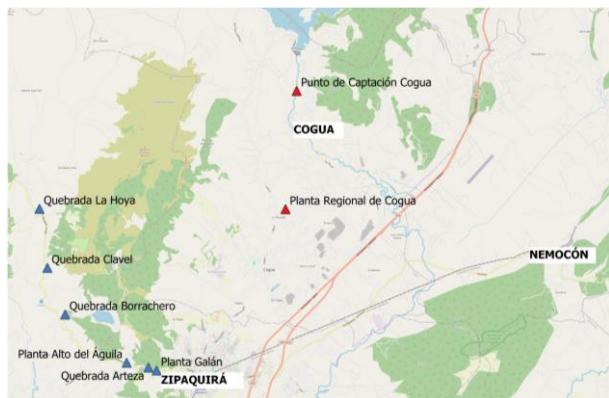


Fig. 1 Red de abastecimiento de agua regional, Departamento de Cundinamarca, Colombia. (ArcGIS)

Caracterización de indicadores de vulnerabilidad y amenaza

Basados en el manual para la metodología de evaluación de riesgos [1], se evaluó la amenaza mediante la aplicación de los criterios de frecuencia correspondientes: alto (sucede frecuentemente), medio (li,mitada probabilidad de ocurrencia) y bajo (ocurre pocas veces). Ver tabla I.

TABLA I
CRITERIOS DE FRECUENCIA PARA EVALUAR LA AMENAZA [2]

DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE POTENCIAL DE DAÑO
Puede afectar gravemente elementos físicos (destrucción) y personas (muerte o enfermedades), así como interrupción de las actividades de la zona.	ALTO
Puede afectar de manera moderada los elementos físicos, las actividades y las personas, sin que se generen muertes humanas.	MEDIO
Solamente se presentarían daños físicos leves	BAJO

Asimismo, se evaluo el potencial de daño en base a los valores de referencia: alto (daño a elementos y personas), medio (daño moderado) y bajo (daños físicos leves).

La vulnerabilidad se evaluó mediante el método del índice de GOD (Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depthto groundwater table) [2], cuya clase se clasificó en extrema, alta, moderada, baja y muy baja.

Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo se determinó de manera cualitativa, basados en los resultados de la vulnerabilidad y amenaza, dicha evaluación se realiza mediante el código de colores que se muestra en la tabla II [3].

TABLA II
GRADO DE RIESGO Y CÓDIGO DE COLOR [3]

RIESGO		AMENAZA		
		BAJA	MEDIA	ALTA
VULNERABILIDAD	MUY BAJA	MB	MB	MB
	BAJA	MB	B	B
	MODERADA	B	M	M
	ALTA	B	M	A
	EXTREMA	M	A	E

** MB: muy baja, B: Baja, M: Moderada, A: Alta, E: Extrema

GRADO DE RIESGO	COLOR
EXTREMA	ROJO
ALTA	NARANJA
MODERADA	AMARILLO
BAJA	VERDE CLARO
MUY BAJA	VERDE OSCURO

La determinación cuantitativa se realizó con respecto a ciertos parámetros de calidad que se definen en la normativa Nacional Vigente, la cual establece el índice de riesgo para el consumo humano [4]. En este sentido, por un tiempo de ocho meses se realizaron muestros en tres puntos de la red de distribución para el análisis In situ de pH, cloro residual libre y en laboratorio especializado de carbono total y trihalometanos. Finalmente, se realizó una correlación de estas variables para definir el riesgo de cáncer.

Para tal fin, se realizó visitas a los puntos de abastecimiento señalados en la figura 1, por un tiempo de 14 meses, en los cuales se realizaron muestros ubicados en la red de distribución y se caracterizó la zona mediante imagen satelital y fotografía con dron.

III. RESULTADOS

Identificación de la red de abastecimiento de agua potable

En la figura 2 se muestra el inventario general de las fuentes de abastecimiento del Departamento de Cundinamarca.

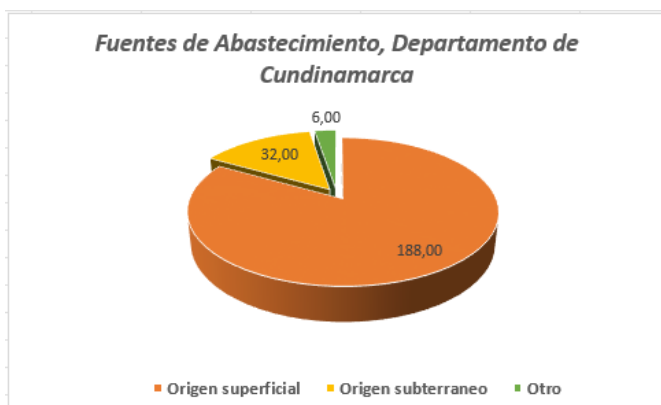


Fig. 2 ORIGEN DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA [5]

Puede observarse que el mayor porcentaje de las fuentes superficiales, asimismo 219 de estas se encuentran en el casco urbano y el restante en el contexto rural.

Según datos regionales la red está conformado por dos sistemas: uno urbano, el cual cuenta con una planta de tratamiento compacta y convencional y se abastece de un sistema superficial primario y otro, rural con dos plantas de tratamiento de agua que son alimentadas por cuatro quebradas, tal como se muestra en la figura 1.

La Empresa Prestadora del Servicio, mediante el sistema urbano genera la mayor captación para sus Municipio, estimada en 700L/S para un caudal de 940L/s y con el sistema rural y se coadyuda para los usuarios restantes.

Caracterización de indicadores de vulnerabilidad y amenaza

Para la evaluación de estos indicadores se tuvo en cuenta lo dispuesto por la Corporación Autónoma Regional (CAR), en cuanto a las unidades del uso del suelo [6].

Basado en lo anterior y la metodología descrita en la tabla I, se caracterizó la amenaza de la fuente de la red de abastecimiento, en la Figura 3 se presentan los resultados.

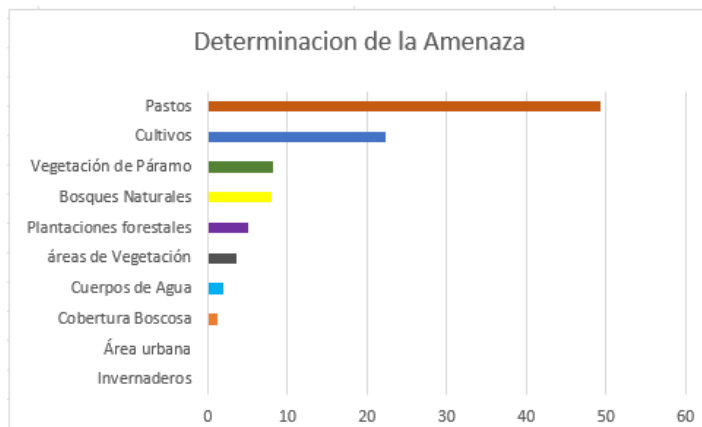


Fig. 3 AMENAZA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Con base en la tabla I se caracterizó la amenaza según los resultados que se muestran en la figura 3, esto, se relaciona a continuación en la tabla III

TABLA III
CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA [6].

Vegetación de Páramo	BAJA
Bosques Naturales	BAJA
Cobertura Boscosa	BAJA
Plantaciones forestales	BAJA
Cultivos	ALTA
Invernaderos	ALTA
Pastos	ALTA

Según la información de la figura 3 y tabla 1, se identificó que la amenaza alta sobre las fuentes de abastecimiento de la zona la constituye el uso del suelo, asociado principalmente a las prácticas agrícolas, de pastoreo e invernaderos.

Se implementó la metodología de GOD, la cual permitió evaluar el impacto de la contaminación de los efluentes debido al uso del suelo principalmente. En la tabla IV se presentan los niveles de vulnerabilidad de referencia[7].

TABLA IV
CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD [7]

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
EXTREMA	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
ALTA	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
MODERADA	Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
BAJA	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
MUY BAJA	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Inicialmente, se estimó en 1 el valor de G, debido a que se están caracterizando fuentes superficiales no confinadas, por otro lado, el valor de O correspondió a la litología zonal y para el caso de D se usó la herramienta ArcMap 10.7, con lo cual se obtuvieron los mapas para hallar la vulnerabilidad, según las escala cualitativa presentada en la tabla IV. A continuación, se representa en la tabla IV, escala obtenida según el índice de GOD calculado.

TABLA V
ESCALA DE VULNERABILIDAD VS ÍNDICE DE GOD

ESCALA DE VULNERABILIDAD	GOD
ALTA	0,54
ALTA	0,56
ALTA	0,63
ALTA	0,4
ALTA	0,56
ALTA	0,64
ALTA	0,63
ALTA	0,7
BAJA	0,3
EXTREMA	0,72
EXTREMA	0,72
EXTREMA	0,81
EXTREMA	0,8
EXTREMA	0,9
MODERADA	0,42
MODERADA	0,48
MODERADA	0,35
MODERADA	0,49
MODERADA	0,45
MODERADA	0,5

En la tabla V se puede observar que el mayor grado de vulnerabilidad está en nivel alto, seguido de extrema, moderada y baja, tal como se representa en la figura 4.

Vulnerabilidad de la zona

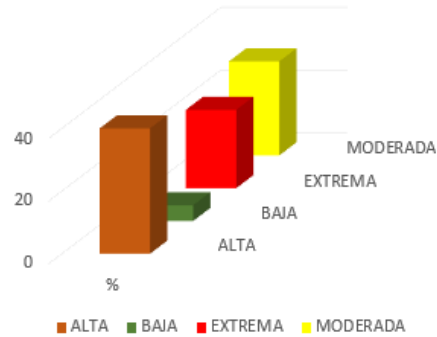


Fig. 4 PORCENTAJE DE VULNERABILIDAD EN LA ZONA

Teniendo en cuenta lo identificado en cuanto a la vulnerabilidad y amenaza se procedió a evaluar algunos indicadores de riesgo, relacionados con el uso del suelo (ver tabla III) y con la calidad del agua.

En relación a la calidad del agua se estableció el riesgo de cáncer en el agua tratada, con respecto a las trazas de subproductos de la cloración, tales como los trihalometanos, que según algunas investigaciones pueden encontrarse con mayor incidencia en el agua [8], debido a la alta reactividad del cloro libre con la materia orgánica que se encuentra de manera natural en los efluentes. Asimismo, los resultados se correlacionaron con variables in situ, tales como, el pH y la temperatura.

En la Figura 1 se muestra la imagen satelital de las fuentes de abastecimiento, la cual está conformada por una red de distribución que mediante los sistemas rural y urbano mencionados, abastecen alrededor de 170.000 usuarios. Según recomendaciones de la empresa prestadora del servicio se ubicaron tres puntos de muestreo en el casco urbano en donde el nivel de contacto del cloro adicionado en planta se espera es el adecuado. En la figura 5 se muestran estos puntos

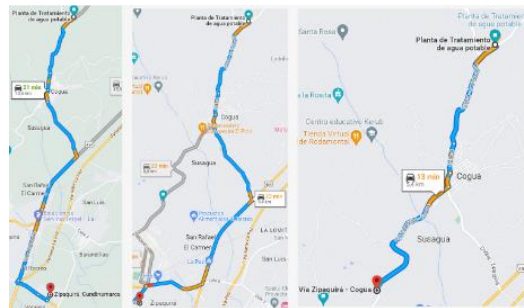


Fig. 5 PUNTOS DE MUESTREO Y TIEMPOS DE DESPLAZAMIENTO. Fuente Google Maps

Los muestreos para la determinación de los parámetros mencionados se realizaron por un periodo de ocho meses, con el fin de realizar una correcta correlación de variables en periodos de lluvia y seco. El volumen de muestras, temperatura de transporte, almacenamiento y preservación se realizó en el marco de la normativa Colombiana [9].

Se adecuó una técnica analítica por espectrofotometría Ultravioleta Visible para el análisis cuantitativo de Trihalometnos (THMs) y carbono total (COT). En el primer caso se realizaron lecturas a 530nm para implementar el método de Fujiwara [10], el COT se estableció en un rango de de onda de 260-285nm [11]. En la tabla VI se presentan los resultados.

TABLA VI
NIVELES DE THMs VS OTRAS VARIABLES

TRIMESTRE	UBICACIÓN	TEMPERATURA (°C)	COT (Mg/L)	THMs (Mg/L)	pH	CLORO RESIDUAL (mg/L)
1	Argelia	17,7	2,17	0,083	6,89	0,5
	Algarra III	18,3	3,42	0,103	7,17	0,5
	Paso Ancho	17,6	3,42	0,123	7,13	1,5
2	Argelia	17,1	3,05	0,167	7,89	1,5
	Algarra III	17,6	2,53	0,117	7,26	2
	Paso Ancho	17,6	3,17	0,139	6,89	2
3	Argelia	16	3,19	0,133	7,95	2
	Algarra III	16,8	2,55	0,199	6,11	1,5
	Paso Ancho	17,7	2,99	0,195	7,07	1,5

Puede observarse que los niveles de cloro residual a los largo del seguimiento se encontraron entre 0,3 y 2ppm, el promedio de THMs encontrado es de 0,13ppm, el cual está dentro de los parámetros esperados según la normativa Colombiana [4]. Los índices de correlación mostraron una relación directa entre el COT - temperatura y THMs. El punto de muestreo más próximo a la planta de tratamiento niveles más adecuados de COT aunque con ciertas variaciones de cloro residual.

En cuanto al riesgo asociado al uso del suelo, se realizaron visitas de campo a cada uno de los puntos de captación de señalados en la figura 1 con el fin de realizar una cartografía de la zona usando ArcGis apoyada con imagen con dron. En la figura 6 se muestra el mapeo obtenido del sistema urbano y rural.

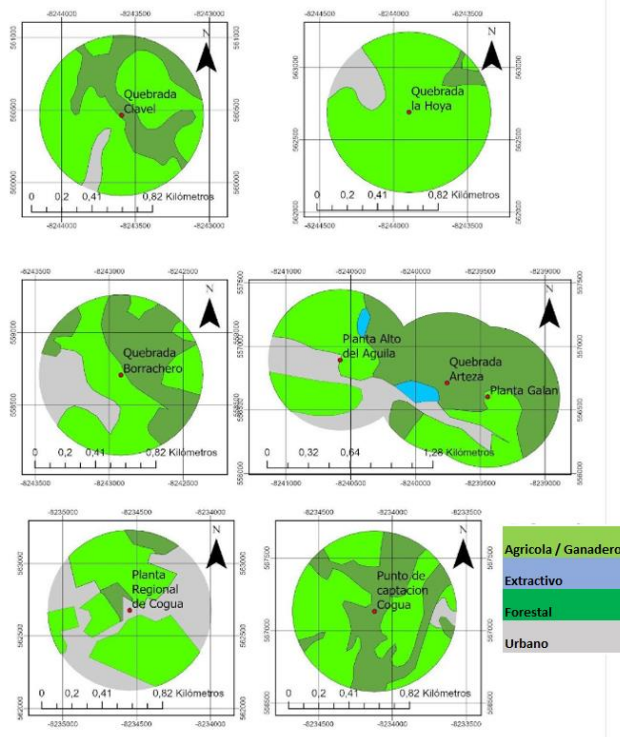


Fig. 6 MAPEO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO. ELABORACIÓN PROPIA - ARCGIS

La figura 6 hace evidente el riesgo por uso agrícola / Ganadero con el respectivo código de color, vemos que la quebrada la Hoya y el Clavel presentan mayor afectación por lo que debe iniciarse una etapa de muestreo para cuantificar posibles trazas de plaguicidas de origen clorado y fosforado que puedan generar contaminación y por tanto enfermedades de transmisión hídrica. Se encontraron importantes áreas forestales y ciertas zonas dedicadas al uso extractivo. Dicha mapeo se apoyó en imagen con Drone. En la Figura 7 se presentan algunas imágenes.



GPS
 Latitud 5, 4: 52.96159999999...
 Longitud 74: 3: 26.40450000000...
 Altitud 3205

Fig. 7 IMAGEN TOMADA CON DRON DE ZONA DE CULTIVO EN LA QUEBRADA LA HOYA. FUENTE PROPIA

Por zona se tomaron alrededor de 294 fotos con Drone, estas imagenes se cargaron a la aplicación Global Mapper, para generar las curvas de nivel, vegetación, entre otros, generandose imágenes globales de altimetría con colores. Ver figura 8.

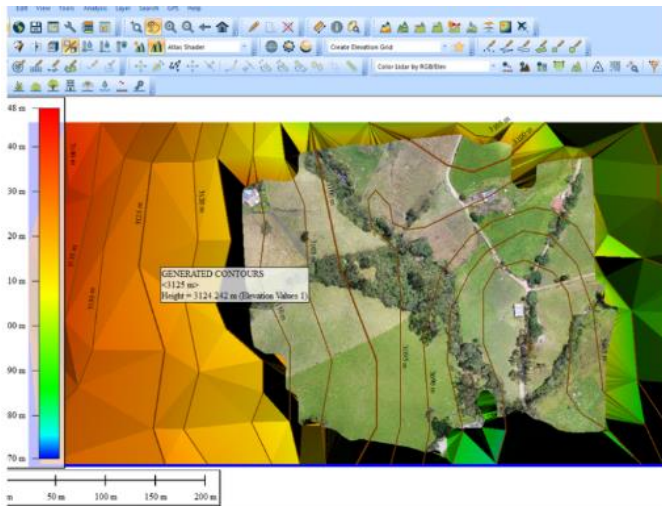


Fig. 8 MAPA DE ALTÍMETRIA. FUENTE PROPIA. GLOBAL MAPPER

IV. CONCLUSIONES

Se implementó una metodología para la gestión integral del recurso hídrico, la cual consistió en la evaluación de indicadores de vulnerabilidad, amenaza y riesgo. Dicha gestión provee a las empresas prestadoras del servicio la toma de

decisión en procedimientos de calidad y ajuste a los índices de riesgo de calidad del agua potable.

Se identificó la amenaza según indicadores de patos, cultivos, vegetación, bosques, cuerpos de agua, cobertura boscosa, área urbana e invernaderos, encontrándose una amenaza alta en cuanto a cultivos y pastos, con porcentajes del 22,37% y 49,34% respectivamente. Con base en la metodología del índice de GOD, se estimó un valor de G de 1, para el caso de O, se tuvo en cuenta la litología de zona y en cuanto a D se usó ArcMap 10.7. Con lo anterior se evaluó la vulnerabilidad. Con respecto al valor de GOD obtenido: Alta: 40%, Baja: 5%, Extrema: 25% y moderada: 30%. Lo anterior indica que la zona presenta cierta resistencia litológica y de relieve para el control de los riesgos relacionados con la contaminación y el uso del suelo.

Se evaluó el riesgo con respecto a la contaminación de los procesos de cloración, esto, debido a que ciertas investigaciones sugieren que es usual la formación de subproductos cancerígenos tales como los THMs. En tres puntos representativos de la red de distribución se realizaron muestreos por ocho meses para correlacionar las trazas de THMs con respecto al COT, cloro residual y variabilidad climática. Se determinó un riesgo nulo de cáncer con respecto a los índices de correlación y la normativa local.

Se realizó un cartografía de la zona, apoyados en Arcgis e imagen con drone, con lo cual se identificaron puntos de muestreo y ubicación de la vulnerabilidad por uso del suelo asociado a prácticas agrícolas y ganaderas.

La presente investigación se constituyó en un referente importante para la empresa prestadora del servicio en la actualización de los mapas de riesgo, con los cuales es posible la toma de decisiones para preservar la calidad de agua para las comunidades.

REFERENCIAS

- [1] Lozano, H., & Caicedo, H. (2019). *Capad Herramientas: Incorporando la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en proyectos de inversión pública*. Departamento Nacional de Planeación. Metodología para evaluar los riesgos
- [2] Vargas, M. C., & Tosse, O. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Bogotá.
- [3] PNUD. del Riesgo, G., & Climático, C. (2015). *Conceptos Básicos de la Gestión de Riesgos*.
- [4] Resolución 2115 de 2007. Disponible en: https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

[5] Contraloría de Cundinamarca (2019). Agua potable en Cundinamarca. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f8f13c3ee.pdf>

[6] CAR, C. E. (2018). Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá Subcuenca río Alto Bogotá-2120-19, Subcuenca Rio Neusa.

[7] Vargas, M. C., & Tosse, O. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Bogotá.

[8] Govorova, Z., Gorenko, G., Rudich, U., & Govorov, V. (2018). Evaluation of barrier functions of traditional water supply facilities in relation to toxic trihalomethanes. MATEC Web of Conferences, 251, 03032, 2018 (Consulta, 15 de mayo de 2020), Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103032>

[8] Decreto 1575 (2011). Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para el análisis de laboratorio. Recuperado de: <https://bit.ly/3gzEW4Y>

[8] Huang, Jerry YC, and Gary C. Smith. "Spectrophotometric determination of total trihalomethanes in finished waters." Journal-American Water Works Association 76.4 (1984): 168-171.

[9] Kim C., Eom J.B., Jung S., Ji T. (2016). Detection of Organic Compounds in Water by an Optical Absorbance Method. *Sensors*. 2016;16:61. doi: 10.3390/s16010061.