



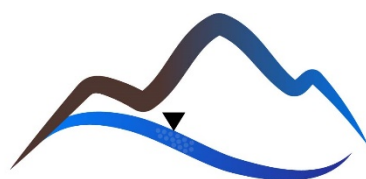
VII Congreso Colombiano de Hidrogeología

Agua subterránea para el desarrollo sostenible

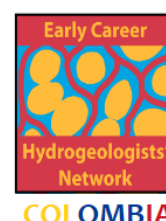
MEMORIAS, PONENCIAS Y POSTERS

20 al 24 marzo 2023 Universidad EAFIT, Medellín

Organizan:



Asociación Colombiana de Hidrogeólogos



¡GRACIAS!

Fue un verdadero placer contar con tu participación en este importante encuentro y conectar con expertos de todo el mundo en el campo de la hidrogeología.

Durante las diferentes temáticas del VII CCH, abordamos temas relevantes entorno al agua subterránea, compartimos conocimientos, intercambiamos experiencias y debatimos sobre los retos o desafíos que enfrentamos en la gestión del agua subterránea en nuestra sociedad.

Esperamos que hayas disfrutado de una experiencia enriquecedora y productiva, estableciendo nuevos vínculos y colaboraciones que contribuyan a fortalecer el compromiso con la hidrogeología en nuestro país.

¡Gracias por ser parte de este importante evento y desde aquí, te deseamos un excelente futuro!

Un especial agradecimiento a nuestros patrocinadores:

DIAMANTE



SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



PLATA



BRONCE



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN PONENCIA -D1-1	7
Contaminación del acuífero Morroa, por aguas residuales del arroyo Grande de Corozal, Departamento de Sucre, Colombia.....	7
RESUMEN PONENCIA -D1-2	8
Identificación del Comportamiento de los Agroquímicos en Suelos De Cultivo de Cebolla En Aquitania Boyacá.....	8
RESUMEN PONENCIA -D1-3	9
Definición de Manantiales mediante Hidroquímica y Estadística Multivariada.....	9
RESUMEN PONENCIA -D1-4	4
Análisis comparativo multitemporal de la precipitación entre CHIRPS y estaciones pluviométricas en el desierto de La Tatacoa.	4
RESUMEN PONENCIA -D1-5	5
Desplazamiento vertical de la falla de Montenegro a partir de datos de la perforación de pozos para aguas subterráneas.....	5
RESUMEN PONENCIA -D1-6	6
Estimación de superficies piezométricas usando Grace.	6
RESUMEN PONENCIA -D1-7	7
Economía circular del agua y su contexto en Colombia.....	7
RESUMEN PONENCIA -D1-8	8
Análisis de prefactibilidad para el reúso de aguas tratadas en la recargagegestionada de un acuífero somero en Santander, Colombia.....	8
RESUMEN PONENCIA -D1-9	9
Recarga Artificial de Aguas Subterráneas en Santa Marta y Bogotá, Colombia.	9
RESUMEN PONENCIA -D1-10	10
Recarga de Sistemas Lenticos en Zonas de Páramo caso de estudio: origen de la recarga del sistema Laguna Negra, localizada en el Páramo de Oceta a partir de la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual.....	10
RESUMEN PONENCIA -D1-11	11
Estimación de la recarga de frente de montaña a partir de un modelo de lluviaescorrentía en el centro de México.....	11
RESUMEN PONENCIA -D1-12	12
Efectos del Cambio Climático en la recarga potencial por precipitación en los valles de Aburrá y San Nicolás (Antioquia).	12
RESUMEN PONENCIA -D1-13	13
Estimación de la recarga potencial de aguas subterráneas en un bosque seco tropical....	13
RESUMEN PONENCIA -D1-14	14

Evaluación de la recarga de aguas subterráneas bajo escenarios de cambio climático en un bosque seco tropical.....	14
RESUMEN PONENCIA -D1-15	15
Aplicación de metodologías para la estimación de la recarga en acuíferos: implementación inicial en cuenca del Río La Miel y extrapolación en la cuenca Aburrá-Medellín.....	15
RESUMEN PONENCIA -D1-16	16
Determinación de la Línea Meteorica Local del Sur Oriente del Departamento de Boyacá a través de Isotopos Estables en agua.....	16
RESUMEN PONENCIA -D2-1	18
Modelamiento de la geometría y espesor de acuíferos profundos en la cuenca media del río Bogotá con énfasis en las formaciones del grupo Guadalupe a partir de la interpretación de anomalías geofísicas integradas y datos de perforación.....	18
RESUMEN PONENCIA -D2-2	19
La prospección Geofísica en la ubicación de acuíferos en sectores del departamento de Boyacá y Casanare, Colombia.....	19
RESUMEN PONENCIA -D2-3	20
La aplicabilidad de los registros geofísicos de pozo para la evaluación del agua subterránea profunda. Caso Campo Yariguí-Cantagallo, Colombia	20
RESUMEN PONENCIA -D2-4	21
Modelo hidrogeológico numérico para evaluar los impactos de la reinyección de.....	21
RESUMEN PONENCIA -D2-5	22
Modelación de la salinidad del agua subterránea a partir de registros de pozo, en el acuífero del Grupo Real. Sector entre San Pablo y San Rafael, zona norte del valle medio del Magdalena, Colombia.....	22
RESUMEN PONENCIA -D2-6	23
Modelo hidrogeológico conceptual del Acuífero aluvial del Valle del Río Nechí, entre los municipios de El Bagre y Nechí, Antioquia.	23
RESUMEN PONENCIA -D2-7	25
Análisis de sensibilidad aplicado al Modelo Hidrogeológico Numérico (MHN) en el acuífero aluvial del río Nechí, Antioquia.	25
RESUMEN PONENCIA -D2-8	26
Modelación de la dinámica de flujo subterránea en el valle de San Nicolás.....	26
RESUMEN PONENCIA -D2-9	28
Insumos para la construcción del modelo hidrogeológico y caracterización de los tensores asociados al acuífero costero de Ciénaga-Fundación, ecorregión CGSM-Colombia.	28
RESUMEN PONENCIA -D2-10	29
Desarrollo del modelo TETIS – MPE para modelar el uso conjunto en una cuenca con demanda creciente	29

RESUMEN PONENCIA -D2-11	30
Evaluación de escenarios futuros utilizando un suavizador de ensamble iterativo y flujos de trabajo reproducibles.....	30
RESUMEN PONENCIA -D2-12	31
Análisis cuantitativo del fracturamiento y su implicación en la evaluación de rocas cristalinas como sistemas acuíferos: caso de estudio en la cuenca del río La Baja (departamento de Santander).	31
RESUMEN PONENCIA -D2-13	32
Estimación preliminar del potencial de geotermia somera para Bogotá mediante SIG..	32
RESUMEN PONENCIA -D2-14	33
Prediction uncertainty and data worth assessment for recovery data in postclosure mines with Python and PEST++GLM.	33
RESUMEN PONENCIA -D2-15	34
Hydrogeology Perspectives on Carbon Sequestration.....	34
RESUMEN PONENCIA -D2-16	35
Desafíos y evaluación de impactos en un Tajo Abierto en los Andes Peruanos, utilizando técnicas avanzadas de programación con Python.....	35
RESUMEN PONENCIA -D2-17	36
Evaluación isotópica e hidrogeoquímica en la cuenca de la quebrada La Baja en el municipio de California, Santander.	36
RESUMEN PONENCIA -D2-18	37
Determinación de línea base hidrogeoquímica considerando la teoría de sistemas de flujo aplicado a un karst tropical de montaña en el sur de México.	37
RESUMEN PONENCIA -D2-19	38
Estudio de la circulación de agua subterránea en un sistema de alta montaña mediante el uso de herramientas geoquímicas e isotópicas. Caso de estudio Nacimiento del Río de Oro, Macizo de Santander (Colombia).	38
RESUMEN PONENCIA -D2-20	39
Análisis de la modificación del nivel base de descarga global a través de la identificación de las componentes del sistema regional de flujo de agua subterránea: Caso de estudio Sistema Nazas, México.	39
RESUMEN PONENCIA -D2-21	40
Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de las fuentes de agua potable en la Ciudad de Morelia (Michoacán, México).	40
RESUMEN PONENCIA -D3-1	41
Estimación de Parámetros Hidráulicos en Acuíferos Costeros A Partir de la Respuesta del Agua Subterránea a las Mareas Oceánicas. Caso De Estudio: Barranquilla, Colombia.	41
RESUMEN PONENCIA -D3-2	42

Conciliando modelos y observaciones para mejorar nuestro entendimiento de la conectividad hidrológica subsuperficial en corredores fluviales.....	42
RESUMEN PONENCIA -D3-3	43
Modelo Basamento Hidrogeológico Campo Integrado Palogrande - Cebú - Pijao. Una Integración de Modelos de Sísmica-Pozo-Electroresistividad-Magnetotelúrico para la protección de acuíferos aprovechables.	43
RESUMEN PONENCIA -D3-4	44
Nivel de Fondo Químico Natural para el Sistema Acuífero del Miembro Superior de la Formación Los Santos, Santander (Colombia).....	44
RESUMEN PONENCIA -D3-5	45
Percepciones acerca del agua subterránea en Antioquia.	45
RESUMEN PONENCIA -D3-6	46
Evolución de las herramientas y aplicaciones usadas para apoyar la gestión y planificación de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca.	46
RESUMEN PONENCIA -D3-7	47
La Ciudad Universitaria de Bogotá, un laboratorio al aire libre para la hidrogeología dentro de una gestión ambiental sustentable.	47
RESUMEN PONENCIA -D3-8	48
Gestión de acuíferos en operaciones de explotación de hidrocarburos.	48
RESUMEN PONENCIA -D3-9	49
Potencial hidrogeológico, Bosque seco Tropical y Acuíferos.....	49
RESUMEN PÓSTER 1	50
Análisis de la composición isotópica del agua lluvia y su respuesta en el sistema kárstico del sector del Manantial de Cañaverale, La Guajira, Colombia.	50
RESUMEN PÓSTER 2	51
Avances de una propuesta para integración de sensores remotos, técnicas SIG y análisis isotópicos aplicados a la identificación de zonas con potencial de recarga en un sector del sistema acuífero Ubaté-Chiquinquirá, Colombia.	51
RESUMEN PÓSTER 3	52
El rol de la hidrogeología en la evaluación de sitios contaminados.	52
RESUMEN PÓSTER 4	53
Estado Ambiental de los Acuíferos con influencia en el Perímetro Urbano del Distrito Capital-año 2022.	53
RESUMEN PÓSTER 5	54
Hacia un modelo de correlación para la estimación de la recarga hidrogeológica en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur – Orinoquía colombiana.	54
RESUMEN PÓSTER 6	55
Importancia del uso de las concentraciones de fondo para la evaluación del impacto antrópico sobre el suelo y agua subterránea. Caso: Metales.	55

RESUMEN PÓSTER 7	56
Modelo espacial para la determinación de zonas potenciales de afloramientos de agua natural, caso de estudio en el municipio de Jericó – Antioquia.	56
RESUMEN PÓSTER 8	57
Una comparación entre dos métodos de inversión geofísica para datos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM): aplicaciones en hidrogeología.	57
RESUMEN PÓSTER 9	58
Reclasificación de las actividades potencialmente contaminantes para el seguimiento y prevención a la contaminación del acuífero del Valle del Cauca.	58
RESUMEN PÓSTER 10	59
Estudio preliminar de la composición isotópica mensual del agua lluvia y su respuesta en el sistema acuífero del Miembro Superior de la Formación Los Santos, Sector Mesa de Los Santos (Santander, Colombia).	59
RESUMEN PÓSTER 11	60
DAGpy: un paquete de Python para la asimilación de datos en la modelación hidrogeológica.	60
RESUMEN PÓSTER 12	61
Aporte al conocimiento hidrogeológico del acuífero Teatinos, Provincia de Márquez, Boyacá.	61
RESUMEN PÓSTER 13	62
Desarrollo metodológico para evaluar la potencialidad de zonas de recarga de acuíferos aluviales. Caso de estudio: zona sur del acuífero en el departamento del Valle del Cauca, Colombia.	62
RESUMEN PÓSTER 14	63
Tomografía de Resistividad Eléctrica TER para identificación de contaminación en Estaciones de Servicio.	63

RESUMEN PONENCIA -D1-1

Contaminación del acuífero Morroa, por aguas residuales del arroyo Grande de Corozal, Departamento de Sucre, Colombia.

Herrera, M.^{1*}, Contreras, Y.² y Herrera, H.³

¹Contratista, Bogotá, Colombia.

²Consultora, Fernie, Canadá.

¹CORNARE, Santuario, Antioquia, Colombia.

*mariaceciliaherrerareza@gmail.com; yeraldin.contrerast@gmail.com;
hherrera@cornare.gov.co.

El acuífero Morroa ubicado en la zona central del departamento de Sucre (NW de Colombia), es la única fuente de abastecimiento de los acueductos que surten a las poblaciones urbanas y rurales ubicadas en la zona central de este departamento. Este es un acuífero complejo multicapa constituido por una secuencia de capas de areniscas conglomeráticas, areniscas finas a medias, intercaladas con lentes y capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente fluvio lacustre. La zona de recarga del acuífero, entre el corregimiento de Bremen y el Casco urbano de Corozal, es atravesado por el arroyo Grande de Corozal, que lleva las aguas residuales sin tratamiento de los municipios de Sincelejo, Morroa y Corozal. Teniendo en cuenta el riesgo inminente de contaminación del acuífero Morroa por las aguas servidas de este arroyo, se realizó la presente investigación, con el objeto de establecer el avance de esta contaminación y diseñar unas estrategias de manejo ambiental para este acuífero. Para cumplir con estos objetivos se realizaron dos campañas de monitoreo una en la época lluviosa y otra en la época seca, donde se analizaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e isotópicos (^2H y ^{18}O) del agua del Arroyo Grande de Corozal y del acuífero de Morroa. Las muestras fueron tomadas de piezómetros múltiples ubicados estratégicamente en la zona de recarga del acuífero y a lo largo del trayecto del arroyo (al entrar en la zona de recarga, en la zona intermedia y antes de salir de esta). Los resultados de estos análisis mostraron que efectivamente hay una contaminación del acuífero Morroa por las aguas residuales sin tratamiento provenientes del arroyo Corozal, lo cual fue corroborado con la isotopía. La pluma contaminante en el sector de Bremen donde el arroyo inicia su entrada a la zona de recarga del acuífero, y en la zona media, ha llegado hasta los 8 m de profundidad; y a la salida del arroyo de la zona de recarga, la pluma contaminante ha alcanzado los 63 m de profundidad. Estas diferencias de avance de la pluma contaminante, puede explicarse porque el arroyo atraviesa niveles del acuífero de diferentes permeabilidades. Por último, con base a estos resultados, se diseñó una estrategia de manejo ambiental para prevenir, controlar y mitigar los impactos que se están generando sobre el acuífero Morroa, por la contaminación de las aguas residuales del arroyo Grande de Corozal.

Palabras clave: acuífero Morroa, contaminación, aguas residuales, zona de recarga.



RESUMEN PONENCIA -D1-2

Identificación del Comportamiento de los Agroquímicos en Suelos De Cultivo de Cebolla En Aquitania Boyacá.

Gil Morales Jaime Andrés¹, Cantor Preciado Fabián Darío², Jiménez Castro Leidy Fernanda³, Segura Poveda Fredy Alexander⁴.

Palabras claves

Degradación, Infiltración, Modelación, Propiedades físicas y químicas.

El municipio de Aquitania, Boyacá, tiene un gran potencial en el cultivo de cebolla larga (*Allium fistulosum*), por lo cual buscan que las cosechas sean más productivas en un corto tiempo, asequibles para su consumo y abastecimiento, para este fin se emplean una gran variedad de agroquímicos para fertilizar, controlar plagas entre otros, sin controlar la problemática a consecuencia de la utilización de estos agroquímicos que afectan las propiedades del suelo, agua y aire, por el excesivo uso en los cultivos de cebolla.

En diferentes estudios aseguran que el uso de los agroquímicos en cultivos causa grandes desequilibrios en los suelos a nivel físico y químico, ya que varios componentes están asociados a diferentes procesos, esto se debe a la absorción de los químicos que están elaborados estos productos esto se ocasiona por el uso excesivo, trayendo consecuencias como el deterioro, erosiones, acidificación en la zona. También se indica que la aplicación directa de los agroquímicos al suelo tiene un porcentaje bastante alto, por lo cual esto ocasiona que el suelo presente afectaciones a un corto plazo por el mal uso que se da, para ello se buscan alternativas que ayuden a la mejora de estas problemáticas que se presentan en los cultivos de cebolla larga en el municipio.

En el siguiente trabajo se dará a conocer los efectos negativos que causan en el suelo los diferentes agroquímicos que son más usados en la zona, para ello se recopila información de diferentes estudios que se han realizado en el municipio de Aquitania, Boyacá. Desarrollando un proceso de modelamiento para establecer el comportamiento de los componentes químicos de los agroquímicos en el suelo con ayuda de software MATLAB. También se establece la incidencia del agua lluvia en las características del agua superficial de la zona por efecto de infiltración del agua en el suelo.

Se quiere lograr identificar el comportamiento de los componentes de los agroquímicos en el suelo mediante análisis, datos e información recolectada durante la investigación para llegar a determinar soluciones y beneficios de la problemática que se presenta.

¹ Docente Universidad ECCI. E-mail: jgilm@ecci.edu.co ORCID 0000-0002-0871-9955

² Universidad ECCI. E-mail: Fabiand.cantorp@ecci.edu.co ORCID: 0000-0001-

9110-8014³ Universidad ECCI. E-mail: Leidyf.jimenezc@ecci.edu.co

ORCID:0000-0002-6816-1156⁴ Universidad ECCI. E-mail:

Fredya.segurap@ecci.edu.co ORCID: 0000-0003-0047-7880

RESUMEN PONENCIA -D1-3

Definición de Manantiales mediante Hidroquímica y Estadística Multivariada.

Chavarria Arboleda, Laura ¹; Jaramillo Uribe, Marcela ¹

¹ Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

lchavarria@eafit.edu.co

Históricamente se ha reconocido la importancia hidrogeológica, ecosistémica y cultural de los manantiales para la protección del recurso hídrico subterráneo y superficial. A pesar de esto en Colombia el estudio de los manantiales es muy limitado y no existe una metodología para su correcta clasificación, especialmente en estas zonas tropicales, donde los sistemas hidrogeológicos son tan complejos debido a la topografía abrupta, las altas precipitaciones y el desarrollo de suelos espesos. Este estudio consiste en la definición de una metodología sistemática que parte de la hipótesis de que existen características hidrogeoquímicas en el agua que permiten establecer la procedencia de puntos de agua existentes en una zona montañosa del departamento de Antioquia, donde afloran depósitos de vertiente y el perfil de meteorización completo rocas ígneas plutónicas. El objetivo principal de este estudio fue definir las interacciones y procesos hidroquímicos del agua lluvia una vez se infiltra, fluye e interactúa con el medio subterráneo, para entender si el agua que aflora en superficie es subterránea o es agua vadosa. Para ello se emplearon análisis hidrogeoquímicos, fisicoquímicos y estadística multivariada de agrupación, todo enmarcado en el conocimiento hidrogeológico de la zona, a partir de información suministrada por la empresa Gramalote Colombia Limited S.A, que involucró datos fisicoquímicos in situ y de calidad de agua en diferentes tipos de afloramientos hídricos. Los resultados mostraron que no todos los puntos de agua identificados en la zona de estudio pueden ser clasificados como manantiales sensu stricto; sino que, algunos tienen una relación única con la lluvia y por cambios morfométricos o geológicos, ocurre su afloramiento en superficie, sin que sean necesariamente flujos provenientes de la zona saturada. Nuestros resultados son una primera aproximación a la investigación y clasificación de los manantiales en Colombia, vital para fortalecer las directrices actuales en la declaración de las zonas de protección y uso del suelo asociado con el recurso subterráneo.

Palabras clave: Agua vadosa, zonas de protección, rocas ígneas, depósitos de vertiente, Antioquia.

RESUMEN PONENCIA -D1-4

Análisis comparativo multitemporal de la precipitación entre CHIRPS y estaciones pluviométricas en el desierto de La Tatacoa.

Cruz, D.^{1,*}, Ramirez, V.¹ y Jaramillo, M. ¹

¹Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

*dcruzl@eafit.edu.co

El desierto de La Tatacoa es la segunda zona más árida de Colombia, un destino turístico que se encuentra dominado por condiciones climáticas secas y alta desertificación. La oferta hídrica de la zona es escasa y por tanto el abastecimiento de agua a la población es una problemática fundamental, esto implica que el agua subterránea en muchos casos sea la fuente principal. Sin embargo, el sistema acuífero Neiva-Tatacoa-Garzón dentro del cual se encuentra la zona, no cuenta con suficientes estudios hidrológicos e hidrogeológicos de calidad. Uno de los factores mas importantes de la hidrogeología que permite entender la problemática de abastecimiento de agua en la zona es la recarga. Los métodos utilizados para estimar la recarga tienen como variable clave la precipitación, para ello se utilizan productos de precipitación satelital como CHIRPS (The Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data). Sin embargo, varias investigaciones consideran importante validar los productos de precipitación satelital antes de ser utilizados como insumo para la estimación de la recarga. Este estudio contribuye al conocimiento hidrológico de la zona, por medio de la validación del producto CHIRPS en escala diaria, mensual y anual en el intervalo 1981-2021. La metodología empleada consta de las siguientes etapas: (1) Adquisición y procesamiento de datos por medio del método punto-píxel, (2) Análisis de calidad para las estaciones pluviométricas (3) Análisis de precipitación para las series pluviométricas y de CHIRPS, (4) Análisis comparativo a partir de estadística descriptiva (coeficiente de correlación (CC), raíz del error cuadrático medio, sesgo medio relativo) e inferencial (Prueba t pareada, Prueba F, ANOVA). Los resultados muestran que CHIRPS es un producto estadísticamente representativo para estimar la precipitación a escala mensual (CC = 0.87) y anual (CC = 0.75), mientras que en la escala diaria presenta un bajo rendimiento (CC = 0.19). Adicionalmente, CHIRPS reproduce adecuadamente características de la precipitación en las tres escalas, como el régimen bimodal del ciclo mensual multianual y la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. No obstante, CHIRPS sobreestima la precipitación en todas las escalas. Este estudio concluye que CHIRPS puede ser un sustituto de las estaciones pluviométricas en escala anual o mensual en el desierto de La Tatacoa. Esto implica que se pueden utilizar métodos de estimación de la recarga que empleen la precipitación en escala mensual o anual, pero aquellos métodos que utilicen la escala diaria no son recomendables para estimar la recarga en esta zona.

Palabras clave: Recarga potencial, Acuífero Neiva-Tatacoa-Garzón, Sensores remotos, Precipitación satelital.

RESUMEN PONENCIA -D1-5

Desplazamiento vertical de la falla de Montenegro a partir de datos de la perforación de pozos para aguas subterráneas.

Morales, C.J. ¹

¹Servicio Geológico Colombiano –

SGCcmorales@sgc.gov.co

Los datos litológicos obtenidos en las perforaciones exploratorias en los departamentos del Quindío y Risaralda, aparte de definir los acuíferos presentes, permiten determinar la profundidad de las unidades geológicas en cada bloque de la falla de Montenegro, que están cubiertas por los depósitos fluvio-volcánicos del Abanico Quindío-Risaralda. Esta falla es satélite de la Falla Cauca - Almaguer y la más oriental del Sistema de Romeral. Su trazado de falla está muy bien definida sobre la parte media del Abanico del Quindío, con dirección N20°E., demarcada con un talud de 50m de altura en promedio, pero puede variar de 30 a 70m, probablemente con buzamiento al NW. Presenta actividad neotectónica y es considerada como falla activa.

A partir de los datos obtenidos de las perforaciones exploratorias de los pozos SGC Bomboná de 250 m en Circasia, SGC La Tebaida de 600 m y SGC Montenegro de 346 m de profundidad respectivamente, y del pozo Parque Nacional del Café de 245m, para confirmar el Modelo Hidrogeológico del Abanico Quindío-Risaralda, fueron descritos los registros litológicos de las unidades litológicas superficiales y del subsuelo. En el pozo SGC Montenegro el basamento hidrogeológico (¿Formación Barroso?) está a 315 m de profundidad, al W de la Falla de Montenegro en el bloque levantado; en el pozo SGC La Tebaida ubicado en el bloque hundido a 600 m de profundidad se tienen depósitos del Abanico Quindío-Risaralda hasta 361 m y las sedimentitas de la Formación Cinta de Piedra (362-571 m), el basamento hidrogeológico fue registrado a 572 m.

Las unidades observadas del Oligoceno al Mioceno medio permiten estimar que el desplazamiento vertical (salto) de esta falla es mucho mayor que los valores inferidos anteriormente con observaciones de los rasgos geomorfológicos en superficie. El pozo Parque Nacional del Café a 250 m de profundidad registra arcillas, arcillas arenosas, arenas, gravas y bloques, derivados de materiales volcánicos, pero no el basamento hidrogeológico. El pozo SGC Cerritos al W de Pereira con 544 m de profundidad, sirve como punto de correlación, el registro litológico describe el Abanico Quindío-Risaralda hasta 165m, la Formación Cinta de Piedra a 374 m y el basamento hidrogeológico desde 365 hasta 544 m del fondo del pozo. En este artículo se presentan las características hidrogeológicas de los sistemas acuíferos del área de influencia de los pozos exploratorios.

Palabras clave: salto de falla, pozo profundo, basamento hidrogeológico, Abanico Quindío –Risaralda

RESUMEN PONENCIA -D1-6

Estimación de superficies piezométricas usando Grace.

Velez O, Maria Victoria ¹ Londoño, Ruben Darío ¹; Bastidas Breiner, ¹, Gomez, JuanCamilo ²

1 Servicios hidrogeológicos Integrales; 2 Minera

Quebradonamaría.velez@shi-colombia.com

En muchos lugares se tiene información hidrogeológica de piezómetros, escasa, para estimar superficies piezométricas, es necesario entonces, aplicar otras metodologías, las cuales se validan a nivel regional y local, con los datos de niveles que se han medido directamente en sectores aledaños.

Se presenta en este artículo una metodología que utiliza datos observados de las misiones satelitales GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment, combinada con el comportamiento espacial y temporal de algunos niveles piezométricos en las regiones, junto con variables físicas tales como la topografía del terreno.

Las superficies piezométricas estimadas resultan entonces, de una combinación de datos hidrogeológicos directos (niveles medidos en los piezómetros de la zona) e indirectos (variaciones de almacenamiento subterráneo de GRACE) que en ambos casos constituyen información primaria para la zona de estudio

La metodología aplicada valida los datos de GRACE en lo que respecta a las variaciones del almacenamiento de aguas subterráneas (GWS) al compararlos gráficamente y estadísticamente con las variaciones de nivel piezométrico en los piezómetros instalados en una zona de estudio: el buen desempeño de los datos de GRACE-FO permite concluir que, que, representa una aproximación adecuada para el análisis espacial de esta variable. Adicionalmente, en la metodología aplicada los datos de GRACE son regionalizados aplicando métodos de *Downscaling* estadístico y las superficies piezométricas estimadas resultan de una combinación de datos hidrogeológicos directos (niveles medidos en los piezómetros de la zona) e indirectos (variaciones de almacenamiento subterráneo de GRACE) que en ambos casos constituyen información primaria para el proyecto y la zona de estudio.

El uso de los datos de TWS (*Total Water Storage*) y GWS (*Groundwater Storage*) para análisis hidrológicos e hidrogeológicos a escala global, regional e incluso local se ha incrementado notablemente en los últimos años, no solo en el campo de la investigación académica sino también en investigación aplicada, consultoría y en la gestión integral de los recursos hídricos que dirigen agencias ambientales gubernamentales de diversos países.

Palabras clave: piezómetros, almacenamiento de aguas subterráneas, downscaling

RESUMEN PONENCIA -D1-7

Economía circular del agua y su contexto en Colombia.

Valbuena, L.^{1, *}

¹Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

[*ljvalbuenaz@unal.edu.co](mailto:ljvalbuenaz@unal.edu.co)

Desde la Estrategia Nacional de Economía Circular en Colombia, en el año 2019 la economía circular fue definida como “Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales a través la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores, y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible”.

Recientemente el Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE, en el marco del sexto reporte de economía circular, presenta la distribución del uso del agua y su intensidad hídrica distribuida por actividad económica. Como base en dichas estadísticas parte la presente investigación bajo un pensamiento sistémico y holístico, que se fundamentó en el diagrama de la mariposa propuesto por la Fundación Ellen MacArthur, donde se explica cómo pasar de una economía lineal a una circular, incluyendo el ciclo biológico y el ciclo técnico.

Las conclusiones preliminares indican, que existe una creciente necesidad por los servicios ecosistémicos, en el cual el agua subterránea juega un papel importante para asegurar el abastecimiento de comunidades y el suministro de agua a múltiples usos demandados por los diferentes sectores económicos.

En este sentido, es necesario establecer la hoja de ruta que implementará iniciativas circulares con revoluciones tecnológicas y prioridades de inversión en I+D, que permitan una transición de una economía del agua lineal a una circular.

Palabras clave: Servicios Ecosistémicos, Demanda de agua por actividad económica, Agua Subterránea, Hoja de ruta tecnológica.

RESUMEN PONENCIA -D1-8

Análisis de prefactibilidad para el reúso de aguas tratadas en la recarga gestionada de un acuífero somero en Santander, Colombia.

Estrada-Restrepo, O.¹, Ramírez-Hoyos, L.¹, Cardeñosa, M.², y Gómez-Moncada, R.²

¹GOTTA Ingeniería, Medellín, Colombia.

²ECOPETROL S.A, Piedecuesta, Santander.

*oscar.estrada@gottaingenieria.com

La recarga gestionada de acuíferos (MAR, por sus siglas en inglés) es aquella que busca de forma intencional uno de los siguientes objetivos: la recuperación de acuíferos, el almacenamiento de agua en las formaciones acuíferas para su posterior uso y aprovechamiento, el control de intrusiones salinas, el manejo de la subsidencia de suelos en acuíferos sometidos a sobreexplotación, entre otras.

En las últimas décadas se han implementado numerosos proyectos de MAR alrededor del mundo a partir del reúso de aguas tratadas (domésticas e industriales), los cuales han resultado exitosos pues permitieron recuperar y estabilizar los niveles piezométricos de acuíferos sobreexplotados producto de la presión creciente sobre el recurso hídrico, así como mejorar en muchos casos las condiciones del agua subterránea en términos de calidad para su posterior reutilización. No obstante, como toda actividad humana que implica intervenciones sobre los recursos naturales a partir de obras de ingeniería, la implementación de proyectos MAR mediante la reutilización de aguas residuales tratadas debe realizarse bajo estrictos estudios previos, parámetros de diseños y planes de seguimientos rigurosos que garanticen la sostenibilidad del sistema acuífero de interés.

Este trabajo presenta un estudio a nivel de prefactibilidad para la evaluación de un piloto de recarga de un acuífero somero a partir del reúso de aguas residuales (domésticas e industriales) tratadas en un centro de laboratorios, en el cual se propone una metodología para elaborar los estudios requeridos para implementar el proyecto. Lo anterior, a partir de la revisión de los requisitos técnicos considerados en proyectos implementados de recarga gestionada de acuíferos en diferentes países y la normatividad ambiental existente a nivel internacional para este tipo de intervenciones (pues en Colombia no se cuenta con dicha reglamentación), haciendo énfasis en casos de implementación de las técnicas de MAR con aguas residuales tratadas para reúso del recurso hídrico subterráneo y recuperación de acuíferos.

Finalmente, se presentan los requerimientos de estudios e información que se debe adquirir para adelantar el proyecto piloto, lo cual debe considerar, entre otros, estudios hidrogeológicos a nivel de detalle, la evaluación de la calidad del agua tratada y la

hidroquímica del sistema acuífero y la eficiencia de los sistemas de tratamiento, así como las obras de ingeniería para el tipo de sistema de recarga (obras de conducción e infiltración) hacia el acuífero, el monitoreo y seguimiento de niveles piezométricos y de calidad del agua, y el tiempo de operación recomendado para el proyecto piloto.

Palabras clave: Recarga gestionada, acuíferos, MAR, reúso aguas tratadas.

RESUMEN PONENCIA -D1-9

Recarga Artificial de Aguas Subterráneas en Santa Marta y Bogotá, Colombia.

Molano, Carlos E.^{1,2}, y Escobar, Jhonatan, A.²

¹Universidad de los Andes Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Bogotá, Colombia.
cmolano@uniandes.edu.co

²Hidrogeocol SAS, Bogotá, Colombia

Se presentan dos casos de recarga artificial; el primero, localizado en la ciudad de Santa Marta, en la costa caribe al norte de Colombia, donde se construyó una estructura de recarga sobre el Río Manzanares; el segundo, localizado en Bogotá, donde se implementó una prueba piloto para el almacenamiento y recuperación del acuífero (ASR, por sus siglas en inglés), utilizando un pozo dual para recarga y bombeo.

En 1993 comenzó el proyecto de recarga artificial del acuífero de Santa Marta, con el objetivo de almacenar los flujos altos del río Manzanares en el acuífero aluvial, y utilizarlo como suministro de agua para la ciudad. En 1994 se construyó una estructura de recarga en el lecho del río, la cual se removió en el año 2004 debido al deterioro de la calidad de agua, el crecimiento de la ciudad y la disminución del flujo en el río.

La prueba piloto ASR, se implementó con un pozo único para recarga y bombeo con un pozo de observación, instalados a una profundidad de 300 m en las areniscas cretácicas del Acuífero Guadalupe. El pozo se localizó en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, cerca de la planta de tratamiento de Vitelma (hoy monumento nacional) para utilizar agua limpia sin sedimentos, y así evitar el taponamiento del pozo durante las etapas de inyección. El acuífero es confinado, con una geología estructural compleja, presentando varias fallas regionales y locales, lo que hace que el nivel de agua en el pozo de bombeo esté muy cerca de la superficie, y el pozo de observación con condiciones surgentes.

Palabras clave: gestión de recarga de acuíferos MAR, almacenamiento y recuperación de acuíferos SAR.

RESUMEN PONENCIA -D1-10

Recarga de Sistemas Lenticos en Zonas de Páramo caso de estudio: origen de la recarga del sistema Laguna Negra, localizada en el Páramo de Oceta a partir de la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual.

Alvarado, S.¹

Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C, Colombia

ing.sebastianfalvarado@hotmail.com

El sistema léntico laguna negra se localiza en el departamento de Boyacá en jurisdicción de los municipios de Mongua y Monguí. Esta laguna glaciar localizada en zonas paramo tiene gran importancia en cuanto al turismo y el abastecimiento de los municipios y veredasaledañas, lo que hace indispensable conocer técnicamente los aportes hídricos que tenga, caracterizarlos y cuantificarlos, para así determinar la disponibilidad en cuanto a su oferta hídrica. Esto con el objeto de lograr una planificación de los recursos y una preservación de este tipo de sistemas.

El desarrollo del presente proyecto se sustentó con la implementación de un modelo hidrogeológico conceptual, en el cual se determinó la existencia de litologías correspondientes al cretácico inferior asociados a la formación Une (Kiu) y Formación Fomeque (Kif) y depósitos cuaternarios correspondientes a depósitos de laguna (QI) y depósitos coluvio glaciares (Qcg) y una estructura geológica dominante correspondiente a un anticlinal enroscado de orientación suroeste-noreste.

De acuerdo con la información obtenida para el cálculo del balance hídrico se estableció que la infiltración para el área es el 9.57% la cual se cataloga como una potencial zona de recarga. Durante el desarrollo del muestreo hidroquímico y su posterior análisis de resultados se planteó que las aguas pertenecen a aguas lluvias donde prevalecen los tránsitos cortos y este a su vez es producto de los flujos tributarios de las zonas más altas. Se proponen diferentes fuentes de aportes hídricos superficiales asociados a drenajes y suelos orgánicos los cuales presentaron una incidencia dentro de la recarga hídrica.

La aplicación de la técnica de isótopos permitió definir un modelo de mezcla para dos escenarios influyentes en la recarga (época de lluvias y estiaje), concluyendo que para la época de lluvias se presenta un fenómeno de evaporación diferencial el cual convierte las aguas del sistema léntico laguna negra anómalamente más pesadas consiguiendo evaporar y liberar isótopos de oxígeno 16. Por otro lado, durante el periodo de estiaje el escenario de proveniencia dominante corresponde a la relación entre el drenaje y el suelo orgánico obteniendo un porcentaje de proveniencia del 53% para el drenaje y el 47% para el suelo orgánico.

Finalmente, a los insumos obtenidos anteriormente se articula la información para así crear el modelo hidrogeológico conceptual (MCH) que permite conocer la dinámica hidrogeológica del área, posibles interacciones de agua con el medio y la disposición hidrogeológica de las unidades caracterizadas.

Palabras clave: Hídrico, Isótopos, Recarga, Red de flujo, Suelo orgánico.

RESUMEN PONENCIA -D1-11

Estimación de la recarga de frente de montaña a partir de un modelo de lluvia escorrentía en el centro de México.

Montaño-Caro, Juan Camilo.^{1, *}, Escolero, Oscar.²

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México*

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México
[*jcmontanoc@unal.edu.co](mailto:jcmontanoc@unal.edu.co), escolero@geologia.unam.mx

La recarga de frente de montaña es el agua proveniente de zonas montañosas que alimentan a acuíferos localizados en valles. En muchos casos son las principales zonas de recarga, por esto es importante estimar y diferenciar el aporte proveniente de las montañas. Si embargo, muchas de las metodologías utilizadas, no toman en cuenta la variabilidad espacial y pueden llegar a ser de alto costo. El objetivo de este estudio fue la estimación y diferenciación de la recarga de frente de montaña a partir de la generación de un modelo de lluvia escorrentía alimentado con información secundaria y calibrado con mediciones en campo.

El estudio se desarrolló en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SCMX) considerado la principal zona de recarga de agua subterránea para el acuífero de la Ciudad de México y conformado por la Sierra de Las Cruces (SC) y el Complejo Volcánico de Chichinautzin (CVC).

Considerando que la principal fuente de recarga en las zonas de montaña es la infiltración de la precipitación y que los procesos hídricos superficiales responden a procesos hídricos subterráneos, se realizó un modelo de lluvia escorrentía en el SCMX, utilizando el software SWAT, alimentado con información secundaria, y calibrado con mediciones in situ de caudales de ríos y manantiales. Se estimó la recarga de frente de montaña y se diferenciaron sus componentes (recarga de frente de montaña superficial y recarga de bloque de montaña). Además, se relacionó los resultados de la modelación con las características edafológicas, geológicas y estructurales del SCMX para clasificar las zonas de recarga existentes.

Se obtuvo que las propiedades edafológicas del suelo presentan gran capacidad de infiltración demostrando su potencial de recarga de agua subterránea. Sin embargo, las diferencias geológicas y estructurales entre SC y el CVC generan una distribución diferente de la recarga de frente de montaña.

Se concluye que los procesos hídricos superficiales en zonas de montaña son una manifestación de los procesos hídricos subterráneos y permiten clasificar las zonas de recarga. Su identificación y análisis permite interpretar las condiciones hidrológicas del sistema. Por lo tanto, la estimación y diferenciación de las componentes de la recarga de frente de montaña a partir de un modelo de lluvia escorrentía alimentado con información secundaria y trabajo de campo se presenta como una alternativa fácil de replicar y de bajo costo para aquellas zonas donde existe poca información.

Palabras clave: modelación, SWAT, zonas de recarga, acuíferos de valle.



RESUMEN PONENCIA -D1-12

Efectos del Cambio Climático en la recarga potencial por precipitación en los valles de Aburrá y San Nicolás (Antioquia).

Perlaza-Molina, M.¹, Jaramillo, M.¹

¹Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

mfperlazam@eafit.edu.co

Los efectos del cambio climático en el agua subterránea aún son desconocidos y han sido pobremente estudiados a nivel mundial, debido a que las proyecciones de Modelos Climáticos Globales (MCG) resultan en cambios heterogéneos en precipitación para las mismas regiones. En este proyecto se utiliza una metodología que puede ser usada para cuantificar los efectos del cambio climático en la recarga potencial por precipitación, usando el código SWB (Soil Water Balance), aplicado a los valles de Aburrá y San Nicolás (Antioquia). Para esto, se simulan los escenarios de trayectorias de concentración representativas (RCP) 4.5 y 8.5 para corto (2025), mediano (2050) y largo plazo (2070). Los resultados del estudio indican un preocupante incremento en la recarga potencial por precipitación como resultado del aumento de precipitación y temperatura del aire como consecuencia del cambio climático. Finalmente, se resalta la necesidad de reducir la incertidumbre de los modelos climáticos globales (MCG) para climas como el de nuestro país y la aplicación de medidas de adaptación para el desarrollo sostenible y gestión de las aguas subterráneas.

Palabras clave: Cambio climático, SWB, recarga potencial, trayectorias de concentración representativas.

RESUMEN PONENCIA -D1-13

Estimación de la recarga potencial de aguas subterráneas en un bosque seco tropical.

Ballesteros-Buitrago, K.^{1, *}, Jaramillo, M.¹, Vergara, S.¹ y González, L.¹

¹Universidad EAFIT, Medellín,
Colombiakballest@eafit.edu.co

En el desierto de La Tatacoa, el recurso hídrico es limitado debido a las condiciones climáticas secas de la zona, tanto así que, Villavieja fue el municipio huilense más afectado por el fenómeno del Niño de 1998, poniendo en peligro la existencia de los habitantes de Villavieja. Por esto, este trabajo busca contribuir al conocimiento hidrogeológico del sistema acuífero Neiva-Tatacoa-Garzón en el sector del desierto de La Tatacoa, con el fin de mejorar la gestión sostenible del recurso hídrico para el abastecimiento de agua en la región. Según la literatura, en las zonas semiáridas, los valores de recarga generalmente corresponden al 10% y el 20% de la precipitación, pero en el desierto de La Tatacoa se podrían esperar valores de recarga más altos, pues la precipitación oscila entre 1000 y 1500 mm/año. Este trabajo propone que, aunque los valores de precipitación están por encima de los establecidos para zonas semiáridas (200 mm/año), los porcentajes de recarga de agua subterránea se comportarán similares a los de estas zonas. Para validar esta hipótesis se utilizó el método SWB del USGS, con el cual se estimó la recarga potencial teniendo en cuenta parámetros como la precipitación, temperatura, textura del suelo, topografía, y la cobertura vegetal. Esta se calculó desde 1990 hasta el 2019, y se consideró la influencia del ENSO para clasificar y promediar los resultados con el fin de obtener valores medios de recarga bajo condiciones climáticas neutras, secas y húmedas. Los resultados mostraron que, para condiciones húmedas la precipitación recargada promedios de 23%, y para condiciones neutras y secas se sitúa entre el 10% y el 13%, valores que se encuentran dentro de los rangos de recarga en zonas semiáridas. Esto permite suponer que, al igual que en otras zonas semiáridas, una fuente de recarga indirecta puede ser el principal contribuyente a la recarga de las aguas subterráneas. Este proyecto no sólo es relevante porque mejora el nivel de conocimiento del recurso hídrico subterráneo de nuestro país, sino que, además, tendrá un impacto positivo dando herramientas a las entidades gubernamentales para la toma de decisiones y aprovechamiento sostenible del recurso en la población de Villavieja, donde el 90% de las fuentes hídricas superficiales tipo quebrada secan durante épocas sin lluvia y el agua subterránea se convierte, en muchos casos, en la única opción de abastecimiento para la población.

Palabras clave: Región semiárida, Soil water balance, hidrogeología.

RESUMEN PONENCIA -D1-14

Evaluación de la recarga de aguas subterráneas bajo escenarios de cambioclimático en un bosque seco tropical.

Ballesteros-Buitrago, K.^{1, *}, Jaramillo, M.¹, Vergara, S.¹ y Cruz, D.¹

¹Universidad EAFIT, Medellín,

Colombiakballest@eafit.edu.co

Los cambios en el clima futuro alterarán los ciclos hidrológicos regionales afectando la disponibilidad de los sistemas hídricos, y modificando la relación entre aguas superficiales y subterráneas. Se tiene previsto que el uso del sistema de aguas subterráneas aumentará debido al incremento del consumo global y a la disminución de la disponibilidad de agua superficial. Las variaciones en la precipitación, temperatura, cambios en la cobertura y uso del suelo son los factores que generalmente afectan la recarga de agua subterránea, y que a su vez marcan las tendencias del cambio climático junto con los cambios causados por las actividades humanas. El presente trabajo se realizó en el desierto de La Tatacoa y se evaluó el efecto de 5 escenarios diferentes de cambio climático sobre la recarga de agua subterránea desde 2020 hasta el 2100, modificando las variables de temperatura y precipitación de acuerdo con lo pronosticado por los modelos climáticos del CMIP5 para corto, mediano y largo plazo. Los resultados mostraron que hay mucha incertidumbre aun en la capacidad que tiene estos modelos de predecir las condiciones climáticas locales, en especial en un país con una complejidad climática como Colombia. Sin embargo, se realizó una corrección por sesgo a los datos de la precipitación para uno de los escenarios, lo que mejoró significativamente los resultados, y permitió un análisis más coherente de la recarga potencial. Según el escenario climático con la corrección por sesgo, a corto, mediano y largo plazo, la precipitación aumentaría un 9.5%, 8.2% y 7.9% respectivamente lo que generó que en el 2040 la recarga potencial fuera de 177.4 mm/año un 12% mayor que el promedio de los últimos 30 años en la zona, para el 2070 se espera una reducción del 53% de la recarga con un valor de 74.9 mm/año y finalmente para el 2100 con 171.2 mm/año aumentaría un 8% con respecto a la recarga promedio de la zona. Es importante resaltar que estos datos no son pronósticos de recarga, sino más bien un análisis de la variación de la recarga potencial como respuesta a algunos posibles escenarios de cambio climático. Para un futuro estudio se recomienda incluir cambios en la cobertura del suelo, los cuales podrían reducir la incertidumbre en estos resultados a la hora de evaluar escenarios de cambio climático.

Palabras clave: Región semiárida, CMIP5, hidrogeología.

RESUMEN PONENCIA -D1-15

Aplicación de metodologías para la estimación de la recarga en acuíferos: implementación inicial en cuenca del Río La Miel y extrapolación en la cuenca Aburrá-Medellín.

Arboleda, C.^{1,2, *}, Barco, J.², y Blessent D.²

¹Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Proyecto Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA)

²Programa de ingeniería ambiental, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

*caarboledc@eafit.edu.co

El objetivo del estudio es aplicar y comparar diferentes metodologías para la estimación de la recarga, como el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tools), zonificación de Matus, Faustino & Jiménez, y métodos empíricos como los planteados por Cheeturvedi, Cheeturvedi para clima tropical, Sehgal y Turc, modelos inicialmente implementados en la cuenca del Río La Miel, los cuales serán posteriormente usados en la cuenca del Río Aburrá-Medellín. Los datos utilizados incluyen: precipitación de 8 estaciones ubicadas en la cuenca, temperatura diaria, cobertura vegetal y usos del suelo suministrados por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Miel del año 2016, modelo digital de elevación adquirido de la misión espacial ALOS PALSAR e información de tipos de suelo obtenida de la base de datos de la Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Analizando los resultados, se observó que el modelo SWAT arroja valores de recarga aproximadamente del 20% expresado en función de la precipitación anual. La zonificación arroja valores anuales de recarga, pero muestra la distribución espacial del potencial de recarga que tiene la cuenca, indicando que el 79% de ésta cuenta con una moderada capacidad para recargar. Entre los métodos empíricos, la ecuación de Cheeturvedi arroja una recarga anual del 8%, y su modificación para clima tropical entrega un leve aumento al 10%. El método de Sehgal con un 18%, es la herramienta empírica que más se acerca al modelo SWAT. Finalmente, la ecuación de Turc, con un 82% del total de la precipitación anual, sobreestima considerablemente la recarga. Estos resultados demuestran que la metodología para la estimación de la recarga de un acuífero debe ser seleccionada de manera apropiada, teniendo en cuenta los datos disponibles y las condiciones climáticas. Se recomienda comparar el resultado entre, mínimo, 2 métodos distintos. Se considera SWAT como el modelo más cercano a la realidad ya que fue calibrado con datos reales.

En este momento la metodología de este trabajo se encuentra en implementación para la cuenca del Río Aburrá-Medellín desde el proyecto SIATA, lo cual será de apoyo para el entendimiento de las dinámicas de recarga en los acuíferos de esta región, además un apoyo para la gestión de recursos hídricos del Área metropolitana del Valle de Aburrá.

Palabras clave: Recarga, SWAT, precipitación, Hidrología, SIATA

RESUMEN PONENCIA -D1-16

Determinación de la Línea Meteórica Local del Sur Oriente del Departamento de Boyacá a través de Isotopos Estables en agua

Ortiz, D.¹, Sanabria, L.¹, Romero, H.¹, Moreno, C.^{1*}, Porras, A.², Peña, M.², Moreno M.² y Muñoz, J.^{2**}

¹Corporación Autónoma Regional de Chivor, Garagoa, Colombia

²Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia

*subgestion@corpochivor.gov.co

**cliente@sgc.gov.co

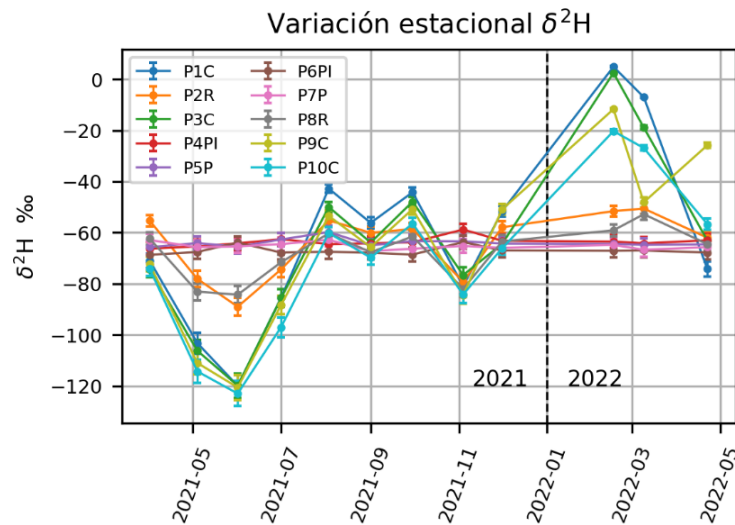
El Sistema Acuífero Súnuba está localizado al Sur Oriente del Departamento de Boyacá - Colombia, en los municipios de Somondoco, Guateque, Sutatenza, Tenza y La Capilla al Occidente de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR. Para el desarrollo de este trabajo de investigación se llevaron a cabo las etapas de diseño de la red de muestreo, recopilación de información, diseño e instalación de totalizadores y muestreos compuestos mensuales de agua lluvia, muestreo de pozos, piezómetros y ríos durante un periodo de dos años para análisis de laboratorio, evaluación y calidad de los datos, cálculos e interpretación.

La red de monitoreo de isotopía fue establecida entre CORPOCHIVOR y el Servicio Geológico Colombiano (SGC) desde el año 2020 en el marco del Convenio Interadministrativo 021 - 2020. Los resultados obtenidos a partir del análisis de las relaciones isotópicas en deuterio ($\delta^2\text{H}$) y Oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$) contenidos en la molécula del agua, permitieron determinar la línea meteórica local (LML), mediante la implementación de cuatro (4) puntos de monitoreo de agua meteórica con totalizadores tipo Palmex Rain Sampler RS2, 35 parámetros fisicoquímicos (13 parámetros tomados en campo y 22 analizados en el Laboratorio de Calidad Ambiental de Corpochivor), con los cuales determinan las condiciones de calidad del agua y la hidrogeoquímica del sistema acuífero en mención.

A partir de los resultados obtenidos se pudo establecer que la firma isotópica evidenciada para el Sur Occidente de Boyacá se encuentra mayormente enriquecida en los meses de diciembre y enero, los cuales están asociados a los meses de estiaje y los principalmente empobrecidos relacionados a los meses de agosto a octubre asociados a los meses de niveles máximos de precipitación, siendo esto concordante con los efectos de estacionalidad, latitudinal y altitudinal definidos en la "Teoría de Destilación" por Rayleigh en el año de 1917. En la Figura 1 se puede observar la variación mensual del Deuterio (^2H) como un reflejo de lo enunciado por Rayleigh.



Figura 1. Variación Estacional del Deuterio ($\delta^2\text{H}$) para el Sur Oriente del Departamento Boyacá.



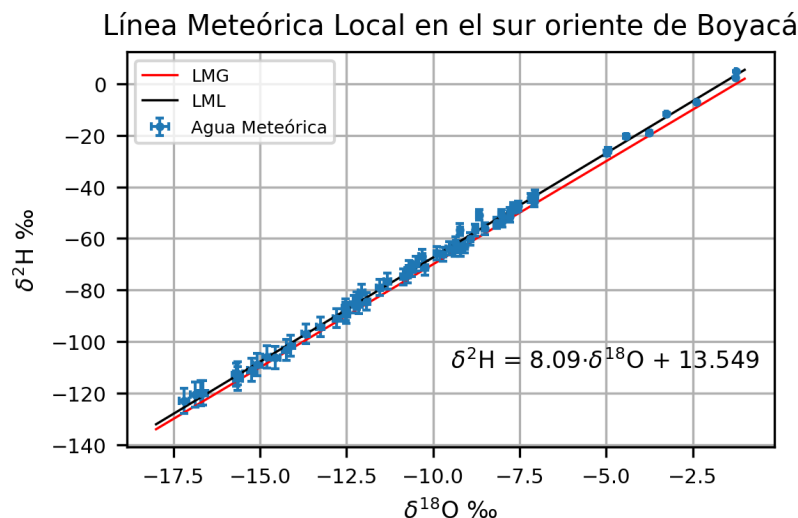
Fuente: Corpochivor & SGC, 2023.

Finalmente, la línea meteórica local (LML) está representada por la siguiente ecuación:

$$2\text{H}=8,1\cdot 18\text{O}+13,5$$

con un $R^2=0.997$ la cual es comparada con la línea meteórica global (LMG) determinada mediante la siguiente ecuación $2\text{H}=818\text{O}+10$ por Craig en el año 1961. A continuación, en la Figura 2 se puede observar la representación gráfica de los datos meteóricos obtenidos en dos años de monitoreo y las líneas meteórica local y global.

Figura 2. Línea Meteórica Local para el Sur Oriente del Departamento Boyacá



Fuente: Corpochivor & SGC, 2023.

RESUMEN PONENCIA -D2-1

Modelamiento de la geometría y espesor de acuíferos profundos en la cuenca media del río Bogotá con énfasis en las formaciones del grupo Guadalupe a partir de la interpretación de anomalías geofísicas integradas y datos de perforación

Hernández, O.^{1,*}, Atapuma, P.¹,

¹Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D. C., Colombia

[*ohernandezp@unal.edu.co](mailto:ohernandezp@unal.edu.co) patapuma@unal.edu.co

El objetivo de este proyecto de investigación consiste en modelar la geometría y espesor de la secuencia sedimentaria del cretácico superior al reciente de la cuenca media del río Bogotá para estimar los topes y bases de la secuencia estratigráfica, sus aspectos estructurales e hidrogeológicos con énfasis en la zona crítica para la explotación de aguas subterráneas delimitada por la CAR (Corporación autónoma Regional) a partir de la interpretación de datos de resistividad eléctrica, campos potenciales, sísmica de reflexión y datos de perforación. Con base en los resultados se estimará la potencialidad de acuíferos profundos y con ello proponer los sitios para realizar pozos exploratorios que permitan satisfacer la necesidad de agua para las actividades agroindustriales y poblacionales del área de estudio, las cuales no han podido ser solucionada mediante la exploración de acuíferos más someros. Adicionalmente, se evaluará el potencial de energía geotérmica de baja entalpía que pueda estar asociadas al agua subterránea de acuíferos profundos. Para realizar este modelamiento se aplicarán métodos geofísicos que nos permitan llegar desde superficie hasta profundidades de 3000 metros, con énfasis en el intervalo entre 500m y 1000m, incluyendo Sondeos Eléctricos Verticales, Sondeos TEM y MT cuya interpretación estará soportada por datos de perforación y líneas sísmicas regionales y mapas regionales y locales de gravimetría y magnetometría. Este proyecto da respuesta a la necesidad de establecer un modelamiento hidrogeológico de la zona con los métodos mencionados anteriormente para conocer mejor la potencialidad de posibles acuíferos profundos a diferentes profundidades asociados en especial a las litologías del grupo Guadalupe y con este implementar un mejor uso de los recursos hídricos de la zona de estudio

Palabras clave: Sondeos magnetotelúricos, geotermia de baja entalpía, TEM, área crítica

RESUMEN PONENCIA -D2-2

La prospección Geofísica en la ubicación de acuíferos en sectores del departamento de Boyacá y Casanare, Colombia.

Fuentes Fuentes, M.C.^{1,*}, Fonseca Benítez, F.A¹

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia

*marcaf_geo@yahoo.com

En este artículo se exponen por medio de casos representativos, las bondades de la Prospección Geofísica a partir de la aplicación del método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), como método no destructivo para el estudio del subsuelo y especialmente, en la búsqueda de aguas subterráneas, como alternativa para ubicar las zonas perspectivas de acuíferos por medio del estudio de la resistividad aparente de las capas detectadas por debajo de los puntos de observación.

Este trabajo forma parte del quehacer de investigadores del grupo de investigación INGEOFISICA. Se estudiaron varios sectores de los departamentos Boyacá y Casanare, Colombia. Se muestran los tipos de curvas obtenidas que representan los acuíferos presentes en estos sectores, a tener en cuenta en proyectos futuros.

Palabras clave: *Geofísica Aplicada, SEV, Geoeléctrica, Resistividad, INGEOFISICA.*



RESUMEN PONENCIA -D2-3

La aplicabilidad de los registros geofísicos de pozo para la evaluación del agua subterránea profunda. Caso Campo Yariguí-Cantagallo, Colombia

Torres-Rojas, E.^{1*}, González-Penagos, F² y Ángel-Martínez, C.¹

¹Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

²Atlas Research Group, Bogotá, Colombia

[*editorresro@unal.edu.co](mailto:editorresro@unal.edu.co)

Los registros de pozo son una herramienta clave para la evaluación indirecta del subsuelo mediante contrastes en las propiedades físicas de los materiales atravesados en perforaciones. La mayor disponibilidad de esta información proviene de la industria de los hidrocarburos, pero no es usada en evaluaciones hidrogeológicas por restricciones para su acceso. Para este caso se empleó la información y metodologías usadas en petrofísica para el cálculo del contenido de sólidos disueltos totales (SDT) o la salinidad del agua subterránea (AS) en acuíferos del Grupo Real, a partir de información de 59 pozos del campo Yariguí-Cantagallo (CYC), en límites de los departamentos de Santander y Bolívar. Se sistematizó y extrajo información de los encabezados de los registros y posteriormente se calculó la salinidad del AS aplicando el método del SP, el ratio method (RM) y el método de resistividad porosidad (MRP), y comparando sus resultados con los obtenidos en laboratorio para muestreos de “aguas de formación” de la Formación La Paz y del Grupo Real.

En el 56% de los pozos se corrieron registros desde profundidades iguales o menores a 300 m. Respondiendo a la historia de exploración en el CYC, en los pozos exploratorios y delimitadores perforados hasta los años 60 corrieron registros desde profundidades menores a 180 m y los más recientes desde la base del revestimiento superficial, hacia los 330 m, con la excepción de un pozo exploratorio (desde los 25 m de profundidad). Se pudieron aplicar las 3 metodologías para el 19% de los pozos, mientras que el método del SP fue empleado en el 93% de los mismos. Los errores de este método estuvieron entre el 3 a 9% para aguas de formación saladas y hasta 25% para AS dulces del Grupo Real, resultando así el método más confiable. La principal limitación para la aplicación del MRP fue la ausencia de medidas de laboratorio en núcleos de los parámetros a y m , responsable de la variabilidad en los resultados. Las tres metodologías aplicadas detectaron la presencia de AS salobre (1 – 10 g/L SDT) e incluso salada (>10 g/L) en la base del Grupo Real y probaron ser valiosas para la caracterización de las aguas subterráneas profundas. La presente investigación fue realizada en el marco del proyecto de investigación MEGIA, convenio entre la ANH, Minciencias y la UNAL.

Palabras clave: salinidad, petrofísica, industria de hidrocarburos, acuíferos

RESUMEN PONENCIA -D2-4

Modelo hidrogeológico numérico para evaluar los impactos de la reinyección de agua en el Área de Desarrollo VMM-46, la cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia

Cristancho, H.^{1,*}, Aldana, T.¹, y Suescún, Luis Camilo²

¹Petroshale SAS, Bogotá, Colombia

²DHI, Bogotá, Colombia

*Coordinadortecnico@petroshale-sas.com

En Colombia, la industria petrolera produce volúmenes significativos de agua subterránea durante su operación que deben disponerse adecuadamente. Para optimizar procesos y reducir los impactos ambientales, se utilizan técnicas de reinyección de agua como el recobro mejorado y la disposición final.

Un ejemplo de esto se encuentra en la cuenca Valle Medio del Magdalena con una geología estructuralmente compleja, lo que requiere la realización de simulaciones numéricas predictivas para estimar y analizar los efectos potenciales y el comportamiento hidráulico de las formaciones y las fallas geológicas objeto de estudio. En el Área de Desarrollo VMM-46, se proyecta el emplazamiento de 21 pozos inyectores distribuidos en cuatro plataformas multipozo con un caudal de inyección de 35K BWPD.

Para abordar estos desafíos y a partir de la información disponible y un modelo conceptual de referencia, se elaboró un modelo hidrogeológico numérico con malla no estructurada utilizando el software FEFLOW®. Las simulaciones incluyen una proyección del caudal máximo de operación y cinco escenarios en condiciones estacionarias de inyección para cada una de las formaciones geológicas objetivo.

Como resultados de interés se evaluaron distribuciones de presión y trayectorias de partículas a 30 años de operación pronosticando que la futura operación de los pozos inyectores no generará algún tipo de impacto en los depósitos cuaternarios y formaciones acuíferas someras de la región. Los resultados proporcionaron la información base necesaria para la autorización de la reinyección por parte de la Autoridad Ambiental y evidencian como los estudios hidrogeológicos y en especial la modelación numérica son un apoyo valioso y esencial para la planificación, regulación y diseño de actividades que pueden impactar el agua subterránea.

Palabras clave: FEFLOW, inyección, petróleo, impacto ambiental, modelación.

RESUMEN PONENCIA -D2-5

Modelación de la salinidad del agua subterránea a partir de registros de pozo, en el acuífero del Grupo Real. Sector entre San Pablo y San Rafael, zona norte del valle medio del Magdalena, Colombia.

Camargo-Rache, G.^{1,*}, Ángel-Martínez, C.¹, y Bueno-Silva, R.²

¹ Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

² Ecopetrol, Bogotá, Colombia

Correo electrónico: gcamargor@unal.edu.co

Esta evaluación de la salinidad del agua subterránea se llevó a cabo en el acuífero del Grupo Real, en un sector entre el municipio de San Pablo en el sur del departamento de Bolívar y el corregimiento de San Rafael departamento de Santander, ubicado hacia el nortede la cuenca sedimentaria del valle medio del Magdalena.

Con base en información sísmica y de pozos se generó un modelo geológico – estratigráfico que permitió identificar al grupo Real como un acuífero multicapa, compuesto por areniscas con intercalaciones de arcillolitas, con esporádicos niveles de conglomerados principalmente hacia el tope, cuyo espesor aproximado es de 2200 m hacia el oriente del área de estudio, en cercanías al corregimiento de San Rafael, y se adelgaza al occidente en los alrededores del municipio de San Pablo hasta 120 m aproximadamente, caracterizado por una estructura homoclinal que buza al oriente con una leve inclinación de 10° a 15°.

Teniendo como base el modelo geológico generado para el Grupo Real y a partir de los registros de pozos petroleros se realizó el cálculo de la salinidad empleando tres metodologías diferentes: el método del potencial espontáneo (SP), la relación de resistividades (ratio method) y el método porosidad – resistividad (Rwa), esta última fue la que generó resultados más consistentes y por lo tanto fue la seleccionada para generar el modelo en donde se observó que hacia la base del Grupo Real, en el oriente de la zona de estudio, se presenta agua salada (>10.000 ppm de SDT), en la parte intermedia se presenta agua salobre (1.000 a 10.000 ppm de SDT) y hacia el tope se observó agua dulce (<1.000 ppm de SDT). En el occidente del área de estudio, donde aflora el Grupo Real, se identificaron aguas de tipo dulce que está asociada con la zona de recarga. El modelo de salinidad indica que este parámetro está controlado por la profundidad, recarga y estratigrafía. Esta investigación es parte del Proyecto MEGIA, a través de un convenio entre UNAL-ANH-Minciencias.

Palabras clave: Petrofísica, hidrogeología, calidad de agua.

RESUMEN PONENCIA -D2-6

Modelo hidrogeológico conceptual del Acuífero aluvial del Valle del Río Nechí, entre los municipios de El Bagre y Nechí, Antioquia.

*Isabel Restrepo-Correa ¹; Santiago Vergara¹; David Cerón ¹; Lady Buriticá ¹; Luis Eduardo Toro ¹
Sebastián Balbín ²; Lucas Talero ².*

Se ha construido un Modelo hidrogeológico conceptual (MHC) el cual responde a la identificación y caracterización del sistema acuífero presente en los depósitos aluviales del Valle del Río Nechí, entre los cascos urbanos del municipio de El Bagre y Nechí, pertenecientes al departamento de Antioquia.

Los modelos hidrogeológico conceptual (MHC) y numérico (MHN) se han construido mediante la incorporación de un modelo geológico 3D, de propiedad de Mineros Aluvial S.A.S BIC. El modelo geológico fue construido a partir de 12000 perforaciones que la empresa ha realizado a lo largo y ancho de la llanura de inundación del Río Nechí. Como resultado, se cuenta con un MHC cuya geometría, extensión, composición y variabilidad espacial quedan muy bien definidos gracias al modelo geológico. Así mismo, el MHC incluye la integración de información geofísica, de niveles piezométricos, características hidráulicas, información hidro geoquímica que la compañía ha adquirido, para asegurar el entendimiento del sistema acuífero.

Como resultado, el MHC contiene una definición espacial de cinco unidades hidrogeológicas, en donde se destacan dos unidades acuíferas, una de ellas con mayor extensión y espesor (UHG 1-Qal-A1). Se trata de un acuífero de comportamiento libre a semiconfinado, con espesores muy homogéneo alrededor de 30 metros, que se encuentra limitado hacia la base por un basamento de rocas cristalinas predominantemente, asociadas con las rocas de la Serranía de San Lucas en su margen este; y rocas sedimentarias de la Formación Sincelejo, en su margen occidental. Así mismo, se ha identificado la existencia de 3 sistemas de flujo subterráneo, donde predomina un flujo regional con dirección sur a norte. Un segundo sistema de flujo, de carácter intermedio, de sur a norte también, ocurre entre epicentros controlados geométricamente por el paleo relieve del basamento que subyace la secuencia aluvial. Finalmente, el tercer sistema de carácter más local está dado por el flujo dado por la interacción Río Nechí-Acuífero, la cual, se presume que no es continua a lo largo de la llanura aluvial, sino que se presenta cuando el acuífero intercepta el Río. A partir del registro de precipitación y otras variables de interés hidrológico, se hizo la determinación de la recarga potencial por precipitación, la cual representa un 60% de la precipitación, aproximadamente. Con el MHC como referencia, se construyó un modelo numérico regional que permitió representar las condiciones regionales naturales del sistema acuífero y que hace honor a las mediciones de niveles piezométricos regionales mediante su respectiva calibración. El modelo numérico, sugiere variaciones en la interacción Río-acuífero de sur a norte y resalta la alta disponibilidad de aguas subterráneas gracias a las excelentes condiciones de



almacenamiento, por un lado, como a la constante recarga por precipitación que recibe el sistema por el otro.

El MHC construido permite encontrar diferencias importantes con relación al modelo, de carácter aún más regional, propuesto en múltiples publicaciones por Betancur et al (2005, 2007) lo que sugiere que el conocimiento hidrogeológico del bajo Cauca, al menos para las unidades hidrogeológicas asociadas con los depósitos aluviales, merece ser subdividido en el dominio hidrogeológico controlado por el Río Cauca, propiamente dicho, del aquel desarrollado por el Río Nechí. Por ejemplo, el acuífero (UHG 1-Qal-A1), asociado con los depósitos aluviales del Río Nechí no tiene un comportamiento libre, como propone Betancur et al, sino que varía de confinado a libre. Así mismo, sus espesores son bastante homogéneos entre los dos municipios (Bagre y Nechí) oscilando entre los 25 y 30 metros, a diferencia de los espesores que reporta para esta unidad, esta misma autora, que propone espesores entre 10 y 90 metros. Así mismo, en el Valle del Río Nechí no se ha comprobado la existencia de un acuífero más profundo asociado con las rocas sedimentarias de la Formación Sincelejo, los datos de geofísica sugieren el predominio de una secuencia fina del miembro Betulia, pero no se descarta tal posibilidad de la ocurrencia de materiales más gruesos, que puedan dar origen a un segundo acuífero, restringido a la margen occidental del Río Nechí, con profundidades mayores a 100 metros y con alta incertidumbre respecto a su continuidad lateral.

¹ Consultores para Mineros Aluvial S.A. Correspondencia: isabelrestrepocorrea@gmail.com

² Mineros Aluvial S.A. Correspondencia: Isabel Restrepo-Correa,
isabelrestrepocorrea@gmail.com

RESUMEN PONENCIA -D2-7

Análisis de sensibilidad aplicado al Modelo Hidrogeológico Numérico (MHN) en el acuífero aluvial del río Nechí, Antioquia.

Mauricio Revelo ¹; Lady Buritica ¹; Isabel Restrepo-Correa ¹; Sebastián Balbín ²

Palabras clave: Bajo Cauca Antioqueño, Conductividad hidráulica, Recarga potencial, Modelamiento numérico, análisis de sensibilidad.

Un sistema acuífero es una unidad rocosa o materiales porosos a través de los cuales el agua puede acumularse y desplazarse y normalmente constituye una reserva de agua dulce. La implementación de Modelos Hidrogeológicos Numéricos (MHN) ayuda al entendimiento del sistema, gracias a la posibilidad de recrear el comportamiento de las variaciones de los niveles piezométricos, las interacciones con las corrientes superficiales y la relación con la precipitación (vía Recarga). Dentro de los MHN, la sensibilidad mide el efecto que tiene una variable de modelación sobre los resultados del modelo y su análisis permite establecer cuáles son los parámetros que influyen más en el comportamiento del sistema.

En el caso de estudio presentado, las variables que se tuvieron en cuenta para analizar cuál de ellas tiene mayor impacto sobre los niveles del acuífero fueron: conductividad hidráulica del acuífero y recarga potencial por precipitación. Tales variables entran al modelo mediante condiciones de frontera. Para esto se corrieron nueve realizaciones de valores de conductividad hidráulica y recarga potencial, a partir de los valores estimados y generando escenarios hipotéticos en donde el valor de entrada correspondía con un porcentaje del dato inicial (-95%, -75%, -50%, -25%, +25%, +50%, +75%, +95% y +200%), lo anterior para poder visualizar los cambios en los niveles piezométricos para cada factor. Para analizar los resultados y establecer la sensibilidad, se calcularon dos estadísticos objetivos: error medio cuadrático (%RMSE) y el Error Porcentual (%E), y se realizaron tanto pruebas paramétricas como no paramétricas según la distribución de los datos: t-student y Mann-Whitney con un 95% de confiabilidad, buscando determinar a partir de qué porcentaje se pierde confiabilidad estadística (analizada en los residuales), añadido con criterios geológicos y físicos de los modelos conceptuales, además de mapas de variabilidad de los niveles. Como conclusión principal del análisis de sensibilidad se estableció que la conductividad hidráulica del acuífero es la variable que más efecto tiene sobre los niveles piezométricos del sistema acuífero, en segundo lugar, la recarga potencial y en tercer lugar la conductividad del acuífero. Como recomendación futura, se recomienda incluir en el análisis de sensibilidad la interacción río-acuífero, dado que no fue considerada, pero se identifica que también puede tener impacto sobre el resultado.

¹ Autores principales, Eafit, Medellín, Colombia

² Coautor, Medellín, Colombia.

*Correspondencia: mfreveloa@eafit.edu.co

RESUMEN PONENCIA -D2-8

Modelación de la dinámica de flujo subterránea en el valle de San Nicolás.

Restrepo-Correa I.^{1*}, Álvarez-Villa O.D.², Castaño C.¹, Garcés D.¹, Gómez D.¹, Ruiz-Carrascal D.³, Posada Posada M.¹, Vélez L.¹

¹ Consultores independientes;

² Emergente Energía Sostenible

³ International Research Institute for Climate and Society, Columbia University

* isabelrestrepocorrea@gmail.com

En el año 2000, la Universidad Nacional de Colombia y Cornare, realizaron una primera zonificación del recurso hidrogeológico para la región del Oriente Antioqueño cercano, Valle de San Nicolás (VSN) en donde fue definido la existencia de zonas acuíferas. En los últimos 20 años, no se generaron estudios adicionales que permitieran actualizar, ampliar o redefinir los resultados allí establecidos. Paralelamente en el VSN, se han dado transformaciones territoriales tales como desarrollo urbano, industrial y agrícola, que han generado impacto directo sobre en el uso del suelo, y que han conllevado a un incremento en la demanda de agua, incrementando a su vez, las captaciones de aguas subterráneas (más de 400 captaciones al 2018).

El modelo hidrogeológico en el VSN desarrollado en este estudio comprendió: la definición de la geometría de los acuíferos (profundidad y extensión lateral), la estimación de la recarga, la implementación de un modelo numérico del flujo subterráneo, un análisis de la calidad del agua subterránea y una zonificación preliminar a partir de sensores remotos, para lograr una zonificación regional del potencial acuífero. La definición geometría de los acuíferos se logró mediante el re-procesamiento de más de cien sondeos eléctricos verticales, los cuales fueron integrados a nueve registros de perforación que permitieron proponer niveles hidroestratigráficos. Se interpretó la presencia de tres acuíferos libres, que estarían delimitados lateralmente por límites geomorfológicos.

La recarga del acuífero del VSN fue calculada mediante un balance hídrico multianual de la cuenca Río Negro – Nare para tres escenarios hidrológicos, años Niño, Niña, y Normal. Esto implicó la recopilación y procesamiento de series de tiempo de precipitación, temperatura, radiación y caudales. Posteriormente, se estimaron cada una de las variables que dan entradas y salidas al sistema hidrológico y finalmente se aplicó un modelo hidrológico superficial agregado para obtener el valor de recarga media de la cuenca, en los tres escenarios hidrológicos mencionados.

El modelo numérico de flujo subterráneo incluyó los resultados previamente obtenidos tanto de la geometría de los acuíferos, como de recarga. Adicionalmente, se estimaron los parámetros hidráulicos de cada una de las unidades hidrogeológicas identificadas. Nuestros resultados plantean la existencia de tres unidades hidrogeológicas. Es decir, los tres acuíferos libres, propuestos con la interpretación geoeléctrica, presentan un comportamiento hidráulico distintivo entre ellos, como sigue: una asociada genéticamente



con los depósitos aluviales recientes (muy conductiva), otra asociada genéticamente a depósitos recientes de terrazas aluviales (conductividad media) y una adicional asociada genéticamente a la Superficie de erosión II de Rionegro (conductividad media baja y anisótropa). Adicionalmente, el modelo muestra como las unidades hidráulicas están conectadas en un mismo régimen de flujo subterráneo.

Como parte del nuevo modelo hidrogeológico, fue incluida la interpretación de resultados de una veintena de muestras de aguas subterráneas, proporcionadas por Cornare, lo cual permitió realizar una primera evaluación de calidad del agua. Para ello, se analizaron los valores de los iones mayoritarios, se determinaron las facies hidrogeoquímicas y se compararon las concentraciones de los iones y coliformes con los valores aceptados para el consumo de agua según la legislación colombiana. El sistema acuífero no presenta todavía información de carácter isotópico para validar por esta vía el modelo el flujo subterráneo. Sin embargo, dado que las unidades hidrogeológicas propuestas tienen una primera aproximación a su conductividad hidráulica, es de destacar que existe una relación directa entre el potencial hidrogeológico y su vulnerabilidad a la contaminación toda vez que las unidades de mayor potencial hidrogeológico son las más conductivas. Dado que las zonas de mayor potencial hidrogeológico se encuentran más cercanas a la red de drenaje del Río Negro, hay una segunda fuente potencial de contaminación de los acuíferos a partir de aguas superficiales, que pueden acceder al acuífero en aquellas épocas del año hidrológico en donde se posibilite la recarga desde el río a los acuíferos.

Desde el punto de vista de la evaluación geoelectrica y del modelamiento numérico, puede concluirse que la unidad hidrogeológica de -Depósitos de Llanura de inundación- posee el mayor potencial hidrogeológico, muy alto, le sigue la unidad hidrogeológica -Depósitos de terrazas aluviales-, con un potencial alto y finalmente la unidad hidrogeológica -Saprolito de la superficie de erosión II de Rionegro, con un potencial medio. La evaluación geoquímica sugiere continuar con un monitoreo de las variables fisicoquímicas, para que se puedan establecer conclusiones con mayor confiabilidad. Los resultados iniciales sugieren contaminación puntual en la unidad hidrogeológica relacionada con los depósitos aluviales. Finalmente, se implementó una metodología que permitió una zonificación hidrogeológica usando rutinas que involucran SIG e información de sensores remotos. Esta fase tuvo dos propósitos: por un lado, validar los resultados de esta metodología contra los resultados del modelo numérico. Y, por otro, usar la metodología en áreas sin información subsuperficial. Para las zonas sin esta información, se usó el análisis multicriterio para clasificarlas en zonas de alto, mediano y bajo potencial hidrogeológico. Posteriormente, se empleó la misma metodología incluyendo resultados de mapeo del subsuelo para lograr una zonificación hidrogeológica actualizada. La zonificación lograda en este proyecto es de utilidad para la gestión de las aguas subterráneas en esta subregión del Oriente Antioqueño y es la base para estudios futuros de mayor resolución que permitan cuantificar la oferta de este recurso a lo largo del año hidrológico.

Palabras claves: Valle de San Nicolás, Modelo hidrogeológico conceptual, Modelo numérico de flujo subterráneo, potencial hidrogeológico.

RESUMEN PONENCIA -D2-9

Insumos para la construcción del modelo hidrogeológico y caracterización de los tensores asociados al acuífero costero de Ciénaga-Fundación, ecorregión CGSM-Colombia.

Rosado, A.^{1, *}, Morales, D.F.¹, y Ricaurte-Villota, C.¹

¹Programa de Geociencias Marinas y Costeras, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” - INVEMAR, Santa Marta, Colombia

[*andres.rosado@invemar.org.co](mailto:andres.rosado@invemar.org.co)

La vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta junto a la planicie costera de Ciénaga-Fundación, revisten una gran importancia para el equilibrio hídrico de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) debido a la contribución de agua dulce que se da desde las montañas hacia el sistema estuarino costero más grande de Colombia. En este sector se localiza el acuífero costero de Ciénaga-Fundación, clasificado por el Estudio Nacional del Agua como SAC1.6, un sistema hidrogeológico cuaternario de tipo libre a semi- confinado con un área superficial aproximada de 867 km².

En esta región con amplia vocación para la agricultura del banano y palma africana, se estima que la demanda total de agua para riego de cultivos es muy superior a las concesiones otorgadas a los distritos de riego presentes. Debido a esto, la demanda de agua subterránea para fines de agricultura se incrementa llegando a ocupar un caudal diario superior a 129.500 m³/d, lo cual corresponde a más del 90% de la demanda total.

Dicho contexto provoca la sobreexplotación de este acuífero costero vulnerable a la intrusión salina y a desestabilizar la dinámica hídrica que existe en la ecorregión; por lo cual el INVEMAR desde el año 2016 emprendió una campaña de levantamiento de información para aumentar el nivel de conocimiento de este sistema hidrogeológico y generar insumos orientados a la futura modelación para el aprovechamiento sostenible y la gestión integrada del recurso hídrico.

Los resultados obtenidos, han permitido avances en la caracterización hidrogeológica, oferta y demanda principalmente. Se evidencia un mayor potencial acuífero en una franja al E cercana al piedemonte de la SNSM y al sistema de fallas Santa Marta-Bucaramanga donde el depósito cuaternario se compone esencialmente de potentes horizontes arenosos intercalados con material limo-arcilloso de origen fluvio-lacustre asociado al sistema CGSM. Por su parte el sector W del acuífero posee un menor potencial acuífero debido al incremento del contenido de material fino. También se ha evidenciado un notable avance de la cuña salina hacia el interior del continente asociado con la zona de mayor demanda de agua subterránea que comprende el sector NW del acuífero donde limita con el mar Caribe. Por último, se realizó un diagnóstico del estado actual del acuífero donde la débil articulación entre instituciones, actores y comunidad; la poca sistematización de la información y ausencia de un sistema de monitoreo son las mayores limitantes para avanzar hacia una fase de modelación numérica.

Palabras clave: Sobreexplotación, cuña salina, agricultura, recurso hídrico, humedales.

RESUMEN PONENCIA -D2-10

Desarrollo del modelo TETIS – MPE para modelar el uso conjunto en una cuenca con demanda creciente

Valencia-Tobón C.M.¹, Villegas-Jiménez N.E.² y Álvarez-Villa O.D.^{3,*}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia, carolinavalencia0330@gmail.com

²Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia, nora.villegas@udea.edu.co

³Emergente Energía Sostenible, Colombia, odalvare@gmail.com

*odalvare@gmail.com

El uso conjunto es una necesidad evidente en zonas con déficit de agua por uso. Las herramientas más aceptadas en la actualidad para gestionar los recursos hídricos superficiales y subterráneos son los modelos de uso conjunto. En ellos, el acoplamiento de modelos hidrológicos y modelos de flujo subterráneo permite conocer las relaciones río-acuífero y estimar la oferta hídrica. En este trabajo se adaptó el modelo hidrológico distribuido TETIS tal que se puedan abordar problemas de uso conjunto. Los procesos de generación de la escorrentía superficial e interflujo se representan mediante el esquema clásico de tanques interconectados en vertical y horizontal del. Sin embargo, la componente de la escorrentía subterránea se representa de forma reducida y eficiente mediante el Modelo Pluricelular Englobado (MPE). El modelo acoplado se ha denominado TETIS-MPE y permite representar la variabilidad espacial y temporal de los procesos hidrológicos en la cuenca, al tiempo que se estiman los balances del uso conjunto.

La estrategia de modelación se aplicó en la cuenca de la quebrada La Pereira, ubicada al suroriente del departamento de Antioquia, la cual, de acuerdo con el balance espacial entre oferta y demanda, para condiciones promedio de sequía, entraría en déficit, debido a que el caudal concedido es mucho mayor que el caudal mínimo. El modelo hidrológico fue aplicado de manera distribuida y el modelo de flujo subterráneo de manera agregada con parámetros distribuidos, considerando las propiedades físicas e hidráulicas del acuífero y la variabilidad de las conexiones río - acuífero. Tanto el modelo hidrológico como el de flujo subterráneo fueron calibrados satisfactoriamente usando datos reales de la cuenca, y se logró desarrollar e implementar con éxito una estrategia conceptual de acoplamiento de ambos modelos. Los resultados obtenidos permiten concluir que el uso conjunto es una estrategia que permite garantizar las demandas en la cuenca, incluso en épocas de sequía. Además, considerar del agua subterránea aumenta la disponibilidad hídrica y permite aumentar las garantías implementando estrategias de uso conjunto.

Palabras claves: modelación hidrológica, Simulación Hidrológica Abierta – SHIA, Modelo Pluricelular Englobado – MPE, relaciones río-acuífero, modelos acoplados, FORTRAN 90, Modelo SHIA – MPE, uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, cuenca de la quebrada La Pereira.

RESUMEN PONENCIA -D2-11

Evaluación de escenarios futuros utilizando un suavizador de ensamble iterativo y flujos de trabajo reproducibles.

Martinez, G.^{1,*}, Sigda, J.¹, y White, H.¹

¹INTERA Incorporated, Austin, Estados Unidos

*gmartinez@intera.com

Muchos de los desafíos ambientales que enfrentamos como sociedad requieren el uso de modelos numéricos para evaluar posibles condiciones futuras no deseables utilizando observaciones limitadas y una representación imperfecta de los sistemas hidrogeológicos. El suavizador de ensamble iterativo (IES, por sus siglas en inglés) es un método computacionalmente eficiente y robusto para cuantificar incertidumbre en modelos numéricos y evaluar el valor de fuentes de observación adicionales. IES también brinda una forma de probar hipótesis en el modelado que a menudo son demasiado complejas para los métodos estadísticos tradicionales.

Este trabajo presenta una metodología para evaluar hipótesis de condiciones adversas futuras usando modelos numéricos complejos aprovechando las ventajas computacionales de los métodos de ensamble. El modelo utilizado para ilustrar la metodología representa un sistema hidrogeológico con cientos de observaciones y miles de parámetros que describen las propiedades hidráulicas y condiciones de frontera. La manipulación del modelo numérico y archivos asociados es automatizada usando software de código abierto en un flujo de trabajo y administrada con un sistema de control de versiones que facilita la documentación de cada paso del análisis, la evaluación del destino del contaminante de interés y la implementación del análisis de incertidumbre y pruebas de hipótesis. Después de evaluar detalladamente los conflictos entre los parámetros del modelo establecidos a priori y las observaciones, IES ajusta los parámetros del modelo para disminuir las diferencias entre simulaciones y observaciones. La información que proveen las observaciones durante el ajuste de parámetros se complementó con una estadística espacial que representa la condición adversa en el futuro.

Los resultados del análisis ilustran la relación entre ajustar los parámetros del modelo para reproducir las observaciones existentes y el resultado hipotético no deseado, así como el impacto en la plausibilidad de los parámetros del modelo. La eficiencia computacional y la flexibilidad de esta metodología proporcionan una herramienta de modelado para el soporte de decisiones de forma robusta, eficiente y reproducible para resolver desafíos ambientales.

Palabras clave: pruebas de hipótesis, incertidumbre, modelos numéricos, flujos de trabajo, reproducibilidad.

RESUMEN PONENCIA -D2-12

Análisis cuantitativo del fracturamiento y su implicación en la evaluación de rocas cristalinas como sistemas acuíferos: caso de estudio en la cuenca del río La Baja (departamento de Santander).

Galvis-Gómez, M.A.^{1,*}, Ocampo-Guzmán, E.¹, y Viana-Castaño, F. E. ¹

¹Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia

*mgalvis@sgc.gov.co

El carácter hidrogeológico de las rocas tiene en cuenta la capacidad de transmitir y/o almacenar agua lo cual es dependiente del flujo intergranular (porosidad primaria) y del grado de fracturamiento (porosidad secundaria). Debido a la nula porosidad primaria de las rocas cristalinas, se hace necesario evaluar el potencial hidrogeológico realizando una cuantificación del grado de fracturamiento para definir la porosidad secundaria.

La cuenca del río La Baja se encuentra ubicada en la zona axial del macizo de Santander y está conformada por rocas ígneas y metamórficas de diferentes edades. Con el fin de realizar una caracterización del fracturamiento dentro de esta cuenca hidrográfica, se ejecutó un flujo de trabajo teniendo en cuenta varias metodologías para la toma de datos de discontinuidades, orientado en determinar los siguientes parámetros: geometría, intensidad y densidad de fracturamiento, conectividad entre las fracturas y permeabilidad.

Inicialmente se utilizó el método de exploración lineal (*linear scanline*) para medir los parámetros geométricos y de resistencia de las discontinuidades como su orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, abertura, relleno y flujo de agua. Posteriormente, se realizó la toma de fotografías orientadas y escaladas de afloramientos que permitió aplicar el método de exploración circular (*circular scanline*) y el cálculo del espaciamiento promedio entre discontinuidades (intensidad), número de discontinuidades por área (densidad), relaciones topológicas entre fracturas (conectividad) y la capacidad del sistema de permitir el flujo del agua a través del mismo (permeabilidad).

En la cuenca del río La Baja se tomaron 1933 datos estructurales de discontinuidades que permitieron establecer los principales patrones de fracturamiento y su relación con la orientación de las estructuras de primer orden, con rumbo NE-SW (falla del río Cucutilla y falla de La Baja) así como con estructuras menores con rumbo E-W. Adicionalmente, se tomaron 167 fotografías orientadas de afloramientos rocosos que permitieron la elaboración de mapas de intensidad, densidad, conectividad y permeabilidad de las discontinuidades, a partir de esta información fue posible determinar que las zonas favorables para el tránsito de fluidos se encuentran asociadas a las fallas principales y a la zona de transferencia entre ellas.

La información obtenida a partir del análisis cuantitativo del fracturamiento debe ser integrada junto con el inventario de puntos de agua y los análisis físico-químicos e isotópicos con el fin de obtener un modelo de flujo superficial y subterráneo del agua y determinar las probables interconexiones entre estos flujos.

Palabras clave: discontinuidades, geología estructural, hidrogeología, porosidad secundaria, rocas cristalinas.

RESUMEN PONENCIA -D2-13

Estimación preliminar del potencial de geotermia somera para Bogotá mediante SIG.

Aguirre-Corrales, A.^{1, *}, Matiz-León, J. C.¹, y Alcaraz, M.²

¹Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia

²Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España

*aaguirre@sgc.gov.co

La geotermia somera es un recurso de baja temperatura empleado principalmente para procesos de calefacción y/o refrigeración, entre otros, bajo el principio del aprovechamiento de los cambios de temperatura entre la superficie terrestre y las capas más superficiales de la corteza terrestre, incluyendo los fluidos contenidos en los poros o fracturas de las rocas.

Como parte del inicio de una nueva línea de investigación en geotermia somera, el Servicio Geológico Colombiano, a través del Grupo de Investigación Geotérmica, realiza un ejercicio académico para estimar de manera preliminar el potencial de geotermia somera para Bogotá, con base en Sistemas de Información Geográfica – SIG.

Para el ejercicio que se plantea se tienen en cuenta datos algebraicos, relacionados con criterios técnicos como la máxima diferencia de temperatura, y datos espaciales (ráster) de parámetros térmicos e hidrogeológicos. Se tiene como base la piezometría de Bogotá, se consideran los 100 primeros metros de profundidad del subsuelo y se realiza un álgebra de mapas con las siguientes coberturas: Litología, velocidad del agua subterránea, conductividad térmica y capacidad calorífica. Al final, se obtiene un mapa de potencial geotérmico somero de Bogotá. Aunque los datos han sido estimados de manera conservadora, el ejercicio ofrece como resultado una aproximación al potencial geotérmico somero del Distrito Capital para intercambiadores verticales de 100 m de profundidad, con rangos para los acuíferos entre 484 y 8463 W y para los acuitados entre 919 y 1826 W.

Palabras clave: *Energía renovable, termogeología, piezometría, conductividad térmica, capacidad calorífica.*

RESUMEN PONENCIA -D2-14

Prediction uncertainty and data worth assessment for recovery data in postclosure mines with Python and PEST++GLM.

Suescun, Luis Camilo^{1,2*}, Cook, Peter², Hugman, Rui², Partington, Daniel² y Wallis, Ilka²

¹IDHI Group, Lima, Perú

²Flinders University, Adelaida, Australia

*lcsc@dhigroup.com, luis.suescun@flinders.edu.au

La predicción de la recuperación del nivel del agua subterránea después del cierre de minas generalmente se basa en la geología y niveles de agua obtenidos cerca del tajo de la mina, donde se realiza el desagüe y las perforaciones de exploración están enfocadas. Por lo general, hay menos datos disponibles más lejos del tajo, pero estos datos pueden tener una profunda influencia en las tasas de recuperación del nivel del agua, particularmente en escalas de tiempo más largas. Por lo tanto, uno de los desafíos es la cuantificación de la incertidumbre del pronóstico de la recuperación de los niveles de agua después del cierre, y cómo los datos recopilados a diferentes distancias de la mina afectan esta incertidumbre.

Para abordar este desafío, se implementó un enfoque innovador en Python que utiliza métodos de cuantificación de incertidumbre y análisis lineal o primer orden segundo momento (FOSM) para identificar los factores que afectan la incertidumbre de recuperación de deshidratación. Se elaboró un modelo sintético, generado en FEFLOW que representa un desagüe del tajo durante 20 años de operación y 100 años de post-cierre, y un análisis de la importancia de los datos para explorar el valor de la recolección de datos cercanos y lejanos entre la predicción a corto y largo plazo.

Para la matriz de sensibilidad se utilizaron puntos de observación equidistantes y puntos piloto generados por PEST++GLM que, junto con una distribución previa de parámetros de incertidumbre, permitió identificar la distribución espacial del valor relativo de los datos para cada pronóstico y mejorar la recopilación de datos para informar los pronósticos en diferentes momentos en el futuro.

Palabras clave: predicción de pronóstico, incertidumbre, PEST++GLM, FEFLOW, minería.



RESUMEN PONENCIA -D2-15

Hydrogeology Perspectives on Carbon Sequestration.

Molina Giraldo, Nelson.^{1, *}, Schumacher, Jens.¹, y MacMillan, Gordon.¹

¹Fluid Domains Inc., Calgary, Canadá

*nmolinagiraldo@fluid-domains.com

Carbon sequestration in geologic strata has the potential to help global efforts in reducing carbon dioxide emissions to the atmosphere. The physics behind injecting CO₂ into deep aquifers is well understood and its practical application has benefited from many decades of experience with hydrocarbon production, water production, and wastewater disposal across the globe. Recently published letters from some scientists, however, raise concerns about the feasibility and long-term success of carbon sequestration. It is our contention that concerns about the efficacy of carbon sequestration can, and should, be addressed through transparent and purpose specific quantitative evaluation.

Numerical and analytical modelling should be used to support planning and decision making around CO₂ sequestration projects. This presentation provides perspectives from our experience with regional scale, long-term numerical modelling of deep aquifers. The presentation also provides support for a risk-based evaluation framework including the possible use of multiple, purpose-specific assessment methods that seek to evaluate containment risk. The central thesis is that when addressing a skeptical audience, it is more important to understand the likelihood of possible negative outcomes (hypothesis testing) than to develop a detailed simulation of the most likely outcome.

Palabras clave: *risk-based framework, deep aquifers, feasibility, numerical modelling.*

RESUMEN PONENCIA -D2-16

Desafíos y evaluación de impactos en un Tajo Abierto en los Andes Peruanos, utilizando técnicas avanzadas de programación con Python.

Suescun, Luis Camilo^{1,*}, Dufour, Robin¹ y Zafra, Jorge²

¹IDHI Group, Lima, Perú

²MMG, Lima, Perú

[*lcsc@dhigroup.com](mailto:lcsc@dhigroup.com)

La modelación inversa es una herramienta clave en la hidrogeología, especialmente cuando se trata de abordar la incertidumbre en los modelos conceptuales de agua subterránea. La evolución de los lenguajes de programación, como C++ y Python, ha permitido a los modeladores construir, ejecutar y optimizar los modelos complejos con rapidez y eficiencia. Sin embargo, los modeladores a menudo ejecutan y analizan separadamente la calibración estacionaria y transitoria debido a restricciones operacionales en los códigos numéricos y al desconocimiento de metodologías de trabajos eficientes en los proyectos mineros.

Para abordar este desafío, se analizó una importante mina de cobre a cielo abierto en Suramérica que utilizó un modelo geológico en Leapfrog y numérico 3D en FEFLOW para representar la geología e hidrogeología compleja de la región andina en su condición pre-minado y actual. Del modelo hidrogeológico conceptual, trabajos de campo y pruebas hidráulicas ejecutadas permitieron identificar zonas de reducción de conductividad hidráulica a profundidad, zonas fracturadas y kársticas que llevaron a una parametrización de más de 1500 zonificaciones. Se emplearon métodos de programación de IFM en Python para minimizar los tiempos de corrida de las instalaciones mineras y técnicas de factorización, puntos piloto y multiplicadores, en un acoplamiento de calibración estacionaria-transitorio en PEST para minimizar los tiempos de cálculo y apoyar la evaluación de impactos ambientales requeridos por el EIA.

Palabras clave: FEFLOW, IFM, problema inverso, EIA, PEST

RESUMEN PONENCIA -D2-17

Evaluación isotópica e hidrogeoquímica en la cuenca de la quebrada La Baja en el municipio de California, Santander.

Herrera, W.¹

¹Servicio Geológico Colombiano, Bogotá D.C,

Colombiawherrerag@sgc.gov.co

Con el fin de evaluar las características isotópicas e hidrogeoquímicas en términos de calidad del agua subterránea en la cuenca de la quebrada La Baja, la cual tiene su parte alta en el páramo de Santurbán (California, Santander), se realizó el análisis tanto del contenido de los isótopos estables deuterio ($\delta^2\text{H}$) y oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$), que permiten estimar las alturas en las cuales se infiltra al subsuelo, como la determinación de iones mayoritarios y elementos químicos potencialmente peligrosos (EPP), para entender la relación de las aguas subterráneas y las actividades mineras en el páramo.

La adquisición de información para el análisis isotópico incluyó tres campañas de campo durante los meses de febrero, abril y noviembre de 2022 con un total de 139 muestras de agua de manantiales, pozos, piezómetros, drenajes de minería subterránea y agua superficial. A partir de la información de la red mundial de isótopos en la precipitación GNIP (*Global Network of Isotopes in Precipitation*) se construyó la línea meteórica isotópica local y se calculó el gradiente isotópico altitudinal, que permitió correlacionar las concentraciones isotópicas con la altura topográfica.

Los análisis isotópicos indican que el agua drenada por las galerías y túneles de exploración minera muestran valores similares a las aguas del páramo, con lo cual se establece una relación entre la marca isotópica de muestras de manantiales de la zona de páramo y las tomadas en los túneles de exploración minera. Por otra parte, los ríos Suratá y Vetás, muestreados en cotas entre los 1600 y 2000 m s. n. m., respectivamente, también presentan la huella isotópica que permite establecer que sus aguas son aportadas por el páramo.

En términos de calidad de agua, se realizaron dos campañas de campo durante los meses de abril y noviembre de 2022 con un total de 69 muestras. La mayor parte de datos con pH (acidez) bajos se relacionan con los túneles mineros; la conductividad eléctrica de las aguas drenadas por los socavones también presenta valores altos, lo cual significa que existen altas concentraciones de elementos químicos disueltos en las aguas de mina. En cuanto a concentraciones con valores superiores al límite establecido para cualquier uso, las aguas drenadas por túneles y galerías mineras se encuentran: arsénico, cadmio, cobre y níquel. Según el límite establecido en la normativa vigente para consumo humano para algunas galerías mineras se evidencia hierro, manganeso y aluminio por encima del rango establecido.

Palabras clave: línea meteórica, gradiente isotópico altitudinal, elementos potencialmente peligrosos, actividad m

RESUMEN PONENCIA -D2-18

Determinación de línea base hidrogeoquímica considerando la teoría de sistemas de flujo aplicado a un karst tropical de montaña en el sur de México.

Blanco-Gaona, Sandra.^{1, *}, Escolero, Oscar.²

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

sandrablanca173@gmail.com , escolero@geologia.unam.mx

En las últimas décadas se ha hecho evidente el aumento de la demanda de agua para abastecer a las poblaciones, agricultura e industria lo que ha generado un deterioro en la calidad de agua por contaminación. Por lo que, conocer la evolución química inorgánica natural del agua subterránea es esencial con el fin de tener una referencia de concentraciones naturales con la cual comparar los cambios o alteraciones en el sistema debidas a actividades antropogénicas. Determinar las concentraciones naturales de referencia usualmente se realiza a partir de definir una línea base. El trabajo se enfoca en presentar una metodología para determinar la línea base correlacionada con la teoría de sistemas de flujo. La línea base se define como las concentraciones de una especie química que se derivan por procesos naturales. La teoría de sistemas de flujo considera un sistema de flujo de agua subterránea como un sistema único que se integra por componentes o trayectorias de flujo; la teoría incluye los conceptos de continuidad hidráulica regional, conectividad hidrológica y nivel base de descarga.

Considerando la teoría de sistemas de flujo para definir la línea base no se obtiene solamente un rango de concentraciones por procesos naturales, sino que el concepto de línea base cambia y el resultado es un rango de concentraciones contextualizado con el funcionamiento o modelo conceptual del sistema. La metodología propuesta inicia con un proceso de preselección de los lugares representativos de concentraciones naturales. Posteriormente, los lugares preseleccionados se contextualizan con el sistema a partir del contexto geológico y red de flujo. Por último, se propone una etapa final que considera la validación de la línea base propuesta a partir de modelación hidrogeoquímica.

La metodología se aplica dentro de la cuenca río Grande de Comitán-Lagos de Montebellola cual se encuentra rodeada de rocas calizas que conforman un sistema kárstico. El principal afluente perenne es el río Grande de Comitán el cual descarga en los lagos de Montebello al sureste de la cuenca. La zona de estudio presenta una fuerte conectividad hidrológica generando un sistema de flujo somero diferente al comportamiento regional observado principalmente en las rocas calizas.

Palabras clave: modelación hidrogeoquímica.



RESUMEN PONENCIA -D2-19

Estudio de la circulación de agua subterránea en un sistema de alta montaña mediante el uso de herramientas geoquímicas e isotópicas. Caso de estudio Nacimiento del Río de Oro, Macizo de Santander (Colombia).

Cetina, M.¹, Gómez-Isidro, S.¹, y Taupin, J-D.²

¹Grupo de Investigación en Recursos Hídricos GPH, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

²Hydrosiences Montpellier, Univ. Montpellier, IRD, CNRS, France

[*maria.cetina@correo.uis.edu.co](mailto:maria.cetina@correo.uis.edu.co)

Se realizó un estudio geoquímico e isotópico de manantiales en un sistema de alta montaña (2.500 a 3.500 msnm) correspondiente a la zona del nacimiento del Río de Oro, Macizo de Santander (quebrada Picacho). En el área de estudio existen corrientes de agua subterránea someras que circulan en rocas con baja o nula porosidad primaria, pero con buen desarrollo de la porosidad secundaria por fracturación y por procesos de disolución. La mineralización del agua subterránea está fuertemente controlada por el tipo de roca por donde circula, mostrando baja conductividad eléctrica en rocas sedimentarias de cuarzoarenitas bien cementadas (Formación Los Santos, 21 a 79 $\mu\text{S/cm}$) y rocas ígneas tipo granodioritas (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, 24 a 75 $\mu\text{S/cm}$), y conductividad eléctrica media en rocas sedimentarias carbonatadas (Formación Rosa Blanca, 192 a 525 $\mu\text{S/cm}$). El contenido de iones mayoritarios del agua determina facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas que indican una baja evolución geoquímica temporal. El análisis del contenido isotópico de los manantiales a lo largo de un año permite establecer dos comportamientos: 1) Manantiales con baja variabilidad del contenido de oxígeno-18 (valores entre -11.08 a -10.12 ‰) que evidencia una buena mezcla de las aguas durante el almacenamiento. 2) Manantiales con alta variabilidad (valores de oxígeno-18 entre -11,51 a -8,84 ‰) mostrando una mezcla con agua de lluvia. Por otro lado, se determinó el tiempo de residencia de los flujos subterráneos a partir de la medición del contenido de unidades tritio que indican tiempos de residencia cortos variando de 2.5 (1.8 UT) a 7 (1.4 UT) años, calculados a partir de un modelo preliminar de flujo pistón. Finalmente, a partir de la medición de caudales de cada manantial y un análisis de sus áreas aferentes, se determina que la cantidad de agua que puede ser captada sobre la cuenca superficial es menor a la descarga del sistema subterráneo. Con base en lo anterior se propone que la zona de recarga de las aguas subterráneas excede el área de la cuenca superficial, cubriendo parte de la cuenca adyacente que corresponde a la zona del nacimiento del río Jordán donde se encuentra ubicado el Páramo de Berlín.

Palabras clave: Hidroquímica, Isótopos estables, Edad del agua subterránea.

RESUMEN PONENCIA -D2-20

Análisis de la modificación del nivel base de descarga global a través de la identificación de las componentes del sistema regional de flujo de agua subterránea: Caso de estudio Sistema Nazas, México.

Flórez-Peñaloza, José Roberto.^{1,*}, Escolero, Oscar.²

¹ Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México*

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

[*joserflorezp@hotmail.com](mailto:joserflorezp@hotmail.com) , escolero@geologia.unam.mx

La clasificación de las componentes de los sistemas de flujo de agua subterránea en un sistema endorreico es importante para la determinación de su funcionamiento actual, y observar el posible grado de perturbación natural y antropogénica. El estudio se desarrolló en el Sistema Nazas al norte de México, con el objetivo de determinar e identificar los componentes de flujo de agua subterránea y estudiar el funcionamiento del sistema respecto al nivel base de descarga global en una zona semiárida. Para el análisis se realizó la recopilación de información de diferentes instituciones gubernamentales y académicas, de manera que, se obtuvieron un total de 1120 puntos (entre manantiales, pozos y norias) con registros hidrogeoquímicos de iones mayores, menores y traza; y 4079 puntos con registro histórico de niveles piezométricos, con los cuales se realizó inicialmente un análisis exploratorio de datos, para observar posibles valores atípicos que se extrajeron los valores que eran atípicos. Estos últimos permitieron realizar la construcción de la red de flujo de agua subterránea para el año 2010.

Respecto a los datos hidrogeoquímicos se extrajeron los valores que tenían un error > 10%, posteriormente, se realizaron interpolaciones para los diferentes parámetros fisicoquímicos; adicionalmente, se efectuó un análisis de componentes principales por medio de una clasificación multifactor (clúster), construyéndolo a partir de 1120 observaciones y siete variables a comparar, lo cual permitió discriminar los diferentes grupos que se esquematizaron en diagramas de caja, para observar las características de cada una de las componentes que se visualizaron en diagramas de Mifflin, Piper y Stiff. En consecuencia, se propuso el modelo hidrogeoquímico conceptual del Sistema Regional de Flujo de Agua Subterránea Nazas.

Finalmente, el análisis multivariado estableció cuatro componentes de flujo principales: dos de carácter local, una intermedia y una regional. Por otra parte, la red de flujo mostro una conexión de las zonas más extremas con el nivel base de descarga global por medio de los principales afluentes de la región (Nazas y Aguanaval); una modificación del nivel base de descarga global al formarse un cono de abatimiento; y por último se observó que la profundización de los niveles estáticos está generando la extracción de agua más evolucionada en zonas no correspondientes al nivel base de descarga.

Palabras clave: *Sistemas de flujo de agua subterránea, componentes de flujo, Hidrogeoquímica,*

RESUMEN PONENCIA -D2-21

Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de las fuentes de agua potable en la Ciudad de Morelia (Michoacán, México).

Hernández-Hernández, Mario Alberto^{1,*}, González-Sosa, Juan Rodrigo², Navarro-Farfán, María del Mar³, y García-Ledesma, Israel Alejandro⁴

¹ Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad de México, México

^{2,3,4} Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México

*malbher@igeofisica.unam.mx

La ciudad de Morelia (localizada al occidente de México), tiene una población de 800 mil habitantes y un constante crecimiento urbano, requiriendo grandes volúmenes de agua y presentando actualmente problemas con el abastecimiento del recurso hídrico, provocando un déficit del gasto, afectando la disponibilidad del agua en la zona y produciendo un desequilibrio en la renovabilidad del agua en las fuentes de abastecimiento.

El estudio evalúa las condiciones en las que se encuentran las principales fuentes de abastecimiento, mediante la caracterización fisicoquímica e isotópica, usadas como herramientas para relacionar la explotación de los recursos hídricos con el ciclo natural del agua y su renovabilidad. Al estudiar la abundancia relativa de isótopos estables y parámetros fisicoquímicos del agua de lluvia y fuentes subterráneas, superficiales y manantiales, se pueden analizar los procesos de recarga y descarga natural, además del efecto de la sobreexplotación del agua subterránea sobre su disponibilidad.

Se llevaron a cabo dos muestreos, uno en 2018 para la colecta representativa del agua de lluvia, con más de 70 muestras de agua y otro muestreo en febrero de 2021, de las fuentes de abastecimiento de agua potable (operados por el organismo local operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento), recolectando 76 muestras de agua de pozos, manantiales y corrientes superficiales. Se recopilaron y trataron datos climatológicos de precipitación y temperatura, junto con una recolección de datos hidrogeológicos e isotópicos.

Se compararon los datos isotópicos obtenidos de 2018 con la base de datos *Water Isotopes* de sitios cercanos a la zona de estudio y se determinó una Línea Meteórica Local (LML) provisional para la Ciudad de Morelia. Los resultados isotópicos y fisicoquímicos de las aguas de fuentes de abastecimiento de la zona (pozos, manantiales, ríos), su análisis a través de gráficos bivariados, de clasificación hidrogeoquímica y de la distribución espacial en la zona de estudio, dan una idea de la dinámica del flujo subterráneo y su relación con su explotación, observándose un comportamiento similar entre algunos de los parámetros medidos en campo para las distintas fuentes de agua.

Aunque las concentraciones de algunos parámetros en agua de pozos sobrepasan la normatividad nacional vigente (cercano al límite), el organismo operador ha abordado el tema a través de la mezcla de agua proveniente de distintas fuentes. Realizar este tipo de estudios es muy importante y necesario para lograr un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

Palabras clave: *caracterización hidrogeoquímica, agua subterránea, calidad del agua.*

RESUMEN PONENCIA -D3-1

Estimación de Parámetros Hidráulicos en Acuíferos Costeros A Partir de la Respuesta del Agua Subterránea a las Mareas Oceánicas. Caso De Estudio: Barranquilla, Colombia.

Blanco-Piña, Angielly.^{1,*}, Garcia-Cabrejo, Oscar.¹,

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia

*Correo electrónico del autor de contacto: angiellykblancop@gmail.com

Las pruebas de bombeo son el método más utilizado para estimar los parámetros hidráulicos de acuíferos en la escala que se requiere en los modelos numéricos de flujo. El diseño correcto de una prueba de bombeo requiere de dos pozos, uno de bombeo y uno de observación en donde se realizan las mediciones del abatimiento. Esto asegura la estimación correcta del coeficiente de almacenamiento, parámetro hidráulico que es de vital importancia para cuantificar la cantidad de agua que se puede extraer de un acuífero. Desafortunadamente en Colombia, la mayoría de las pruebas de bombeo se realizan usando solo el abatimiento colectado en el pozo de bombeo, con lo cual se puede estimar de forma correcta la transmisividad, pero puede causar errores en la estimación del coeficiente de almacenamiento. Esta situación es especialmente crítica en acuíferos costeros en donde se requiere contar con modelos numéricos de flujo para predecir el movimiento del agua subterránea y así evitar problemas de intrusión marina. Por lo tanto, se hace necesario contar con metodologías alternativas para la estimación de los parámetros hidráulicos en acuíferos costeros. Una característica de este tipo de acuíferos es que se encuentran bajo la influencia de las mareas oceánicas, factor que afecta directamente los niveles piezométricos en el acuífero. La respuesta del acuífero ante estas mareas oceánicas representada por el cambio en los niveles piezométricos depende de las características mecánicas del acuífero dentro de las cuales se incluye el coeficiente de almacenamiento. En este trabajo se emplea una metodología para estimar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento que no requiere prueba de bombeo y que se basa en el monitoreo continuo de niveles piezométricos en un sector de la ciudad de Barranquilla a pocos metros del río Magdalena, en un acuífero conformado por suelos no consolidados. Los resultados indican que los niveles piezométricos se encuentran afectados por las mareas diurnas y semidiurnas (K1 y M2) con periodos de 23.93 y 12.42 horas respectivamente. Los valores obtenidos de transmisividad están en el rango de $1.75 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ y $1.91 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ y los valores obtenidos de coeficiente de almacenamiento se encuentran en el rango de acuífero confinado (orden de magnitud 10^{-5}). Esto se corrobora con los perfiles litológicos y los valores de eficiencia barométrica de 0.6. Esta metodología se convierte en una alternativa económica y confiable para la estimación de los parámetros hidráulicos en acuíferos costeros de Colombia.

Palabras clave: Acuífero costero, Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento, Mareas oceánicas, solución analítica



RESUMEN PONENCIA -D3-2

Conciliando modelos y observaciones para mejorar nuestro entendimiento de la conectividad hidrológica subsuperficial en corredores fluviales.

Álvarez-Villa O.D. ^{1*}, Gómez-Vélez J.D. ², Brown K. ^{3,4}, Kosson D. ^{3,4}

¹ Emergente Energía Sostenible, Medellín, Colombia

² Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, Estados Unidos de América

³ Consortium for Risk Evaluation with Stakeholder Participation (CRESP)

⁴ Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, Estados Unidos de América

[*odalvare@gmail.com](mailto:odalvare@gmail.com)

La temperatura sirve como variable de estado para caracterizar los procesos físicos y biogeoquímicos en corredores fluviales. Dada su importancia, los modelos térmicos de base física y las observaciones se utilizan en conjunto para predecir los patrones de variabilidad espaciotemporal de procesos. Además, aprovechando el estrecho acoplamiento entre el flujo de agua y el transporte de energía, estos modelos sirven como un proxy para estimar la conectividad hidrológica, la cual es muy difícil de medir a escala de tramo. La confiabilidad predictiva de los modelos depende de las características de las observaciones disponibles, y no todas las fuentes de datos brindan el mismo nivel de información. Asimismo, El advenimiento métodos de medición más eficientes hace posible recopilar grandes y diversos conjuntos de datos térmicos para informar los modelos de temperatura y reducir su incertidumbre. Del mismo modo, los avances en las técnicas de asimilación de datos nos permiten evaluar el valor agregado de cada método de medición.

Dado lo anterior, se presenta un experimento sintético que busca ilustrar el valor de considerar observaciones fijas en el espacio, fijas en el tiempo y a escala sinóptica para detectar parámetros de transferencia de calor y reducir la incertidumbre del modelo TZTS. Se utiliza un filtro de Kalman de conjuntos para la asimilación de datos y se asume un sistema parámetros térmicos muy heterogéneos: los flujos de intercambio con las zonas hiporréicas y el almacenamiento lateral en el canal. Nuestros hallazgos sugieren que la asimilación rigurosa de las observaciones de temperatura en tiempo real puede detectar patrones complejos de flujos de intercambio debido a cambios ambientales repentinos. Las observaciones de temperatura en las zonas de almacenamiento proporcionan un alto grado de identificabilidad de los parámetros. Sin embargo, estas observaciones son escasas en aplicaciones reales. El modelo no puede identificar adecuadamente los parámetros cuando solo se dispone de observaciones en el canal principal.

Palabras claves: Corredor fluvial, Asimilación de datos, Filtro de Kalman de Conjuntos, Flujo subterráneo y transporte de calor, Modelación inversa.

RESUMEN PONENCIA -D3-3

Modelo Basamento Hidrogeológico Campo Integrado Palogrande - Cebú - Pijao. Una Integración de Modelos de Sísmica-Pozo-Electroresistividad-Magnetotelúrico para la protección de acuíferos aprovechables.

Lazala -Silva, Maybe. ¹, *, Castillo Vincentelli, Maria Gabriela.¹, Ceballos, Claudia. ¹ Ortiz Salazar, Pedro Pablo.¹, Cardenas Gomez, Hernan Dario. ¹

¹Ecopetrol, Bogota, Colombia

* maybe.silva@ecopetrol.com.co

El estudio hidrogeológico en el Campo Integrado Palogrande, localizado en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (Departamento del Huila), tuvo como objetivo caracterizar la distribución de potenciales acuíferos aprovechables, utilizando de base un modelo híbrido que integra diferentes niveles de análisis: datos sísmicos, registros de resistividades, rayo gamma y datos de la adquisición magnetotelúrica y electroresistividad, con el fin de proteger los acuíferos de las actividad petrolífera. Mediante esta metodología se determina la profundidad y extensión de los acuíferos y se definen profundidades seguras de revestimiento pozo a pozo, para aislar el yacimiento, evitando así un accidente por contaminación con fluidos propios de la producción de hidrocarburo, potencializando la evaluación económica.

El método consistió en la generación de un geomodelo del acuífero, por medio de la integración de información geofísica diseñada para tal fin. El análisis considera dos niveles: la profundidad máxima teórica de acuífero aprovechable (250 m aprox.); y profundidad del último nivel estratigráfico que pudiese conectar el yacimiento a un acuífero definido a partir de sísmica y registros de pozo.

La adquisición de perfiles de electroresistividad y magnetotelúrica alcanzan una profundidad de investigación de 250 metros a partir de la topografía, generando dos volúmenes de resistividad aparente. De esta forma, al observar que en algunas zonas estas capas de acuífero profundizan en la cuenca, consecuencia de la configuración estructural, se decidió integrar en un único geomodelo, los resultados de los 4 métodos geofísicos utilizados. La definición de la unidad que debe ser protegida tiene como análogo el Campo Dina K al norte, donde se caracteriza la Formación Gigante como la unidad a ser protegida.

Del resultado se obtiene que el último nivel aprovechable puede mantenerse a una profundidad de 250 metros y el nivel estratigráfico de referencia es equivalente a este en la región sin deformación, mientras que en lugares asociados al depocentro principal en el Campo Palogrande, esta profundidad se encuentra a un promedio de 365 metros, alcanzando localmente los 430 metros. Debe mencionarse que, este nivel es el último que pudiese conectar con superficie, validado en el pozo Babillas al Oeste, donde el análisis geoquímico de las aguas indica que el nivel aflorante no corresponde a un acuífero aprovechable, y aunque considerado para protección por medio de revestimiento/cementación en pozo, lateralmente presenta barreras geológicas, lo que implica que la operación estaría siendo ejecutada con el máximo cuidado de protección ambiental.

Palabras clave: Geomodelo, Basamento Hidrogeológico, geofísica, Dina K, Valle Superior del Magdalena.

RESUMEN PONENCIA -D3-4

Nivel de Fondo Químico Natural para el Sistema Acuífero del Miembro Superior de la Formación Los Santos, Santander (Colombia).

Casadiegos, L.^{1, *}, Cetina, M.^{1,2}, Gómez, S.¹ y Domínguez, I.¹,

¹Grupo de Investigación en Recursos Hídricos GPH, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

²Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia

*luisa.casadiegos@correo.uis.edu.co

La Mesa de los Santos corresponde a una meseta elevada de la Cordillera Oriental de Colombia, con características hidroclimáticas y geomorfológicas que configuran escasez de agua superficial, por lo cual, las aguas subterráneas constituyen la fuente principal de su abastecimiento hídrico, donde al menos un 33% de la población la usa para su consumo. El Miembro Superior de la Formación los Santos (K1lsms) ha sido definido como el mayor potencial hidrogeológico del área. En este se han identificado dos acuíferos, uno denominado Acuífero Somero - K1lsms, de tipo libre, discontinuo, localizado en perfiles de meteorización y zonas someras de fracturamiento; y el otro, denominado Acuífero Superior

- K1lsms, de tipo libre, localmente semiconfinado y fracturado, en el cual la porosidad secundaria por fracturamiento domina el almacenamiento y la circulación de agua. Como herramienta para la gestión del recurso subterráneo, se propusieron valores de Fondo Químico Natural (FQN), considerando tres iones catalogados como indicadores satisfactorios de contaminación (NO_3^- , PO_4^{3-} , y SO_4^{2-}). El FQN permite mostrar las concentraciones de un elemento presente en solución derivado de fuentes naturales. En este trabajo se determinó el FQN usando hidroquímica del año 2008, donde se considera impacto antrópico bajo a nulo. Posteriormente, a partir de análisis hidroquímicos realizados en el año 2021 (época lluviosa) y 2022 (época seca), se identificaron zonas donde las concentraciones de dichos iones superan su FQN, mostrando diferencias entre épocas que permitirá priorizar áreas para el monitoreo de calidad de aguas. Los resultados mostraron niveles de FQN (percentil 90) para el Acuífero Somero - K1lsms de 2.12 mg/L, 0.05 mg/L y 26.77 mg/L y para el Acuífero Superior - K1lsms de 3.17 mg/L, 0.17 mg/L y 5.06 mg/L en los iones de NO_3^- , PO_4^{3-} y SO_4^{2-} respectivamente. Las anomalías de las concentraciones de los parámetros analizados se distribuyen de manera amplia por toda la zona, aumentando de manera notoria en la época seca, donde se alcanzan coberturas de anomalías para NO_3^- del 90.82%, para PO_4^{3-} de 31.17% y para el SO_4^{2-} de 64.88%. Los excesos de NO_3^- sugieren contaminación de agua subterráneas por uso de pesticidas y fertilizantes químicos en cultivos, además de inadecuados sistemas sépticos en zonas sub-urbanizadas; los excesos de PO_4^{3-} muestran afectaciones por actividades agropecuarias sumado a la disposición inadecuada de estiércol animal y material compostado; finalmente, los excesos de SO_4^{2-} indican zonas afectadas por los residuos domésticos e industriales de las áreas sub-urbanizadas y los sectores comerciales.

Palabras clave: Calidad de agua, línea base, gestión del agua subterránea, monitoreo.

RESUMEN PONENCIA -D3-5

Percepciones acerca del agua subterránea en Antioquia.

Betancur, T.^{1,*}, Rivera, D.², Monsalve, L.³

^{1 2 3} Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

[*teresita.betancur@udea.edu.co](mailto:teresita.betancur@udea.edu.co)

La perspectiva del agua subterránea en el departamento de Antioquia está, sin lugar a duda, relacionada con la percepción que los habitantes del departamento tengan de este recurso. De acuerdo a la experiencia y los aprendizajes en procesos de planeación participativa, mediados por la Universidad de Antioquia en diversos territorios del departamento y en el marco del proyecto de año sabático de la profesora Teresita Betancur, con el apoyo del proyecto Evidence4Policy, se generó el interés por ahondar en las narrativas, las historias y los relatos que configuran el uso o el conocimiento local del agua subterránea; las formas en las cuales se accede a ella, la manera de nombrar y darle lugar a un bien invisible que, en Antioquia, representa un potencial fundamental para el abastecimiento de comunidades y la sostenibilidad de ecosistemas vulnerables.

Para lograr el propósito de reconocer las percepciones acerca del agua subterránea en el departamento de Antioquia, se realizó un recorrido por las distintas subregiones indagando entre los actores sociales, su relación con el agua más allá de la connotación que todos tenemos de este bien. Así mismo, se retomó el trabajo realizado desde la Universidad de Antioquia en proyectos de investigación hidrogeológica y formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA), así como los informes sobre los PMAA del Occidente antioqueño (Corantioquia, SHI 2017) y Magdalena Medio (Corantioquia, GOTTA 2018) que reúnen aspectos útiles para el presente propósito.

Como resultado de este trabajo, se generó un documento síntesis con la caracterización de cada subregión con registro fotográfico y en texto de los testimonios de los actores sociales, así como un archivo en audio que posteriormente se convirtió en una serie de podcasts disponible en línea; también, se diseñó un calendario programador que fue la pieza de comunicación bajo la cual se resumieron los resultados de este trabajo. Finalmente, se reconoce en este trabajo un soporte valioso en el camino por renovar, en el discurso y en la práctica, que la exploración hidrogeológica empieza con un diálogo de percepciones entre los saberes que tenemos acerca del agua subterránea.

Palabras clave: diálogo, participación, hidrogeología, comunicación, conocimiento

RESUMEN PONENCIA -D3-6

Evolución de las herramientas y aplicaciones usadas para apoyar la gestión y planificación de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca.

Escobar, S.¹,

¹Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, Santiago de Cali, Colombia
sandra-teresa.escobar@cvc.gov.co

La Corporación ha venido recolectando información hidrogeológica desde los años 1967, año en el cual se iniciaron los estudios hidrogeológicos en la región, esta práctica se desarrolla hasta nuestros días, lo cual genera grandes cantidades de datos e información que son necesarios tanto para mejorar la caracterización del acuífero como para mejorar la gestión y planificación del recurso hídrico subterráneo, teniendo en cuenta que el agua subterránea es altamente demandada en el Valle del Cauca por los diferentes sectores socioeconómicos del departamento.

El almacenamiento y disposición de la información ha venido evolucionando acorde a las capacidades con las cuales se ha contado y a las aplicaciones y/o herramientas que se van desarrollando con el transcurso del tiempo; se ha evolucionado de tener archivos en papel, hasta contar con el Sistema de Información Ambiental de la CVC, que mediante GeoCVC, almacena y permite visualizar la información temática ambiental, particularmente se desarrolló un módulo específico para la gestión de la información técnica proveniente de los puntos de agua subterránea en el departamento,

Posteriormente haciendo uso de esta gran cantidad de información y datos la CVC desarrolló el modelo numérico para el Acuífero Valle e integrando los datos recopilados se desarrolló un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en la plataforma FEWS, este usa los datos meteorológicos de las estaciones climatológicas, así como los datos de los bombeos de los pozos, lo que permite simular el posible impacto de un nuevo pozo en un punto definido, mostrando la respuesta en los niveles del agua, los flujos verticales y además analizar las interferencias con otros pozos.

En concordancia con la mejora de los diferentes desarrollos, la CVC ha implementado la Herramienta para el Manejo Integral del Agua – HERMANA, plataforma en la que se pueden visualizar y definir salidas gráficas provenientes de las bases de datos de los registros de las estaciones de monitoreo de la Corporación (climatológicas, hidrológicas, de aire, piezométricas, entre otras), software, modelos, plataformas de captura de datos, entre otros; en esta se pueden visualizar y relacionar diferentes tipos de información y mapas temáticos disponibles en CVC, y en la cual se puede incorporar también la información hidrogeológica e hidrogeoquímica disponible, todo ello facilita la toma de decisiones, definición de medidas, con el valor agregado que mediante tableros personalizados acorde a la necesidad se pueden realizar las consultas requeridas.

Palabras clave: herramientas, gestión, planificación, datos.



RESUMEN PONENCIA -D3-7

La Ciudad Universitaria de Bogotá, un laboratorio al aire libre para la hidrogeología dentro de una gestión ambiental sustentable.

Torres-Rojas, E.^{1*}, Orjuela-Salazar, M.¹, Ángel-Martínez, C.², y Cortés-Mora, H.¹

¹Oficina de Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

²Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

*edtorresro@unal.edu.co

La Ciudad Universitaria de Bogotá (CUB) acoge en sus 127 h diariamente a una población flotante de más de 35.000 personas y también cuenta con una importante biodiversidad en medio de una urbe densamente poblada. Bogotá cuenta con un suministro constante de agua superficial y para el grueso de su población las aguas subterráneas resultan ser un tema ajeno, a pesar de que la Secretaría Distrital de Ambiente reporta, en su jurisdicción, más de 500 captaciones de este recurso. La población de la CUB refleja la situación de la capital y del país respecto al desconocimiento de las aguas subterráneas, pero también reúne a profesionales de diversas disciplinas enfocados en el tema y concentra un acervo de información hidrogeológica e infraestructura que se usa en la construcción de conocimiento y de la formación, en un "laboratorio al aire libre".

La presente ponencia presenta los avances logrados por la Oficina de Gestión Ambiental (OGA) de la Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), en cuanto a la recopilación y levantamiento de información hidrogeológica en la CUB, así como del monitoreo de variables hidrogeológicas y la proyección que se tiene hacia el futuro, integrando la gestión administrativa con la función misional de la UNAL y su Política Ambiental. Partiendo de la información levantada desde 2014 por semilleros estudiantiles de las facultades de Ciencias e Ingeniería, la adquisición y uso de equipos especializados, la medición periódica de niveles piezométricos (NP), las campañas de muestreo fisicoquímico e isotópico, y el acompañamiento a prácticas de asignaturas de pregrado y posgrado, la OGA ha contribuido a consolidar un Sistema de Información Ambiental (SIA) integrado con el quehacer universitario.

Como resultado, el SIA cuenta con información de 25 puntos de aguas subterráneas que captan acuíferos y acuitardos, en depósitos cuaternarios y rocas cenozoicas, con profundidades entre 3 y 258 m. Allí se tienen 1575 registros de NP desde el 2014 hasta el presente. La información referida puede ser visualizada espacialmente a través de un geovisor y de forma gráfica a través de indicadores de piezometría, con los que se ha podido evidenciar, entre otros, la recuperación en los NP de la Formación Sabana. A partir de las labores de la OGA se han beneficiado 100 estudiantes de pregrado y 30 de posgrado en los últimos 2 años. Se presentan también los potenciales desarrollos futuros de este laboratorio abierto en el avance del respectivo conocimiento.

Palabras clave: agua subterránea, docencia, investigación.

RESUMEN PONENCIA -D3-8

Gestión de acuíferos en operaciones de explotación de hidrocarburos.

Escobar, J.^{1,*}, Naranjo, D.², Lopera, S.³, Quiroz, O.⁴, Ocampo, A.⁵, Zarate, G.^{6,**}

¹Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

²Institución, Ciudad, País

³Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

⁴Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

⁵Independiente, Bogotá, Colombia

⁶Agencia Nacional de Hidrocarburos, Bogotá, Colombia

[*john.escobar@udea.edu.co](mailto:john.escobar@udea.edu.co); [**german.zarate@anh.gov.co](mailto:german.zarate@anh.gov.co)

La exploración y producción de hidrocarburos exige involucra, per se, la gestión de acuíferos ya sea porque estos son interceptados durante las operaciones de exploración y desarrollo de facilidades de producción o porque estos sistemas son usados como repositorios para la disposición final de aguas connatas o industriales o como fuente para procesos de recobro mejorado.

A pesar de los grandes avances tecnológicos y metodológicos en la gestión de estos acuíferos, su uso no ha estado exento de riesgos y mucho menos de debates y oposición; por esto, los autores de esta ponencia buscamos informar acerca del estado del arte en estas operaciones, los riesgos y medidas preventivas y remediales que son de uso habitual en la industria. Así mismo, se plantearán algunas propuestas con respecto a los estudios y pruebas que son recomendables antes de que se acometan estos proyectos y las que deben desarrollarse durante la operación para minimizar el riesgo de contaminación de acuíferos de uso humano, sismicidad inducida o flujo a superficie de contaminantes indeseados.

Palabras clave: *disposal, inyección, acuíferos profundos, protección de acuíferos.*

RESUMEN PONENCIA -D3-9

Potencial hidrogeológico, Bosque seco Tropical y Acuíferos.

*Betancur, T. 1, *, Rivera, D. 2, Gallego, A. 3, Ossa, J. 4, Martínez, C. 5, Mejía, O. 6 1 2 3 4
5 Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

[*teresita.betancur@udea.edu.co](mailto:teresita.betancur@udea.edu.co)

Las aguas subterráneas son las aguas naturales que se encuentran por debajo del suelo, del lecho de los ríos, del fondo del mar; ellas brotan de manera natural en los manantiales, también se tiene acceso a ellas a través de obras hechas por el hombre, como aljibes, pozos, galerías, zanjas, entre otras.

En su recorrido desde las zonas de recarga, durante el tránsito y hasta su descarga el agua subterránea interactúa, no solo con la oca que le sirve de almacén sino con un escenario natural que incluye el suelo y la biosfera. Las funciones ecosistémicas de este bien son un universo por explorar y descubrir; ya sabemos de la presencia de estigifauna en el mundo del subsuelo, se conoce la interacción -en términos de flujo de agua- que en doble sentido se da entre el suelo y las formaciones geológicas que contienen agua, interacciones que -sin lugar a duda- tienen incidencia (funciones) sobre la sostenibilidad de ecosistemas terrestres.

En esta vía de pensamientos se formuló, entre CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia, la idea de indagar por la relación que existe entre las aguas subterráneas y el Bosque seco Tropical -ecosistema altamente vulnerable- a lo largo de toda una cuenca, y luego al sur de ella, en un territorio densamente poblado, donde la población aprovecha (servicio) las aguas subterráneas para satisfacer necesidades vitales.

Un acuífero es una unidad hidrogeológica que contiene y deja fluir agua, en unas condiciones de calidad y cantidad que pueden ser -económicamente- utilizadas por el hombre. Esta definición clásica no da cuenta de factores claves como la necesidad y la importancia de un bien en un contexto geográfico. El potencial suele referir, en el imaginario, la idea de promesa o esperanza: la posibilidad de llegar a ser; y luego de lograrlo se traduce en la oportunidad para alcanzar una mayor capacidad o poder. Puede entonces entenderse el potencial hidrogeológico como la capacidad de las rocas del subsuelo para recibir, almacenar y transmitir agua de manera natural o inducida; para satisfacer necesidades ecosistémicas y exclusivamente humanas; en su funcionalidad y servicio radica la importancia.

Palabras clave: *Importancia del agua subterránea, Necesidad del agua subterránea.
Potencial hidrogeológico*



RESUMEN PÓSTER 1

Análisis de la composición isotópica del agua lluvia y su respuesta en el sistema kárstico del sector del Manantial de Cañaverales, La Guajira, Colombia.

Daza, Romario.^{1, *}, Gómez, Sully.¹

¹Grupo de Investigación en Recursos Hídricos GPH, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

*romario_1094@hotmail.com

En las estribaciones de la Serranía De Perijá, en Colombia, el agua subterránea aflora formando diez manantiales ubicados en la formación kárstica Cogollo, entre los que se destacan dos manantiales que forman una corriente con un caudal promedio anual de 280L/s. La zona de estudio se encuentra en la cuenca del río Cañaverales, con una diferencia de altitud entre 250 y 1800 msnm, en ella se distinguen tres partes: la parte más baja (250 - 600 msnm) está formada por rocas calizas de edad cretácico inferior y calizas del cretácico superior correspondientes al área de emergencia de los manantiales; la parte media (600- 800 msnm) está formada por rocas máficas y arcósicas de edad jurásica, estas rocas subyacen a las rocas calizas, por lo tanto forman el basamento; La parte superior (800 - 1800 msnm) está formada por filitas y metarenitas de edad cámbrico-ordovícico y lodolitas de edad devónico. La formación Cogollo presenta porosidad secundaria por fracturas y evidentes signos de carstificación. Además, esta zona se caracteriza por una geología estructural compleja con presencia de diferentes fallas y pliegues.

El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento isotópico de la lluvia en diferentes elevaciones de La Serranía De Perijá y su relación con el comportamiento del flujo de agua en los manantiales de la Formación Cogollo durante un año hidrológico. Los contenidos isotópicos de la lluvia son influenciados por efectos de estacionalidad y cantidad, con valores más enriquecidos en la época seca y valores empobrecidos en la época de lluvias, sin embargo, en el agua de los manantiales se observa un comportamiento estable con poca variación, esto evidencia una mezcla entre el agua de recarga y la almacenada en la roca. El efecto de altitud es observado para el ^{18}O con un gradiente de empobrecimiento de

-0.19‰ / 100 m, donde los puntos de agua subterránea se ubican debajo de la línea de empobrecimiento, permitiendo observar dos comportamientos en la altura de recarga del agua: el primero muestra un grupo de manantiales con alturas de recarga entre 425 y 602 msnm, generada por la infiltración de la precipitación sobre la parte media y la parte baja de La Serranía De Perijá, mayormente influenciada por la parte baja; el segundo comportamiento muestra otro grupo de manantiales con alturas de recarga entre 700 y 1000 msnm, influenciada principalmente por la infiltración de la precipitación sobre la parte alta de la montaña.

Palabras clave: isótopos estables del agua, flujo de agua subterránea, recarga, manantiales, formación kárstica

RESUMEN PÓSTER 2

Avances de una propuesta para integración de sensores remotos, técnicas SIG y análisis isotópicos aplicados a la identificación de zonas con potencial de recarga en un sector del sistema acuífero Ubaté-Chiquinquirá, Colombia.

Pérez, Silvia.^{1 *}, Ángel, Carlos.², Porras, Andrés.³

^{1,2,3}Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

*smperezc@unal.edu.co

La identificación y análisis de las zonas potenciales de recarga del sistema acuífero Ubaté-Chiquinquirá son clave para hacer una gestión adecuada del recurso hídrico, tal que en el largo plazo se mantenga su aprovechamiento y otros servicios ecosistémicos, actualmente amenazados por la alta tasa de extracción, debido al aumento de la demanda del recurso, como alternativa al abastecimiento de agua a través de fuentes superficiales. Para ello, en el marco de la Maestría en Ciencias- Geología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, se adelanta una propuesta en un sector de interés del sistema acuífero Ubaté-Chiquinquirá, comprendido entre el límite norte de Chiquinquirá- Saboya, Pauna, Simijaca, Susa y Laguna de Fúquene, aproximadamente 617 km², que coincide con la cuenca alta del Río Suárez.

Se integra el uso de imágenes satelitales obtenidas por sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas para delimitar las zonas con mayor potencial de recarga a través de la sobreposición y valoración de los factores que favorecen la infiltración de agua, que puede o no alcanzar el nivel freático, teniendo como insumos la cobertura y uso del suelo, pendiente, densidad de drenajes, lineamientos estructurales y geomorfología como determinantes en la recarga del acuífero, cuando se da de manera directa por precipitación.

Una vez analizada esta información y definidas dichas zonas mediante el análisis multicriterio, se validan a través del uso de la geoquímica aplicada, por medio del análisis de isótopos estables, oxígeno (¹⁸O) y deuterio (²H), obtenidos de muestras de agua lluvia, superficial y subterránea, que se han venido colectado y analizando desde junio de 2022, para un total de 26 muestras, por medio de totalizadores artesanales instalados a diferentes cotas, y muestreos en lagunas, ríos, manantiales, aljibes y pozos distribuidos en la zona de estudio.

Actualmente, se ha identificado la efectividad de los totalizadores construidos dando como resultado que la recarga está estrechamente relacionada al comportamiento altitudinal, así como la relación directa de la pendiente, la cobertura del suelo y geología estructural principalmente. Se proyecta que esta integración metodológica, permita retroalimentar la metodología de identificación de zonas de recarga adelantada por parte del IDEAM. Igualmente, a la CAR y CORPOBOYACÁ como entidades responsables de este recurso en el sector de estudio. Finalmente se espera contribuir a la conservación de las zonas de recarga a partir del conocimiento hidrogeológico y hacia una gestión integral sostenible del recurso hídrico.

Palabras clave: Análisis multicriterio, deuterio, hidrogeología, isótopos estables, oxígeno.



RESUMEN PÓSTER 3

El rol de la hidrogeología en la evaluación de sitios contaminados.

Sanchez, A.^{1, *}, Villalobos, M.¹, y Romero, A.¹

¹Novambientti Soluciones Ambientales, Bogotá D.C, Colombia

*afsanchez@novambientti.com

Los sitios contaminados son aquellos en los cuales, las características químicas del suelo y el agua subterránea han sido alteradas debido al uso de sustancias químicas en actividades antrópicas, en consecuencia, el aumento de las concentraciones de estas sustancias representa un riesgo para el ambiente y la salud humana. La evaluación de sitios contaminados integra diferentes disciplinas para comprender el comportamiento de las sustancias de interés de investigación desde el momento en que ingresan en el subsuelo, como interaccionan y como se distribuyen en las diferentes capas y en el agua subterránea dentro de los sitios de interés. La complejidad de esta evaluación depende en gran medida de las propiedades físicas (textura, porosidad, pH, etc.), hidráulicas (e.g. permeabilidad, transmisividad) y la dirección del flujo del agua subterránea en el acuífero de interés.

Para que sea posible esta evaluación y la identificación de sitios contaminados en un área de estudio, es fundamental contar con una caracterización hidrogeológica del sitio que, al ser integrado con la medición de las concentraciones de los contaminantes en suelo y agua subterránea, permite evaluar y entender las posibles fuentes primarias y secundarias de contaminación, las vías preferenciales de migración, su velocidad de movimiento y la determinación de la distribución de la contaminación en el subsuelo de los diferentes sitios de estudio. Es a raíz de esto que, el conocimiento hidrogeológico del subsuelo se considera un insumo esencial en los estudios de evaluación y caracterización de sitios potencialmente contaminados (Fase II), en los análisis de riesgos para la salud, en las modelaciones de flujo y transporte de contaminantes y en los planes de remediación.

De este modo, la hidrogeología de sitios contaminados consiste en entender el medio físico y su interacción con las sustancias químicas en los diversos sitios de estudio, proporcionando información técnica que soporte la toma de decisiones sobre los pasos a seguir, pasos que pueden involucrar desde la culminación de las investigaciones (el predio presenta afectación), hasta etapas futuras que impliquen la necesidad de investigación adicional y el planteamiento de estrategias de remediación in situ que permitan mitigar, reducir, transformar y/o eliminar las sustancias que se encuentran en el subsuelo. Esto con el fin, de cumplir con estándares y normativas nacionales y/o internacionales que permitan mejorar la calidad del suelo y proteger el recurso hídrico subterráneo conforme a los usos actuales o previstos de cada sitio.

Palabras clave: contaminación, hidrogeología ambiental, evaluación ambiental, sitios contaminados.

RESUMEN PÓSTER 4

Estado Ambiental de los Acuíferos con influencia en el Perímetro Urbano del Distrito Capital-año 2022.

Leal, Jesus.¹ y Campos, Yamileth.²

¹Secretaria Distrital de Ambiente, Bogotá, Colombia

*jesus_leal14@hotmail.com

La Secretaria Distrital de Ambiente-SDA monitorea el recurso hídrico subterráneo del Distrito Capital a través de la red de monitoreo conformada por 27 dispositivos de transmisión electrónica que registran en tiempo real el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica. Es así como, se determina que el comportamiento de las unidades hidrogeológicas monitoreadas (principalmente el acuífero Formación Sabana) se ve interrumpido localmente por la explotación de agua subterránea en ciertas zonas del Distrito Capital, demostrando que entre las localidades de Teusaquillo, Kennedy y Puente Aranda existe una alta conectividad. Esta interconexión se ve reflejada en los tiempos de tránsito calculados que van de aproximadamente 40 a 50 días.

Así mismo como resultado del análisis de las variables recopiladas por la red de monitoreo, se calcula la recarga anual de las unidades hidrogeológicas monitoreadas, la cual va de 0.0 mm/año a 0.04 mm/año para el acuífero Formación Tilatá, de 0.0 mm/año a 10.32 mm/año para Grupo Guadalupe y de 0.04 mm/año a 0.23 mm/año para el acuífero Formación Sabana.

En síntesis, el monitoreo continuo de los niveles del agua subterránea permite establecer una línea base sobre las condiciones actuales de las unidades hidrogeológicas que son aprovechadas en el Distrito Capital, permitiendo de esta manera, generar herramientas enfocadas al estudio, gestión y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo.

Palabras clave: Red de monitoreo, recarga lateral, recarga vertical, consumo, brigadas de niveles.

RESUMEN PÓSTER 5

Hacia un modelo de correlación para la estimación de la recarga hidrogeológica en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur – Orinoquía colombiana.

Alfonso, N.^{1,*}, Ángel, C.²

¹Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia

² Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia

[*ncalfonsoh@unal.edu.co](mailto:ncalfonsoh@unal.edu.co)

A pesar de su importancia, la evaluación del caudal de agua que alcanza la zona saturada de los grandes sistemas acuíferos de Colombia no ha sido bien definida o maneja aun grandes rangos de incertidumbre, esto debido a que los procesos y variables que definen la recarga hidrogeológica son complejos y en países como el nuestro carecen de sistemas de monitoreo, haciéndose necesario su inferencia mediante ecuaciones de balance hídrico o simulaciones numéricas. Actualmente se implementan a escala regional balances hídricos de suelos, que permiten estimar los valores de recarga como un excedente al despejar dicha incógnita en la respectiva ecuación, sin embargo, esta aproximación viene cargada de incertidumbre ya que se trasladan las condiciones edafológicas e hidrológicas desde zonas con condiciones físicas diferentes a las propias del contexto colombiano.

El objetivo de este estudio es generar un modelo de análisis que integre diferentes métodos de evaluación para la recarga en una cuenca hidrográfica en la Orinoquía colombiana. Esto partiendo de la hipótesis de que la combinación de métodos de estimación de recarga permitirá reducir la incertidumbre en las variables derivadas del análisis.

Este trabajo incluye el análisis comparativo y complementario de métodos como el balance hídrico de suelos, el módulo de infiltración profunda del Modelo Hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) y el uso de información de sensores remotos de monitoreo de variables dentro del ciclo del agua. Esto a partir de la búsqueda, análisis y generación de información necesaria para el desarrollo del proyecto (información física, climática e hidrológica); seguido por el procesamiento y calibración de cada método evaluado, para finalmente generar el modelo de correlación espacial y temporal.

Como resultado inicial se observa un buen ajuste entre las variables obtenidas del procesamiento de sensores remotos y los datos de medición de estaciones climáticas e hidrológicas, sin embargo, en varios casos los modelos satelitales sobreestiman valores de precipitación y escorrentía haciendo necesario generar funciones de ajuste. Así mismo y a pesar de que métodos como el balance hídrico de suelos y el modelo hidrológico SWAT, contemplan elementos equivalentes de entrada en su procesamiento, se observan importantes diferencias en las variables derivadas asociadas a la infiltración y recarga hidrogeológica. Finalmente, gracias a la correlación de diferentes métodos de análisis y su adecuada calibración se logra generar funciones de corrección que disminuyen la incertidumbre en la estimación de la recarga y oferta del recurso hídrico subterráneo.

Palabras clave: Balance hídrico de suelos, modelo hidrológico, infiltración, oferta hídrica.

RESUMEN PÓSTER 6

Importancia del uso de las concentraciones de fondo para la evaluación del impacto antrópico sobre el suelo y agua subterránea. Caso: Metales.

Romero-Guzmán, M.^{1, *} y Villalobos, M.J.¹

¹Novambientti Soluciones Ambientales, Bogotá, Colombia.

*aromero@novambientti.com

Los estudios que investigan las concentraciones típicas de cualquier sustancia en las diferentes matrices medioambientales son las investigaciones de niveles de fondo las cuales tienen como fin principal la determinación de un rango de concentraciones, de cualquier sustancia, que caractericen a un área de estudio específica.

Los metales tienen como particularidad que su presencia típica en el suelo y recurso hídrico está ligada a un origen natural, e.g. procesos de erosión de rocas volcánicas, y a procesos antrópicos caracterizados por la emanación constante y difusa de vapores con metales hacia la atmósfera a través de diversidad de fuentes (estáticas o móviles), derivando en la dispersión de metales a escalas regionales, seguido de su precipitación al suelo y agua.

El conocimiento de las concentraciones de fondo de metales de un sector de estudio es un insumo robusto para la identificación de los impactos negativos que ha sufrido el subsuelo, ya que al ser una referencia acorde a las condiciones que caracterizan dicha área, permite evaluar de manera más acertada si los procesos antrópicos históricos ejecutados dentro de ella han generado o no cambios en sus concentraciones típicas y determinar un nivel de impacto. En el caso de Colombia, los niveles de fondo pueden ser un insumo de relativa importancia para la identificación de zonas contaminadas por metales ya que los valores de referencia utilizados con frecuencia para este fin son muy conservadores para regiones como es la de los Andes, región caracterizada por la riqueza de metales en el subsuelo dado su origen volcánico y en la cual se concentra la población de la nación y el desarrollo industrial.

Novambientti ha rescatado estrategias para la obtención de niveles de fondo de investigaciones desarrolladas en el mundo las cuales han sido relevantes en la evaluación de la presencia de metales en ciudades principales de Colombia, estrategias que incluyen: Análisis de información histórica, definición de objetivos de calidad de los datos, adquisición de muestras del subsuelo dentro y fuera de las zonas con actividades antrópicas locales, clasificación de muestras en grupos comparables, tratamiento estadístico de los datos, cálculo de niveles de fondo en términos de BTV (*Background Threshold Value*), y estimación de los niveles de impacto. Los resultados obtenidos no solo han mejorado la calidad de las evaluaciones ambientales sino también han hecho más robusto el conocimiento del subsuelo del país y la comprensión de su dinámica medioambiental.

Palabras clave: Niveles de fondo, metales, niveles de impacto y contaminación.

RESUMEN PÓSTER 7

Modelo espacial para la determinación de zonas potenciales de afloramientos de agua natural, caso de estudio en el municipio de Jericó – Antioquia.

Quintero, I.

Universidad San Buenaventura, Medellín, Colombia

*isaurageopa@gmail.com

Los afloramientos de agua son sitios de protección especial de la legislación colombiana, que aportan a las fuentes hídricas superficiales, y son fuente de abastecimiento humano en algunas zonas del país.

En este ejercicio exploratorio se proponen los modelos estadísticos Pesos de Evidencia (WoE), Razón de Frecuencia (RF) y Regresión Logística (RL) para la integración de variables espaciales explicativas y delimitar zonas con potencial de afloramiento de agua natural, mediante su identificación y análisis de importancia, y se construyen mapas con la delimitación de posibles zonas con presencia de afloramientos de agua en el municipio de Jericó en el suroeste Antioqueño.

Para lograrlo, se utilizó el inventario de afloramientos de agua realizado por el proyecto Minero Quebradona, y diferentes variables explicativas como: geología, geomorfología, cobertura vegetal, estructuras geológicas, formas del terreno, curvaturas, pendientes, aspectos, índice topográfico de humedad y acumulación de flujo.

La capacidad de predicción se evaluó mediante las curvas características del funcionamiento del receptor (ROC), área bajo la curva (AUC) y matriz confusión. Las áreas bajo la curva para Pesos de Evidencia (WoE), Razón de Frecuencia (RF) y Regresión Logística (RL) fueron calculadas como 0.854, 0.884 y 0.887 en la predicción. Por lo tanto, se concluyó que la Regresión Logística (RL) tuvo los mejores resultados, aunque algunas variables explicativas obtuvieron baja significancia estadística. Sin embargo, la incorporación de modelos estadísticos cuantitativos optimiza la estrategia de búsqueda de afloramientos de agua en campo, y contribuyen a la buena gestión del recurso hídrico.

Palabras clave: manantiales, pesos de evidencia, razón de frecuencia, regresión logística, GIS.

RESUMEN PÓSTER 8

Una comparación entre dos métodos de inversión geofísica para datos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM): aplicaciones en hidrogeología.

Abril Benjumea, J.^{1,*}, Leal Sierra, J.²

¹Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bucaramanga, Colombia

²Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Anla), Bogotá, Colombia

*jlab66@gmail.com

Los métodos de inversión en geofísica se clasifican principalmente en dos grupos: los métodos de búsqueda tipo gradiente y los métodos estocásticos o de optimización global, ambos ofreciendo ventajas y desventajas en su uso. Los primeros dependen de un buen modelo inicial para la obtención de buenas respuestas geofísicas, siendo métodos que envuelven el uso de cálculos complejos de derivadas para su inversión, pero su convergencia es rápida. Por otro lado, los métodos estocásticos no dependen de buenos modelos iniciales para la obtención buenos modelos, no obstante, estos métodos convergen a mínimos globales falsos y necesitan un elevado número de evaluaciones de su función objetivo para obtener buenas respuestas. En esta investigación, se hace un estudio comparativo entre dos tipos de algoritmos de inversión, uno de ellos basado en búsqueda de gradiente (Gauss Newton con modificación de Marquardt) y un método estocástico tradicional de enjambre de partículas, según sus siglas en inglés Particle Swarm Optimization (PSO), simulando un área de interés hidrogeológico en la cuenca de Paraná, región de Bebedouro en São Paulo, Brasil. El modelo probado corresponde a un modelo sintético de la literatura, en el cual se distinguen 4 capas geológicas relacionadas a seguir: una capa superior de suelo y sedimentos que no contiene agua, con resistividad de 200 Ohm.m y espesura de 8 m, debajo de la capa de suelo se encuentra una zona saturada con resistividades de 25 Ohm.m y espesura de 55 m. Infrayaciendo esta unidades geológicas, aparece una espesa capa de basaltos fracturados de la Formación Serra Geral con resistividades de 800 Ohm.m y espesuras de 500 m. Finalmente, debajo de esta secuencia de rocas volcánicas aparece una capa sedimentaria (30 Ohm.m) que corresponde a areniscas de la Formación Botucatu (acuífero Guaraní). El método de búsqueda local o gradiente, presentó una convergencia relativamente rápida (15 iteraciones) y errores mínimos absolutos del orden de $1e-2$. Así mismo, el modelo invertido no consiguió representar significativamente la capa de basalto. Por otra parte, el algoritmo (PSO) obtuvo errores mínimos absolutos de $1e-3$ y consiguió mapear en buena medida casi todas las capas del modelo hidrogeológico propuesto. Finalmente, es posible inferir que los dos métodos de inversión se constituyen en excelentes herramientas para obtener respuestas del suelo, pero indudablemente, los métodos de optimización global ofrecen mayor flexibilidad y facilidad en la interpretación de los datos geofísicos, con relación a los métodos tradicionales de gradiente.

Palabras clave: *Métodos de inversión local, Acuífero Guaraní, PSO, TDEM, métodos de optimización Global.*



RESUMEN PÓSTER 9

Reclasificación de las actividades potencialmente contaminantes para el seguimiento y prevención a la contaminación del acuífero del Valle del Cauca.

Escobar, S^{1, *}, Rengifo, R.², Céspedes, G. y Gutiérrez, M.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Santiago de Cali, Colombia sandra-teresa.escobar@cvc.gov.co

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, dentro de sus elementos base para la toma de decisión y gestión del recurso hídrico subterráneo, cuenta con una red de pozos de monitoreo conformada actualmente por alrededor de 700 puntos, que son localizados en sitios donde se han identificado fuentes potenciales de contaminación del acuífero. Esta red de monitoreo parte de la formulación del Plan de Manejo del Acuífero elaborado en el año 2000, como una actividad para el *“Conocimiento de todo el sistema acuífero y los impactos potenciales o reales, generados por actividades peligrosas”*, que posteriormente fue incluida en las obligaciones establecidas en el Acuerdo CVC 042 del año 2010, por el cual se reglamentan las aguas subterráneas en el Valle del Cauca.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el monitoreo y mejorar el tipo de análisis e interpretación de los mismos, la CVC ha realizado la reclasificación de actividades consideradas contaminantes del acuífero, basada en bibliografía nacional e internacional incluyendo el documento sobre Principios de Monitoreo de Aguas del IDEAM, y los documentos sobre la Protección de La Calidad del agua subterránea y los Requerimientos del Monitoreo de Aguas Subterráneas, del Banco Mundial

Las recomendaciones de estas entidades fueron contrastadas con la información recopilada en los talleres de identificación de amenazas realizados con los usuarios del recurso hídrico subterráneo en el Valle del Cauca, realizados en 2019, en el marco de la actualización de la línea base de este recurso.

De acuerdo con las recomendaciones de las guías consultadas y las amenazas identificadas por los usuarios del recurso hídrico, se presentan la nueva categorización que comprende: 1) Estaciones de Servicio, 2) Lagunas aguas residuales - Industriales (Papeleras), 3) Lagunas aguas residuales – Agroindustrial (Ingenios), 4) Lagunas aguas residuales – Domésticas Municipales, 5) Residuos Sólidos Industriales, 5) Residuos Sólidos Municipales, 6) Sistemas de Tratamiento STAR – Industrias Varias, 6) Sector Industrial – Yumbo (Acopi), 7) Proyectos Pesticidas, 8) Proyectos Vinazas. Estas tres últimas corresponden a redes específicas provenientes de proyectos o sectores priorizados que se mantienen dentro de los procesos de monitoreo establecidos por la corporación.

Finalmente existen actividades identificadas como parte de este proceso, que aún no se encuentran en monitoreo: Filtraciones en canales de aguas residuales, Cementerios, Saneamiento in situ (zonas con alta densidad de letrinas), Minas de carbón y metales, Desarrollo urbano; de las cuales se definirán lineamientos para su incorporación a la red de monitoreo actual.

Palabras claves: red de monitoreo, contaminación, pozos de monitoreo, calidad del agua.

RESUMEN PÓSTER 10

Estudio preliminar de la composición isotópica mensual del agua lluvia y su respuesta en el sistema acuífero del Miembro Superior de la Formación Los Santos, Sector Mesa de Los Santos (Santander, Colombia).

Cetina, M.^{1*}, Gómez-Isidro, S.¹, Taupin, J-D², Velandia, F.¹

¹Grupo de Investigación en Recursos Hídricos GPH, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

²Hydrosiences Montpellier, Univ. Montpellier, IRD, CNRS, France

[*maria.cetina@correo.uis.edu.co](mailto:maria.cetina@correo.uis.edu.co)

La Mesa de los Santos se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de Colombia. Este sector presenta escasez de agua superficial potable, donde el agua subterránea constituye una fuente importante de abastecimiento. Como aporte al conocimiento hidrogeológico de la zona de estudio, se presentan resultados preliminares del estudio de la composición isotópica del agua lluvia y su respuesta en los flujos de agua subterránea que circulan en rocas fracturadas del Miembro Superior de la Formación Los Santos. En el área se instalaron 4 estaciones recolectoras de agua lluvia distribuidas norte al sur, donde se recuperaron muestras compuestas al paso mensual durante 12 meses, año 2021 (n=46), para análisis de isótopos estables (oxígeno-18 y deuterio). Así mismo, se realizó un muestreo de agua subterránea en los meses febrero, abril, junio, agosto y octubre 2021 (n=140), en aljibes, pozos y manantiales. Las estaciones de agua lluvia registraron valores de precipitación de 1382 mm (estación norte) a 943 mm (estación sur) y el comportamiento estacional de los isótopos estables es similar en las cuatro estaciones. La Recta Meteorológica Local preliminar es $\delta^2\text{H} = 8.23 \times \delta^{18}\text{O} + 13.5$, ubicada ligeramente por encima de la Recta Meteorológica Global con una interceptación de +13.5‰, indicando posiblemente fuentes de vapor de agua con procesos de reciclaje continental. Los valores promedios anual de oxígeno-18, ponderados con la lluvia, muestran un empobrecimiento en la estación sur ($\delta^{18}\text{O} = -8.49\text{‰}$) con respecto a la estación norte ($\delta^{18}\text{O} = -7.73\text{‰}$). Se diferenciaron tres comportamientos en el valor de oxígeno-18 de las aguas subterráneas. 10 puntos de agua subterránea presentan alta variabilidad temporal (con diferencias superiores a 1‰ en $\delta^{18}\text{O}$ de -9.64 a -5.19‰) consistente con el comportamiento estacional de la lluvia, indicando flujos con tránsito rápido a escala mensual. 21 puntos de agua subterránea mostraron una baja variabilidad temporal (diferencias menores al 1‰ en $\delta^{18}\text{O}$), presentando una distribución espacial de $\delta^{18}\text{O}$ con valores enriquecidos hacia el norte (entre -6.90 y -6.00‰) y empobrecidos hacia el sur (-8.97 a -8.20 ‰), que tiende a ser también consistente con la distribución de isótopos del agua de lluvia. La estabilidad de los valores isotópicos del agua subterránea durante todo el año es una señal de una mezcla eficiente de las aguas subterráneas y un tránsito superior al año. Finalmente, 4 puntos de agua subterránea presentaron signos de evaporación, mostrando valores de exceso de deuterio entre -6,4 y +4,3‰, en relación con cuerpos de agua superficiales que sufren evaporación antes del proceso de infiltración.

Palabras clave: Isótopos estables, agua subterránea, acuíferos fracturados.

RESUMEN PÓSTER 11

DAGpy: un paquete de Python para la asimilación de datos en la modelación hidrogeológica.

Álvarez-Villa O.D. ^{1*}, Gómez-Vélez J.D. ², Brown K. ^{3,4}, Kosson D. ^{3,4}

¹ Emergente Energía Sostenible, Medellín, Colombia

² Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, Estados Unidos de América

³ Consortium for Risk Evaluation with Stakeholder Participation (CRESP)

⁴ Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, Estados Unidos de América

*odalvare@gmail.com

El filtro de Kalman de conjuntos (Ensemble Kalman Filter, EnKF) ha sido una técnica revolucionaria con importantes aplicaciones para la asimilación de datos y la reducción de la incertidumbre predictiva en sistemas dinámicos que operan en tiempo real. En el área de la hidrología subterránea, los esfuerzos más recientes de investigación se han centrado en verificar su uso para abordar problemas complejos de estimación de parámetros, con un enfoque en sistemas sintéticos y que buscan resaltar el potencial de la técnica. Sin embargo, la mayoría de las implementaciones reportadas en la literatura no están disponibles gratuitamente ni son accesibles para la comunidad, lo que limita el amplio uso de esta poderosa herramienta. Dado lo anterior, desarrollamos un paquete de código abierto para la asimilación de datos en la modelación de las aguas subterráneas: DAGpy. Este paquete presenta una implementación robusta del EnKF para la estimación de campos de permeabilidad y porosidad en aplicaciones tanto sintéticas como reales mediante la asimilación de las observaciones de niveles piezométricos y concentraciones. DAGpy (i) soporta diferentes versiones del EnKF, (ii) es modular y está orientado a objetos, (iii) se puede ejecutar en serie y en paralelo para los pasos de pronóstico y actualización, (iv) representa diferentes procesos de flujo y transporte del subsuelo implementados en MODFLOW y MT3D a través de Flopy, (v) admite formatos de datos de E/S estándar y (vi) proporciona diferentes herramientas de post procesamiento para el análisis y la visualización de resultados. Ilustramos el potencial de DAGpy con tres casos de estudio. Primero, asimilamos los resultados de una prueba de bombeo en un acuífero confinado en 3D. En segundo lugar, presentamos un análisis de una prueba de trazador en un acuífero aluvial bimodal. Y finalmente, usamos DAGpy para reconstruir campos de porosidad y conductividad hidráulica altamente heterogéneos mediante la asimilación de las observaciones de niveles piezométricos y concentraciones.

Palabras claves: Asimilación de datos, Filtro de Kalman de Conjuntos, Flujo subterráneo y transporte de contaminantes, Modelación inversa.

RESUMEN PÓSTER 12

Aporte al conocimiento hidrogeológico del acuífero Teatinos, Provincia de Márquez, Boyacá.

Moreno-Medina, C.^{1,*}, Torres-Rojas, E.¹, y Monroy-Ramos, D.¹

¹Corporación Autónoma Regional de Chivor, Garagoa, Colombia

[*carlosandresmm@gmail.com](mailto:carlosandresmm@gmail.com)

El agua subterránea es parte esencial de la vida de las comunidades de las provincias boyacenses de Márquez y Centro, al sur de Tunja. No obstante, no existe una herramienta actualizada para la gestión futura de este recurso. Por tal motivo, la Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR) priorizó la formulación del Plan de Manejo Ambiental del denominado Acuífero Teatinos, que incluye la formulación de un modelo hidrogeológico conceptual a partir de la recopilación, adquisición y análisis de información hidrogeológica. El área de estudio abarca 850 km² en jurisdicción de los municipios de Ciénega, Viracachá, Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Ventaquemada, Turmequé, Úmbita, Tibaná y Chinavita.

Se integró información geológica e hidrogeológica secundaria y proveniente de CORPOCHIVOR, y se realizó cartografía geológica detallada, el cálculo del balance hídrico con modelo numérico, la adquisición e interpretación de 50 sondeos eléctricos verticales, la reinterpretación de pruebas de bombeo, el inventario de puntos de aguas subterráneas y la toma de 20 muestras para análisis fisicoquímicos. Finalmente, la información fue analizada en conjunto para la definición de las unidades hidroestratigráficas e hidrogeológicas, los sistemas de flujo y las zonas de recarga, tránsito y descarga.

Como resultado se identificó una sucesión sedimentaria que incluye rocas cretácicas a neógenas, replegadas y afectadas por fallas inversas que configuran bloques, con un menor desarrollo de depósitos cuaternarios. El principal acuífero es la Formación Labor y Tierna, de extensión regional y discontinua, aflora predominantemente hacia el centro del área de estudio y está compuesta por areniscas. Con desarrollo de porosidad secundaria por fracturamiento este acuífero es generalmente confinado a semiconfinado, con transmisividades y productividades máximas de 57 m²/d y 0.651 L/s/m, respectivamente. Es captada en el norte a través de 9 pozos con caudales de hasta 14.5 L/s y en el resto del área por 72 manantiales con caudales máximos de 8.2 L/s que abastecen acueductos urbanos y rurales. Adicionalmente las formaciones Une, Arenisca Dura, Plaeners, Cacho, Picacho, Areniscas de Socha, Tilatá y depósitos cuaternarios son aprovechados naturalmente por las comunidades a través de 127 manantiales inventariados y son acuíferos con posibilidad de desarrollo futuro. El flujo del agua subterránea sigue el gradiente topográfico y se da a través de múltiples sistemas locales, recargándose en los páramos de Rabanal y Mamapacha y descargado en los 415 manantiales inventariados. Finalmente, en todas las unidades predominan las aguas subterráneas con periodos cortos de residencia (conductividad eléctrica baja) y facies bicarbonatadas.

Palabras clave: Modelo hidrogeológico conceptual, Formación Labor y Tierna, gestión del agua subterránea

RESUMEN PÓSTER 13

Desarrollo metodológico para evaluar la potencialidad de zonas de recarga de acuíferos aluviales. Caso de estudio: zona sur del acuífero en el departamento del Valle del Cauca, Colombia.

Rengifo, R.^{1,2}, Jaramillo, MF.^{2,*}, Urrea, V.², Ramos AM.²

¹Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Cali, Colombia

²Instituto Cinara, Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, Cali, Colombia

[*maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co](mailto:maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co)

En esta investigación se desarrolló una metodología para evaluar el potencial de recarga al sistema acuífero, que puede presentar un área geográfica determinada. La metodología desarrollada se fundamentó en el concepto de operacionalización y categorización de variables, mediante el diseño de un índice aditivo. Así, fue desarrollado el Índice de Zonas Potenciales de Recarga (ZPR) a partir de la formulación de cinco criterios de caracterización de potencialidad. La elaboración del índice inició con el desarrollo del modelo conceptual del sistema físico acotado a acuíferos intermontanos de origen aluvial. Los criterios que conformaron el Índice ZPR correspondieron a factores intrínsecos del sistema acuífero y fueron seleccionados con base en revisión de literatura a nivel mundial y conocimiento experto (local e internacional). Los criterios seleccionados para el índice correspondieron a la profundidad del techo del acuífero, litología de la Zona No Saturada y Saturada, grado de confinamiento hidráulico y potencial de infiltración del suelo, siendo este último estimado a través del concepto de "Grupo Hidrológico". Diseñado el Índice ZPR se propuso una categorización de las zonas potenciales de recarga en cuatro categorías: *Baja*, *Moderada*, *Alta* y *Muy Alta*. El índice ZPR fue validado en el área hidrogeológica, de edad cuaternaria, aferrante a los ríos Desbaratado; Fraile; Bolo; Amaime; El Cerrito y Sabaletas, en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, con una extensión de 1.292 km²; asentadas las ciudades intermedias de Palmira; Candelaria; Pradera; Florida y El Cerrito (700.000 hab. aproximadamente al año 2020) y donde se desarrolla gran parte de la agroindustria de la región. Los resultados obtenidos en el caso de estudio permitieron categorizar el territorio, respecto a la potencialidad de recarga en la siguiente proporción: un 15% en Muy Alta potencialidad, seguido de un 31% en Alta, un 51% en Moderada y un 3% en Baja. Las zonas con Muy Alto potencial se localizan en la parte alta de los conos aluviales, debido a la existencia de acuíferos libres con litología predominante de arenas y gravas y al afloramiento de capas acuíferas a profundidades inferiores a 2,5 m. Adicionalmente se observó que el 71% del área en esta categorización, presentó gradientes hidráulicos superiores al 1%. Con lo anterior, se considera que el Índice ZPR propuesto es un aporte para planificación territorial, bajo los principios de precaución, protección y prevención a la contaminación de las zonas con mayor potencial de recarga por ser consideradas como determinante ambiental.

Palabras clave: *Recarga de acuíferos, Recarga natural, Potencial de recarga, Operacionalización de variables, Índice aditivo.*

RESUMEN PÓSTER 14

Tomografía de Resistividad Eléctrica TER para identificación de contaminación en Estaciones de Servicio.

Rodríguez, Carolina¹, Cortés, Carlos², y Molano, Carlos E.^{1,3}

¹Hidrogeocol SAS, Bogotá, Colombia. carolina.rodriguez@hidrogeocol.com.co

²AHG GROUP SAS, Bogotá, Colombia

³Universidad de los Andes Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Bogotá, Colombia.

Las tomografías de resistividad eléctrica (TER o ERT, por sus siglas en inglés), ofrecen un sistema de detección de contaminación, fundamentalmente producto libre en estaciones de servicio. Se presenta un caso, en donde se realizaron tres (3) TRE, obteniendo la información litológica e identificando las resistividades correspondientes al hidrocarburo en fase libre disperso en el área de estudio y así optimizar los procesos y acciones de extracción y remediación del sitio. El método TRE llamado también geo eléctrica continua o imagen subsuperficial, hace la inversión numéricamente por diferencias finitas; en la fase de adquisición en campo se dispone a lo largo de la línea de prospección cincuenta y seis (56) electrodos, los cuales se separan equidistantemente a 1.5 metros uno de otro. En el trabajo de campo se obtiene bajo la línea prospección una gran cantidad de mediciones de resistividad aparente, que corresponden a diferentes profundidades de investigación y a puntos distanciados a partir del primer electrodo de la línea de prospección. El programa de procesamiento Earth Imager 2D ® busca numéricamente, la solución inversa a la ecuación diferencial que rige la distribución bidimensional del potencial en un medio heterogéneo y anisotrópico; dado que se conoce la respuesta del terreno (datos medidos de resistividad aparente) mediante los potenciales eléctricos medidos y la corriente que se inyecta a través de los electrodos a lo largo de la línea de medición multi-electrónica, se establece bajo el perfil de prospección, el modelo de resistividad real del subsuelo evaluado. Con base en el modelo de resistividad real se simula el proceso de campo el cual como resultado reproduce una respuesta o imagen sub-superficial de resistividades aparentes simulada, cuyos valores son similares y se ajustan a la distribución de los registros de resistividad aparente medidos. Para las TRE se obtiene del análisis de las secciones de resistividad, las condiciones litológicas, la extensión lateral y en profundidad de la contaminación, y el volumen de suelo afectado. En el estudio de aplicación, el suelo saturado con hidrocarburo se localizó a partir de los 3 m hasta una profundidad de 6,7 m y un ancho de 14, 5 m, según los resultados en el perfil TRE 1; en los otros dos perfiles (TRE 2 y TRE 3), no se evidenció suelo contaminado con hidrocarburos. A partir de la modelación de la pluma se calculó un volumen de 5.7 m³ de material arenoso con afectación de hidrocarburo.

Palabras clave: Tomografía de resistividad eléctrica, TRE, ERT, Estaciones de Servicio, Contaminación, Remediación, Fase Libre.