

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

**PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE
DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA DENOMINADOS
MANANTIALES**

**PROTOCOL TO IDENTIFY DISCHARGE POINTS OF UNDERGROUND
WATER CALLED SPRINGS**

YESSICA ANDREA MENESES MEDINA

Ingeniera Geóloga

Estudiante UMNG

Bogotá D.C., Colombia

u2700918@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)

Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec

Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica de Madrid (España)

Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)

Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana

Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada

ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

JUNIO DE 2019

PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA DENOMINADOS MANANTIALES

PROTOCOL TO IDENTIFY DISCHARGE POINTS OF UNDERGROUND WATER CALLED SPRINGS

YESSICA ANDREA MENESES MEDINA

Ingeniera Geóloga

Estudiante UMNG

Bogotá D.C., Colombia

U2700918@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Colombia es un país con amplia riqueza en recursos hídricos subterráneos que se encuentra en medio de un desarrollo socioeconómico, donde la ejecución de proyectos interviene en el ambiente, por tanto se requiere establecer medidas que favorezcan la preservación de los recursos y a su vez la evolución y el crecimiento económico del país. Es por ello, que surge la necesidad de implementar protocolos que evalúan parámetros y variables para identificar áreas o elementos primordiales en la naturaleza, como es el caso específico de los manantiales. Estas surgencias de agua que se generan de forma natural y como consecuencia de la descarga de flujos subterráneos, son de alta importancia, dado que proveen un recurso vital al ser humano. La identificación errónea de estos puntos puede ocasionar daños irreparables a la naturaleza o al desarrollo de la sociedad, por tanto, se propone el presente protocolo donde se recomienda evaluar aspectos topográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, climatológicos y de cobertura vegetal que integrados generan la evaluación de las condiciones reales de las surgencias y de esta forma se determina si es o no un punto de descarga de agua subterránea denominado manantial. La implementación de esta herramienta origina que el análisis de la información de un área donde se evidencia presencia de agua en superficie, sea interpretada de forma eficiente de tal forma que se obtiene una correcta aplicación de la normatividad colombiana, el desarrollo óptimo de planes sociales o económicos y primordialmente se establece una protección certera a los manantiales.

Palabras clave: manantial, agua subterránea, acuífero, recarga hídrica, descarga hídrica, infiltración, protocolo, surgencia.

ABSTRACT

Colombia is a development country which has a lot of groundwater resources where implementations of some projects could be affect the environment. Therefore, it is necessity to establish protocols that preserve these resources and at the same time, these help the economy growth based on parameters and variables to identify which areas or concern things are fundamental in the nature as well as springs. These upwellings which form in a natural way and

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

they generate as a consequence of groundwater flow are very important due to bring a vital resource of population. The misdentification in these spots could cause nature irreparable damage or problems of society development. Hence, this protocol recommends to evaluate topographic , geological, geomorphological, hydrogeological, hydrochemical, climatological and land cover aspects that generate real upwelling conditions to determinate whether or not a spot is a groundwater discharge site called Spring. Analysis information of specific area that evidence presence of water using this tool could be interpreted in an efficient way to obtain a better understanding to apply Colombian regulations as well as social or economic optimal programs development and mainly, an accurate protection of Springs.

Keywords: spring, groundwater, aquifer, water recharge, water discharge, infiltration, protocol,upwelling.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo el ser humano se ha destacado por su capacidad de sobrevivencia y constante evolución manteniendo una constante interrelación con la naturaleza. Este principio en el que el hombre se surte de los bienes y servicios que generan los recursos naturales ha conllevado a que se ocasione un desequilibrio en los ecosistemas producto de la sobreexplotación que realiza para suplir sus necesidades.

Uno de los recursos que ha tenido gran impacto debido a las actividades que desarrolla el hombre, es el agua, que a pesar de ser considerada como la fuente de energía y el factor de evolución y funcionamiento del universo se ve directamente afectada por el desarrollo económico e industrial de la población.

En el mundo las reservas de agua dulce equivalen al 2,5% del agua del planeta, de esta el 70% corresponde a glaciares, nieve o hielo, el 30% son aguas subterráneas y menos del 1% es agua superficial(Clarke & King, 2004), esta última se ha considerado como la fuente principal de abastecimiento de la humanidad, sin embargo, debido al constante crecimiento de la población se ha ocasionado un incremento en la demanda de este recurso, que sumado a que el agua

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

superficial tiene mayor exposición a la contaminación genera disminución en la oferta, esta problemática demuestra que el recurso hídrico subterráneo del planeta es valioso para la sobrevivencia, por tanto se requiere su exploración, análisis y protección.

Colombia, es un país con gran potencial de agua subterránea que requiere conocer sus recursos para que su uso se desarrolle de manera sostenible. Una manera de obtener información hidrogeológica es identificando los puntos de surgencia de agua de forma natural reconocidos como manantiales. Adicionalmente, y dado a que la normatividad colombiana protege y preserva las fuentes de agua natural, nace la necesidad de realizar un protocolo que permite evaluar diferentes aspectos físicos y biológicos con los que se determine si se trata de puntos de descarga de agua subterránea o por el contrario corresponde a flujos de agua superficial.

Esta alternativa es una herramienta para evaluar de manera óptima las evidencias de agua que se encuentren en un territorio, lo que favorece a su protección y a su vez permite que actividades o planes de desarrollo socioeconómico se elaboren de manera amigable con el ambiente.

Al tener un protocolo que permita identificar de manera eficiente estas surgencias de agua (caso específico de manantiales) donde se investiga, interpreta y analiza las variables que los clasifican como descarga de agua subterránea, la dirección del flujo que los genera, condiciones del punto y servicios que presta a las comunidades, permite obtener las directrices que busquen su conservación; de esta forma la viabilidad de los proyectos que dependen de la no afectación de los recursos naturales, se procesa manteniendo un conocimiento amplio y verdadero del funcionamiento del entorno que en integridad con el cumplimiento estricto de la normatividad, tendrán mayor posibilidad de desarrollo.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración del protocolo que permite establecer de manera óptima la identificación y clasificación de los manantiales, se elaboró mediante el análisis de información existente, para ello se revisó información bibliográfica de artículos científicos, documentos de normatividad colombiana, textos elaborados por entes gubernamentales y libros de aplicación al área, entre otros.

La primera fase del estudio consistió en revisión y clasificación de la información, de esta manera se generó un filtro de evaluación, con el fin de obtener la documentación que permitió establecer la argumentación de la investigación.

Seguido, se realizó análisis de información, donde se identificaron los aspectos a tener en cuenta para establecer el tipo de evidencia de agua.

Finalmente, se elabora documento que incorpora la recopilación, revisión y síntesis de la información existente junto con el conocimiento propio y directo que permite definir el “Protocolo para la identificación de puntos de descarga de agua subterránea denominados manantiales”.

Para establecer un protocolo que permita identificar los manantiales, primero se debe conocer que el agua subterránea es el agua del subsuelo que ocupa la zona saturada (IDEAM, 2019), que hace parte del ciclo hidrológico donde se genera precipitación, y parte de esta agua que cae discurre por la superficie, parte se evapora y el resto se infiltra por el terreno (Tarbuck & Lutgens, 2005, pág. 480), esta última es la fuente principal de recarga de los sistemas de agua subterránea, que así como presenta entradas (recarga) de igual forma genera salidas (descarga) que se reconocen como puntos de descarga natural o artificial.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

Dentro de la categoría artificial se identifican principalmente los pozos, que corresponden a construcciones antrópicas, así como aquellas obras que intervienen en la zona donde todos los espacios intersticiales se encuentran ocupados por agua (zona saturada). La descarga natural se desarrolla por medio de puntos denominados manantiales, *que son surgencias superficiales de agua de origen subterráneo, producida a través de planos de estratificación, discontinuidades de las rocas como fracturas, grietas o cambios de litología en lugares donde la superficie topográfica corta el nivel freático*(IDEAM; INGEOMINAS; MAVDT, 2009, pág. 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la documentación revisada se establece que para definir que una surgencia de agua corresponde a un flujo de descarga subterráneo denominado manantial, es necesario integrar la información de los componentes topográfico, geológico, geomorfológico, hidrogeológico, hidroquímico, climatológico y de cobertura vegetal del área circundante a la zona de presencia de agua.

El presente protocolo plantea que dependiendo del componente se deben evaluar características específicas, con el fin de obtener un modelo conceptual del área, donde se identifica según los resultados de las variables analizadas, si la presencia de agua en superficie tiene como origen flujos subterráneos o sencillamente pertenece a flujos subsuperficiales o superficiales.

A continuación, se explican los parámetros a revisar durante la inspección de campo y posterior procesamiento en oficina para cada componente.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

- **Topografía**

La topografía es un componente muy importante para el análisis hidrológico, y a su vez interviene en el área hidrogeológica, *ya que mediante el cálculo de la pendiente de la superficie terrestre y la pendiente promedio de la corriente principal se definen ciertas relaciones empíricas como el tiempo de concentración, patrones de drenaje, almacenamientos, flujos transitorios y tipo de vegetación que se adapta al suelo. Se tiene el caso que para zonas con pendientes abruptas aumentan la probabilidad de erosión del suelo (Singh, 2017)*, y esto causa alteraciones en el grado de infiltración del agua a capas bajo superficie.

De este componente es necesario determinar el porcentaje de pendiente que se presenta en la zona, los rasgos morfológicos del área donde se ubica el punto, el tipo unidad topografica observada, que puede ser depresión, planicie, ladera, colina, entre otras. (IDEAM; INGEOMINAS; MAVDT, 2009).

- **Geología**

Este componente es primordial en el momento de establecer si se trata de aguas subterráneas o superficiales, debido a que recopila la información litoestratigráfica y estructural de una zona. Como se evidencia en la Figura 3.1 Colombia es un país con una alta diversidad geológica, donde se encuentran rocas de tipo sedimentario, ígneo y metamórfico *cuya configuración al margen NW de Suramérica hace de esta una zona sometida a una intensa deformación debido a la interacción de tres placas litosféricas: la Placa de Nazca y la Placa Caribe de afinidad oceánica y la Placa de Suramérica, además del Bloque Panamá al Noroccidente de Colombia (Servicio Geológico Colombiano, 2019)*, lo que ocasiona esfuerzos que generan fallas y fracturamiento de rocas.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

Para este componente es necesario analizar el tipo de roca o depósito, la composición litológica de la formación presente en el punto de afloramiento del agua, y a partir de esto establecer las condiciones de porosidad y permeabilidad de los materiales.

Figura 3.1 Mapa Geológico de Colombia

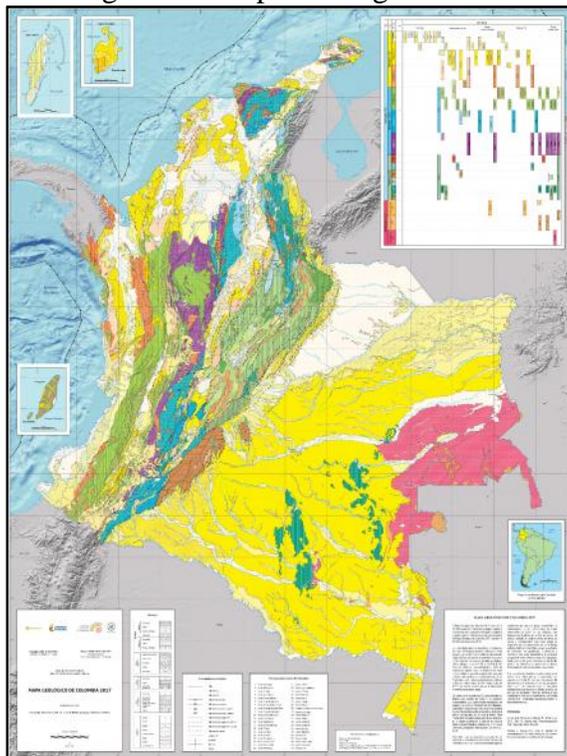


Figura 3.1. Mapa geológico de Colombia a escala 1:200.000 que resume la información geológica superficial de manera generalizada, por Servicio Geológico Colombiano, 2017, *Mapa Geológico de Colombia*.

De igual forma es primordial realizar un análisis estructural del área, ya que la presencia de estructuras geológicas como pliegues o fallas interfiere en las condiciones naturales de las formaciones. La inclinación de las capas se relaciona directamente con las direcciones de flujo del agua; las fallas, diaclasas y fracturas ocasionan porosidad secundaria, que altera las características iniciales de una roca.

Por tanto, a partir del análisis geológico se puede determinar si las rocas del área en estudio favorecen a la infiltración del agua o por el contrario, dada su composición litológica y disposición benefician los flujos por escorrentía.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

- **Geomorfología**

Las formas naturales que tiene la superficie terrestre que se han generado a través del tiempo y en el presente conforman la geomorfología de una zona, para la aplicación del protocolo es necesario que en el área de análisis donde se presente una surgencia de agua se identifique la unidad geomorfológica tanto regional como local, el ambiente de depósito y su relación con la creación de flujos superficiales o subterráneos.

- **Hidrogeología**

Para este componente se deben definir los sistemas hidrogeológicos presente en el área, y a partir de estos identificar unidades hidrogeológicas que de acuerdo a Kresic, 2009 se definen de la siguiente manera:

***Acuífero**, es la unidad básica de un sistema de agua subterránea, se define como una formación geológica, o un grupo de formaciones geológicas conectadas hidráulicamente, que almacenan y transmiten cantidades significativas de agua subterránea.*

***Acuitardo**, es la unidad que almacena agua y es capaz de trasmitirla, pero a un ritmo mucho más lento que un acuífero, por lo que no puede proporcionar cantidades significativas de agua subterránea a pozos y manantiales.*

***Acuicludo**, Es equivalente a un acuitardo de muy baja permeabilidad, en muchos casos actúa como una barrera impermeable al flujo de agua subterránea.*

Para definir el tipo de unidad hidrogeológica se analizan los parámetros de porosidad y permeabilidad que presenta el material que constituye el área donde se evidencia la presencia de agua en superficie.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

El termino porosidad hace referencia a la fracción no solida o espacios intersticiales de los materiales geológicos, donde se almacenan líquidos o gases (Weight, 2001), en la Tabla 1 se evidencian algunos materiales típicos de la tierra con su respectivo porcentaje de porosidad.

Tabla 1

Rangos de Porosidad de materiales típicos de la tierra

MATERIALES NO CONSOLIDADOS	% POROSIDAD	ROCA CONSOLIDADA	% POROSIDAD
Arcilla	40 – 70	Arenisca	5 – 35
Limo	35 – 50	Caliza / Dolomita	<1 – 20
Arena	25 – 50	Esquisto	<1 – 10
Grava	20 – 40	Roca Cristalina (Fracturada)	<1 – 5
Arena y Grava	15 – 35	Basalto Vesicular	5 – 50

Nota: Presenta los valores estimados de % de porosidad dependiendo la composición litológica de los materiales. Tomado de: Roscoe Moss Company, 1990, *Handbook of Ground Water Development*, pag 493.

Figura 3.2 Diagrama donde se evidencian diferentes tipos de intersticios de los materiales

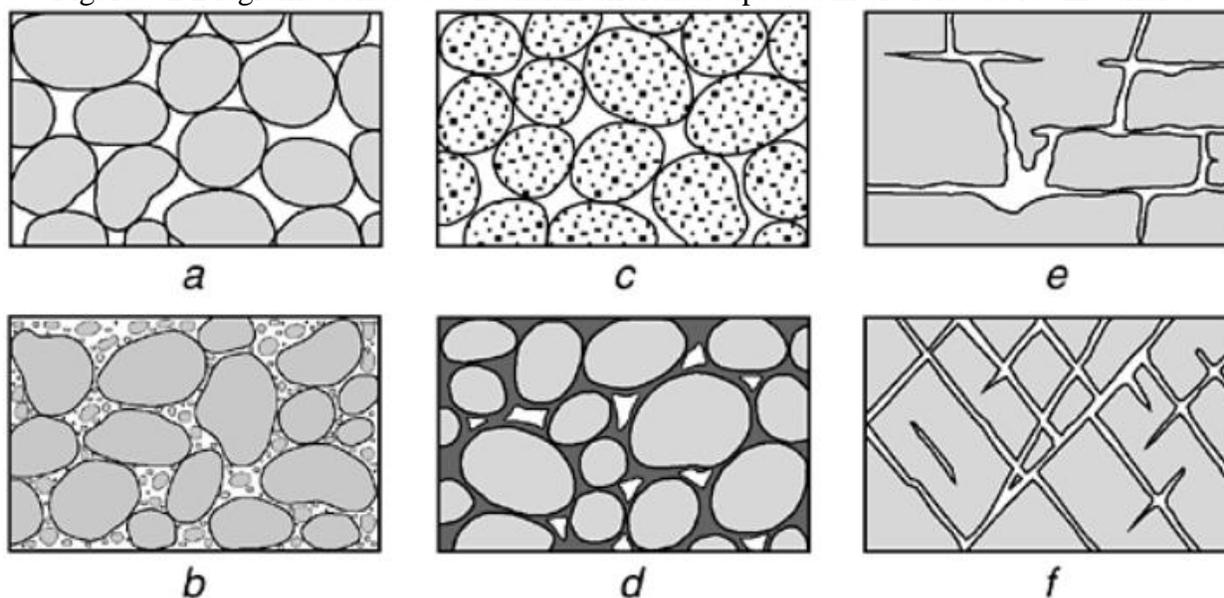


Figura 3.2. Diagrama que muestra varios tipos de intersticios de roca y la relación de la textura de la roca con la porosidad. (a) Sedimentos bien clasificado con alta porosidad; (b) Sedimentos mal clasificado que tiene baja porosidad; (c) Sedimentos sin matriz o cemento en sus intersticios que tiene una porosidad muy alta; (d) Sedimentos con minerales en los intersticios, cuya porosidad ha sido disminuida; (e) roca porosa por solución; (f) roca porosa por fractura. Vélez, Ortiz & Vargas, 2011. *Las aguas subterráneas, un enfoque práctico*.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

La Figura 3.2 muestra tipos de porosidad o espacios intersticiales en relación a la textura de las rocas, este parámetro permite evaluar en campo que condiciones presentan los materiales insitu de la formación que contiene la surgencia de agua.

Con respecto al termino permeabilidad se establece que corresponde a la capacidad que tienen las rocas o depósitos para permitir el flujo de los fluidos a través de los poros que se encuentran interconectados, por tanto, la permeabilidad de los materiales depende de la conexión que exista entre los poros.

Una vez analizados estos aspectos se debe continuar con la interpretación de las direcciones de flujo que se generan en estas unidades, ya que el agua subterránea en la zona saturada está siempre en movimiento con flujos en un espacio tridimensional.

Posterior a estos análisis se realiza modelo hidrogeológico conceptual, donde se identifica el comportamiento del sistema hídrico subterráneo del área de estudio.

Para el caso colombiano como se evidencia en la Figura 3.3 los análisis hidrogeológicos se encuentran a escala regional donde se presentan sistemas hidrogeológicos poco detallados, por lo que es necesario elaborar para cada sitio en cuestión levantamiento hidrogeológico, incluyendo inventario de puntos de agua subterránea antrópicos, de esta forma la incertidumbre de la existencia de un manantial puede ser analizada desde la perspectiva del comportamiento del sistema hidrogeológico.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

Figura 3.3 Mapa hidrogeológico de Colombia



Figura 3.3. Mapa hidrogeológico de Colombia, 2012, identificación de sistemas hidrogeológicos en Colombia, por IGAC, 2012. *Zonas hidrogeológicas*.

- ***Climatología***

En el momento de analizar la presencia de agua en superficie es necesario conocer las condiciones climatológicas de la región y área, debido a que este es un factor que influye en el ciclo hidrológico, por tanto, está conectado directamente con aguas subterráneas. Además, esta información es necesaria en el momento de desarrollar el modelo hidrogeológico porque permite evaluar conceptualmente el comportamiento de factores de precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración (balance hídrico de un área).

Como ya se ha mencionado la integración de los componentes evaluados es de vital importancia, y un ejemplo claro está relacionado con el comportamiento climatológico ya que este afecta a otras variables, como es el caso de los muestreos para análisis hidroquímicos, ya que

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

el aumento o descenso de precipitaciones puede generar alteraciones en la composición de los flujos.

- ***Cobertura Vegetal***

La cobertura tiene una relación directa con el tipo de suelo que cubre la superficie, debido a que entre estas dos variables existe una relación simbiótica, que consiste en que las plantas modifican y desarrollan los suelos creando espacios porosos que aumentan la capacidad de almacenar más agua, agregan materia orgánica cuando las hojas mueren y se descomponen y protegen la superficie de la erosión, mientras que los suelos actúan como la base para todo tipo de plantas (Singh, 2017).

Esta es una de las razones por la que este componente es incluido en la identificación de los manantiales., sumado a que existen especies de plantas que se relacionan con surgencias de agua de forma natural (que pueden ser denominadas como trasas bióticas), por lo que es necesario realizar el reconocimiento de la cobertura vegetal, ya que la presencia de especies específicas puede ser un lineamiento para caracterizar nacimientos de agua.

- ***Hidroquímica***

Para corroborar la información recolectada en los anteriores componentes se debe realizar muestreo de las surgencias de agua para elaborar análisis físico – químicos, debido a que este procedimiento permite identificar los elementos y soluciones presentes en el agua. De esta forma se puede definir con mayor criterio si el flujo pertenece a agua superficial o subterránea.

Para llevar a cabo este procedimiento es necesario cumplir con los requerimientos exigidos por la normatividad colombiana, donde el muestreo de agua debe ser realizado por personal certificado que cumpla con los requerimientos básicos de calidad, con el fin de evitar contaminación cruzada durante la etapa de recolección de muestras. De igual forma para las

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

etapas de traslado y análisis de laboratorio de las muestras se recomienda que las entidades a realizar estos procedimientos se encuentre debidamente certificados.

Para el análisis de resultados Weight, 2019 indica que para la interpretación química de los elementos y compuestos que constituyen el agua se deben elaborar diagramas de Piper, Schoeller y Stiff.

El diagrama de Piper es un diagrama trilineal que muestra las cantidades relativas de cada uno de los cationes comunes ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+}) y aniones ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , Cl^-) en una muestra dada. Los diagramas de Schoeller organizan los iones principales en el orden: Mg^{2+} , Ca^{2+} , ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , así las concentraciones de soluto se representan en un gráfico de líneas de concentración logarítmica, con una línea diferente para cada muestra. Finalmente, los diagramas de Stiff para cada catión o anión principal está dispuesto verticalmente y sus concentraciones se representan en un eje horizontal en unidades de meq / L. Por convención, los cationes están siempre a la izquierda, en el siguiente orden de arriba a abajo: ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), Ca^{2+} , Mg^{2+} . Los aniones se representan a la derecha en el orden Cl^- , ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), y SO_4^{2-} . Un ejemplo de cada diagrama se evidencia en la Figura 3.4.

La interpretación y análisis de los diagramas sumado a parámetros de correlación como los que se evidencian en la Tabla 2, permite establecer la calidad del agua y de esta forma se puede relacionar con flujos jóvenes, maduros o viejos, con el fin de identificar el origen del agua muestreada.

Una recomendación adicional, hace referencia al análisis de la formación que almacena el agua, ya que este factor interviene de forma directa en la composición físico – química del agua, un caso claro se evidencia en la Tabla 2, donde se presentan concentraciones medias de los

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

compuestos y elementos químicos para EE.UU, sin bien estos datos son un termino de referencia, es necesario analizar estos parámetros localmente.

Figura 3.4 Diagramas para análisis químico del agua

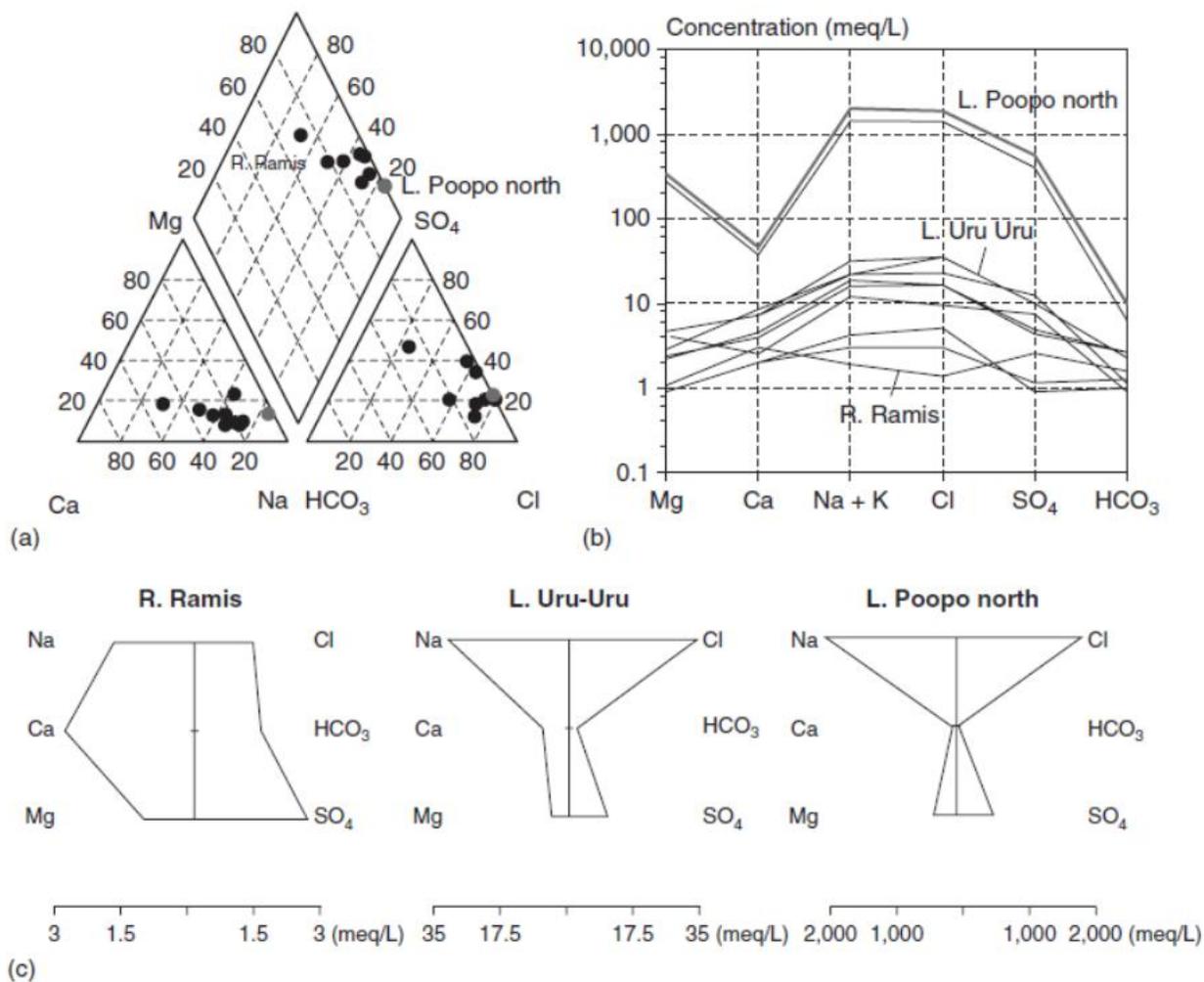


Figura 3.4. Diagramas para análisis hidroquímicos, 1990 (a) Diagrama de Piper, (b) Diagrama de Schoeller y (c) Diagramas de Stiff. TOMADO DE: Guyot, J.L., 1990. *Salinities and Sediment Transport in the Bolivian Highlands*.

Tabla 2

Concentraciones medias sustancias y elementos agua subterránea

SUSTANCIA	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUBTERRÁNEA	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MEDIA	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MEDIA
HCO ₃ ⁻	58	200	Al	3.0	Mn	7.0
Ca ²⁺	15	50	As	0.79	Mo	1.0
Cl ⁻	7.8	20	Ba	54	Ni	1.1

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

SUSTANCIA	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUBTERRÁNEA	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MEDIA	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MEDIA
K ⁺	2.3	3	B	35	Pb	0.07
Mg ²⁺	4.1	7	Co	0.17	Se	0.34
Na ⁺	6.3	30	Cr	1.2	Sr	270
SO ₄ ²⁻	3.7	30	Cu	1.0	U	0.52
SiO ₂ (aq)	14	16	Fe	7.9	V	1.4
TDS	120	350	Li	6.0	Zn	4.8

Nota: Sustancias y elementos traza para aguas superficiales y subterráneas. Tomado de: Ayotte, J.D., Gronberg J.M. & Apodaca, I.E., 2011. *Trace Elements and Radon in Groundwater across the United States, 1992–2003*. U.S. Geological Survey, Science Investment.

Discusión

El desconocimiento de los recursos naturales en el país crea conflicto entre el proteger el ambiente y la implementación de obras o actividades que favorezcan el desarrollo de la sociedad, es de allí que nace la importancia de conocer y evaluar de forma eficiente los recursos, por tanto surge la necesidad de implementar metodologías que permitan establecer las riquezas de la población. Para el caso específico de la identificación de manantiales se propone el presente protocolo con el fin de que puntos de descarga de agua subterráneas sean identificado de manera óptima, como ha sucedido en otros lugares del mundo son de la implementación del análisis de algunas de las variables descritas anteriormente, permiten evaluar características de este tipo de puntos.

Según la bibliografía revisada se evidencia casos como el de la generación del modelo hidrogeológico conceptual y numérico del sistema acuífero de Guaraní (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) (Mira et al, 2018, pag 67 – 70), donde la integración de datos geológicos, climáticos, hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos permite definir un modelo conceptual y numérico del comportamiento de aguas subterráneas de un área específica.

Como se evidencia en los artículos caracterización hidroquímica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el Valle Central de Costa Rica (Madrigal, Fonseca, & Reynolds,

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

2017, págs. 115 - 132), caracterización de manantiales del departamento Ancasti en la provincia de Catamarca (Argentina) (Denin, Cano, & Castro, 2015) y caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile (Arumi, J.L., et al. 2014, pag 151-158), la implementación de la hidroquímica es una herramienta que permite definir el origen de los flujos que se muestrean, su calidad y relación con las formaciones geológicas que lo contienen. Sin embargo, a su vez se reitera que para una correcta interpretación de la información es necesario el conocimiento de las características hidrogeológicas y climatológicas que generen un enfoque sistémico del comportamiento del agua analizada.

Finalmente y como se establece el estudio nacional del agua (IDEAM, 2018) el agua subterránea en Colombia tiene un gran potencial, por lo que requiere la implementación de políticas responsables establezcan la protección de acuíferos y así como se evidencia que existe una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga, donde interactúan variables de permeabilidad, densidad de fracturamiento (geología estructural), suelos, coberturas y pendientes, es necesario identificar los puntos de descarga, ya que estos hacen parte del sistema hídrico subterráneo.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió establecer que para Colombia actualmente no se presentan herramientas que permitan evaluar sistemas de agua subterránea, por tanto, no existen protocolos que donde se establezca de manera óptima la presencia de puntos de descarga natural denominados manantiales.

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

El planteamiento de un protocolo que integre diferentes disciplinas científicas, genera un mayor sustento para la persona o ente evaluador que quiera clasificar surgencias de agua, de esta forma la identificación de manantiales se ejecuta de manera eficiente.

Dentro de los componentes a evaluar existen dos de mayor relevancia que corresponden al análisis hidrogeológico e hidroquímico, debido a que estas dos temáticas integran aspectos geológicos, climatológicos y de disposición de los materiales, por tanto su revisión debe realizar de forma exhaustiva.

La implementación de este protocolo exige que las medidas de protección que se dan a este tipo de ecosistemas donde se encuentra un manantial se desarrolle de manera eficaz y eficiente, ya que se conoce el comportamiento sistemático del recurso hídrico, por tanto se pueden establecer medidas que no alteren el comportamiento del sistema.

El protocolo permite definir qué puntos de surgencia de agua corresponden en realidad a flujos de agua subterránea, por tanto, también establece que flujos son superficiales o sub superficiales, lo que favorece al progreso socioeconómico del país, debido a que en la actualidad la errónea clasificación de puntos de agua, retrasa o interfiere en los proyectos de desarrollo.

Debido a que por medio del protocolo se descartan flujos de procedencia superficial, y se reconocen aquellos de origen subterráneo, es posible una óptima aplicación de la normatividad colombiana y una eficaz implementación de sistemas de protección a estas rondas hídricas que no pueden ser intervenida por ninguna actividad ni persona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arumí, J. L., Oyarzún, R., Muñoz, E., Rivera, D., & Aguirre, E. (2014). Caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 151-

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

158. Recuperado el 02 de mayo de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000600010&lng=pt&tlng=es.
- Ayotte, J., Gronberg, J., & Apodaca, L. (2011). Trace Elements and Radon in Groundwater across the United States, 1992 - 2003. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5059*, 115. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5059>
- Clarke, R., & King, J. (10 de 05 de 2004). *The Water Atlas, A Unique Visual Analysis of the World's Most Critical Resource*. New Press. Recuperado el 25 de abril de 2019, de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- Denin, P., Cano, L., & Castro, O. (2015). Caracterización de manantiales del departamento Ancasti en la provincia de Catamarca (Argentina). *Ambiente y Desarrollo*, 23 - 32. Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd19-37.cmda>
- Guyot, J., Roche, M., Noriega, L., & Calle, H. Q. (1990). Salinitie and Sediment Transport in the Bolivian Highlands. *Elsevier Science Publishers B.V*, 147-162.
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2019). *Glosario IDEAM*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>
- IDEAM; INGEOMINAS; MAVDT. (2009). *Instructivo para diligenciar el formulario único nacional para el inventario de puntos de agua subterránea*. Subdirección de hidrología; Subdirección de recursos del subsuelo; Viceministerio de Ambiente, Bogotá D.C.
- IGAC. (2012). *Unidades hidrogeológicas de Colombia*. Obtenido de http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/PDF/Hidrogeologia_Nal_Am_V2.pdf?
- Kresic, N. (2009). *Groundwater Resources: Sustainability, Management, and Restoration*. The McGraw-Hill Companies. Recuperado el 01 de Mayo de 2019, de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.umng.edu.co/browse/groundwater-resources-sustainability-management-and-restoration#fullDetails>
- Madrigal, H., Fonseca, A., & Reynolds, J. (2017). Caracterización hidrogeoquímica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el Valle Central de Costa Rica. *Tecnología y ciencias del agua*, 115 - 132. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-09>
- Mira, A., Vives, L., Rodrigues, L., & Veroslavsky, G. (2017). Modelo hidrogeológico conceptual y numérico del Sistema Acuífero Guaraní (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay).

IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES

GEOGACETA, 67 - 70. Recuperado el 25 de abril de 2019, de https://scholar.google.es/scholar?as_ylo=2015&q=modelo+hidrogeologico+concetual&hl=en&as_sdt=0,5

Roscoe Moss Company. (1990). *Handbook of Ground Water Development*. Nueva York: John Wiley & Sons.

Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Mapa Geológico de Colombia*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de Servicio Geológico Colombiano: <https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/Geociencias/Paginas/MapaGeologico.aspx>

Servicio Geológico Colombiano. (18 de Marzo de 2019). *Servicio Geológico Colombiano*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <http://geored2.sgc.gov.co/geologia/Paginas/Colombia.aspx>

Singh, V. P. (2017). *Handbook of Applied Hydrology* (Second Edition ed.). McGraw-Hill. Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.umng.edu.co/browse/handbook-of-applied-hydrology-second-edition>

Tarbutck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.

Vélez, M., Ortiz, C., & Vargas. (2011). *Las aguas subterráneas, un enfoque práctico*. Bogotá D.C.

Weight, W. D. (2001). *Manual of Applied Field Hydrogeology*. The McGraw-Hill Companies. Recuperado el 08 de Mayo de 2019, de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.umng.edu.co/browse/manual-of-applied-field-hydrogeology>

Weight, W. D. (2019). *Practical Hydrogeology: Principles and Field Applications, Third Edition*. McGraw Hill Professional, Access Engineering. Obtenido de <https://www.accessengineeringlibrary.com:443/browse/practical-hydrogeology-principles-and-field-applications-third-edition/c9781260116892ch08lev1sec0>