

Economía y agroecología

Construyendo alternativas
al desarrollo rural

Rubén Darío Sepúlveda Vargas
Compilador



Universidad
Pontificia
Bolivariana

338.162

E194

Sepúlveda Vargas, Rubén Darío
Economía y Agroecología Construyendo alternativas al desarrollo rural /
Rubén Darío Sepúlveda Vargas – 1 edición – Medellín : UPB, 2020.
217 páginas, 16.5x23.5 cm.
ISBN: 978-958-764-910-9 (versión digital)

1. Desarrollo rural sostenible. – 2. Desarrollo económico 3. Agroecología
– I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Autores varios
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Economía y agroecología Construyendo alternativas al desarrollo rural sustentable
ISBN: 978-958-764-910-9 (versión digital)

DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-910-9>

Primera edición 2020

Facultad de Economía

Grupo: Gestión Ambiental. Proyecto: Acciones para la gestión y la sostenibilidad ambiental territorial:
Casos del departamento de Córdoba y la región Caribe. Digital.

Nota: este proyecto fue avalado y financiado por *Environment & Technology Foundation*
Seccional Montería.

Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Rector Seccional Montería: Pbro. Jorge Alonso Bedoya Vásquez

Vicerrector Académico Sede Medellín: Álvaro Gómez Fernández

Vicerrector Académico Seccional Montería: Roger Góez Gutiérrez

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Gestora Editorial Seccional Montería: Flora del Pilar Fernández Ortega

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diagramación: Ana Mercedes Ruiz Mejía

Corrección de Estilo: Isadora González Rojas

Dirección Editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020

Correo electrónico: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57)(4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 2021-31-08-20

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización
escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

› Estudio de las características hidrogeológicas del acuífero localizado en el municipio de Pueblo Nuevo, departamento de Córdoba, Colombia, para la gestión integral de las aguas subterráneas¹

Ramiro Lugo Romero

Estudiante Facultad de Ingeniería Civil, miembro de semillero de investigación, ramiro.lugor@upb.edu.co

Eliab Navarro Goenaga

Estudiante Facultad de Ingeniería Civil, miembro de semillero de investigación, eliab.navarrog@upb.edu.co

Álvaro López-Ramos

Magíster en Hidrociencias. Docente programa Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Montería, Colombia. alvaro.lopezr@upb.edu.co

1 Producto de investigación de la tesis de pregrado Ingeniería Civil titulada “Diagnóstico del estado actual de los pozos localizados en el acuífero del municipio de Pueblo Nuevo, Córdoba”. Finalizado en diciembre de 2018 en la Universidad Pontificia Bolivariana Montería.

Álvaro López-Lambrano

PhD. en Ingeniería. Profesor-Investigador Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México. alopezl@uabc.edu.mx. Hidrus S.A. de C.V. alopezl@hidrusmx.com

Juan Medrano-Barboza

Magíster en Ingeniería, Docente programa de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Montería, Colombia. juan.medrano@upb.edu.co

Luisa Martínez-Acosta

Estudiante de doctorado, Facultad de ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Baja California, México. Docente programa Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Montería, Colombia, luisa.martinez@upb.edu.co

Introducción

El agua subterránea es aquella que proviene de la precipitación y se filtra a través de los poros del suelo y por entre las grietas de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra; y se acumula en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo; es decir, el agua se almacena y se mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos (Vélez O., Ortíz P., & Vargas Q., 2011). El agua subterránea representa aproximadamente el 30 % del agua dulce disponible del planeta, por lo cual, teniendo en cuenta el aumento en la demanda de agua potable para el consumo humano y demás usos, como los agroindustriales, mineros y de hidrocarburos durante el siglo XXI, se convierte en una alternativa importante de abastecimiento (Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, 2017; Chow, Maidment, & Mays, 1987).

Lo anterior, sumado a la disminución y la contaminación de los cuerpos de agua superficial, convierte al agua subterránea en un recurso vital para múltiples poblaciones alrededor del mundo. De acuerdo con

cifras del Programa Mundial de Evaluación del Agua (WWAP por sus siglas en inglés), el agua subterránea proporciona más del 18 % de todas las captaciones de agua y el 48 % de las extracciones de agua potable. En muchas regiones, la mayoría del agua potable proviene de aguas subterráneas; por ejemplo, en Alemania representa más del 70 % del suministro público de agua; en Rusia, cerca del 80 %; y casi el 100 % en Austria, Dinamarca y Lituania. Lo mismo sucede en el norte de África y Medio Oriente, donde hay pocos ríos, y a pesar de que se está empezando a implementar la desalinización. Además, se reporta que casi la mitad de la población total de los Estados Unidos depende de aguas subterráneas como fuente de agua potable, y en las zonas rurales llega casi al 100 % (World Water Assessment Programme (WWAP) , 2009).

Esto ha ocasionado una sobreexplotación y contaminación desmedida del recurso hídrico subsuperficial, por lo cual, la gestión del recurso hídrico subterráneo de manera sostenible se ha convertido en un tema de importancia global, sin embargo, la falta de mediciones debidas a la complejidad de su movimiento imposibilita en muchas ocasiones la cuantificación y gestión del recurso (A. Jones, 2011). Así, para poder establecer medidas encaminadas a la gestión y cuidado del recurso hídrico subterráneo, es necesaria la comprensión de los acuíferos, para lo cual, la hidrogeología es fundamental (Liu, Cao, & Zheng, 2011). En este orden de ideas, de acuerdo con Nigwal & Dev (2019), la hidrogeología se define como el estudio de las condiciones geológicas que controlan la distribución y movimiento de las aguas debajo de la superficie de la tierra. Por tal razón, se convierte en uno de los factores esenciales para entender y evaluar tanto la cantidad como la calidad de los recursos hídricos subterráneos (Custodio, y otros, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario administrar correctamente el recurso hídrico subterráneo, para lo cual es indispensable realizar estudios hidrogeológicos, especialmente en zonas donde el escurrimiento superficial escasea. En el caso del departamento de Córdoba, Colombia, la mayor explotación se presenta en la época seca, por la falta de agua para atender las demandas por los diferentes consumos, como el doméstico, el agropecuario y el agroindustrial, entre otros (Donado, 2000). Son tan altos los estragos por el intenso verano (período de sequía) en los años donde se ha presentado el fenómeno de

El Niño, que las autoridades se han visto en la necesidad de declarar la calamidad pública por las pérdidas de cultivos y las muertes de animales.

En el municipio de Pueblo Nuevo, Córdoba, objeto del presente proyecto, la población rural es mayor; alrededor del 65 % se concentra en los caseríos rurales y el restante en la cabecera. El crecimiento demográfico de los centros poblados rurales es otro de los aspectos que han favorecido la extracción continuada de agua para atender el abastecimiento de los acueductos veredales y, por consiguiente, se observa una reducción de los caudales de agua en el acuífero para esta época (Alcaldía de Pueblo Nuevo, 2017).

La excesiva explotación y el mal manejo de los recursos naturales por acciones como la tala y quema del bosque, la contaminación, entre otros, son factores que atentan diariamente contra su sostenibilidad y conservación del recurso. Como consecuencia de lo anterior, el suministro de agua se ha visto afectado en los centros poblados hasta el punto de no haber llegado el suministro durante 20 días, por el tiempo que toman los pozos de recuperar su caudal después de un bombeo, debido al descenso del nivel freático (Alcaldía de Pueblo Nuevo, 2017).

Es importante hacer estudios previos y detallados para la explotación de un acuífero, así como un adecuado proceso constructivo de los pozos de explotación; asimismo, es necesario verificar periódicamente el estado en que estos se encuentran, con el propósito de comprobar su correcto funcionamiento y si están suministrando la demanda de agua requerida.

Uno de los objetivos específicos de este trabajo fue el de estudiar las características hidrodinámicas del acuífero de Pueblo Nuevo, Córdoba, a través de la comprobación en campo mediante de pruebas de bombeo en los pozos que sirven de fuente de abastecimiento, con el fin de determinar las fluctuaciones de los niveles estáticos, dinámico, redes de flujo, dirección del flujo y zonas de recarga y descarga. De esta manera es posible evaluar y verificar su comportamiento. Además, se valoró el estado físico en el que se encuentran las instalaciones en las que funcionan los pozos de abastecimiento de agua.

Desarrollo (bases teóricas y resultado)

Para iniciar el estudio de los pozos localizados en el acuífero de Pueblo Nuevo, se partió del estudio realizado en 2009 por la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, bajo convenio Corporación Autónoma de los Valles del Sinú y San Jorge – CVS y la Universidad Pontificia Bolivariana –UPB–, sobre “Formulación del modelo numérico hidrogeológico en estado estacionario y transitorio de los municipios de Pueblo Nuevo y Planeta Rica”. A partir de esa información se procedió a la identificación del área de estudio y a la ubicación de los pozos profundos referenciados geográficamente en el inventario del estudio mencionado anteriormente. Se realizaron visitas de campo para la georreferenciación de los pozos profundos, verificando sus coordenadas geográficas, estado, diámetro, material de revestimiento, profundidad y niveles estáticos y dinámicos de cada pozo profundo, utilizando una sonda eléctrica. Posteriormente, se elaboró una ficha técnica con los datos mencionados anteriormente, que sirvió de insumo para el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Mediante el uso de las herramientas de interpolación de distancia inversa, conocidas por sus siglas en inglés como IDW, se generó una superficie interpolada que representa la tabla de agua en el pozo para cada nivel (estático y dinámico). Finalmente, se elaboraron los mapas de curvas isopiezas y se construyó la red de flujo y se determinó su dirección, los gradientes y otros parámetros, como la conductividad hidráulica y la transmisividad del acuífero.

A continuación, en las tablas 1 y 2, se resumen los datos actualizados que fueron medidos en campo para cada pozo.

Tabla 1. Resumen características de los pozos del municipio de Pueblo Nuevo.

Nº	Nombre del pozo profundo	Ubicación Geográfica		Elevación m.s.n.m.	Diámetro (pulg.)	Profundidad (m)	Revestimiento
		X	Y				
1	Las Guamas	860094.26	1437737.34	84.72	6	102	PVC ²
2	Café Pisao	865117.83	1425875.56	36.66	6	100	PVC
3	Cintura	868827.57	1424490.5	22.48	6	100	PVC
4	Los Limones	857672.72	1432218.44	57.32	6	102	PVC
5	Curva de Los Limones	856021.81	1435405.43	107.79	6	102	PVC
6	La Magdalena	845125.88	1443080.56	101.54	6	130	PVC
7	Betania	857421.74	1438601.37	86.88	6	100	PVC
8	Katar	843667.74	1432067.14	99.86	8	180	PVC
9	El Piñal	859872.89	1425586.83	61.65	6	102	PVC
10	Corcovado	853775.24	1438428.35	121.01	6	102	PVC
11	Palmira	848749.42	1437191.17	112.6	6	100	PVC
12	La Vaqueta	855549.82	1423202.2	74.39	6	100	PVC
13	La Granjita	840541.93	1426895.82	116.68	6	120	PVC
14	Loma de Piedra	848116.69	1423008.11	79.92	6	100	PVC
15	Providencia	843457.91	1425007.36	129.42	4	80	PVC
16	Balastera	844804.62	1424550.89	94.82	6	100	PVC
17	Villa Rosario	843846.21	1434547.29	109.24	8	210	HG ³
18	Isidro	844176.17	1435784.99	113.32	8	140	HG
19	Carimagua	843008.53	1435353.33	152.01	8	170	HG

Fuente: Elaboración propia

Con la herramienta “Contorno” de ArcGis, se generaron cada dos (2) metros las curvas piezométricas del nivel estático y del nivel dinámico. De esta manera se pueden observar las variaciones de altura (energía potencial) de la capa freática. El resultado final de las curvas isopiezas se observa en las figuras 1 y 2.

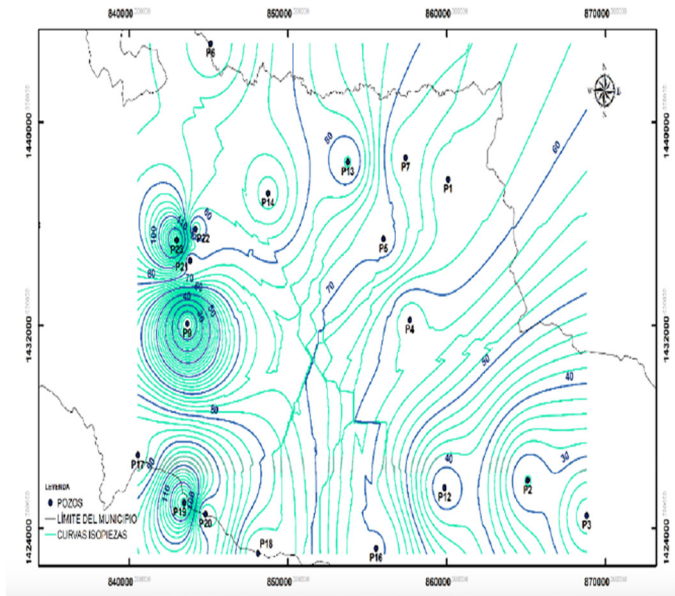
2 Policloruro de Vinilo
3 Hierro Galvanizado

Tabla 2. Niveles piezométricos de los pozos.

No	Pozo	Nivel Piezométrico	
		Estático (m)	Dinámico (m)
1	Las Guamas	22.64	24.94
2	Café Pisao	8.74	11.22
3	Cintura	+0.69 ⁴	4.2
4	Los Limones	0.27	3.05
5	Curva de Los Limones	36.8	31.4
6	La Magdalena	11.69	46.09
7	Betania	20.45	21.1
8	Katar	78.15	99.65
9	El Piñal	23.07	19.67
10	Corcovado	38.88	40.58
11	Palmira	25.8	33.9
12	La Vaqueta	14.1	17.42
13	La Granjita	31.29	31.99
14	Loma de Piedra	5.59	7.49
15	Providencia	10.57	15.17
16	Balastera	8.6	11.9
17	Villa Rosario	31.4	46.3
18	Isidro	36.7	49.7
19	Carimagua	32.3	84.4

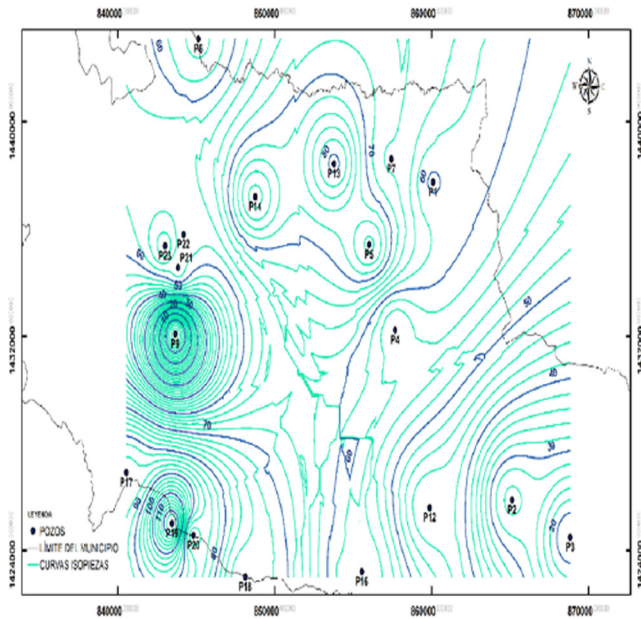
4 El nivel piezométrico estático está por encima del nivel del terreno

Figura 1. Curvas isopiezas del nivel estático.



Fuente: Elaboración propia.

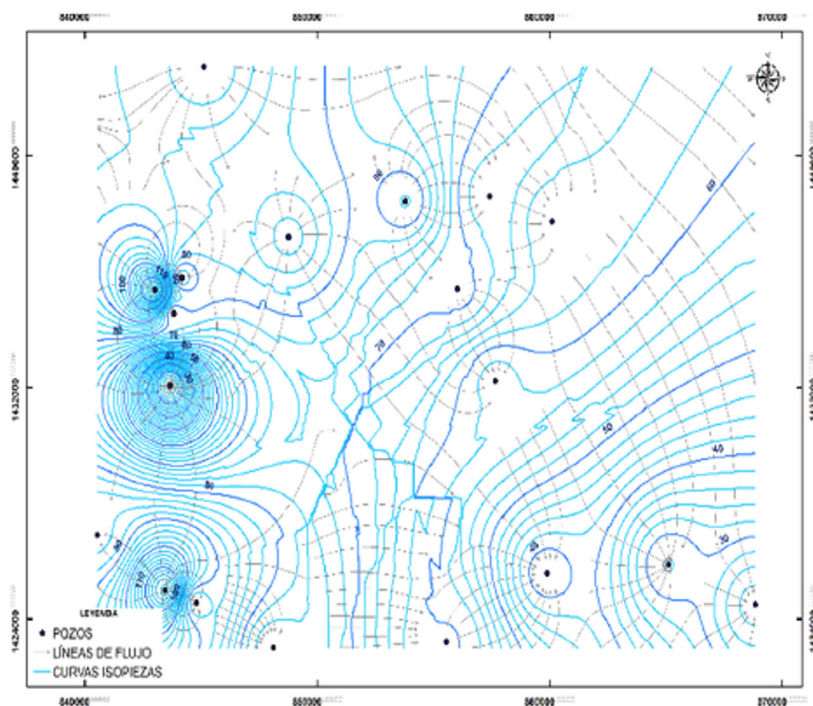
Figura 2. Curvas isopiezas del nivel dinámico.



Fuente: Elaboración propia.

A partir del mapa de curvas isopiezas del nivel estático, se trazaron líneas que indican la dirección del movimiento de las aguas subterráneas, llamadas líneas de flujo. Una línea de corriente o línea de flujo es la recta de mayor pendiente trazada sobre las curvas isopiezas, es decir, la normal o perpendicular a estas. En la figura 3 se observa la red de flujo, conjunto formado por las curvas isopiezas y las líneas de corriente. Luego, a partir de la red de flujo, se puede obtener información respecto del comportamiento hidrodinámico del sistema de agua subterránea en el área de estudio, tal como dirección y sentido del escurrimiento, identificación de las zonas de recarga y descarga del acuífero, así como determinar la interacción del acuífero con cuerpos de agua superficial y estimar gradiente de velocidad, permeabilidad y transmisividad del flujo de agua subterráneo.

Figura 3. Red de Flujo.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de las curvas isopiezas y el mapa hidrográfico del municipio, se determinó de qué manera interactúa el acuífero y los cuerpos de agua superficial. En la zona de estudio se encuentra el Arroyo Santiago, la Quebrada Aguas Claras y la Ciénaga de Cintura. Para el caso específico del Arroyo Santiago se observa que las curvas isopiezas se cierran de forma convexa sobre la línea de drenaje. Además, si se dibujan las líneas de flujo alrededor del arroyo, de acuerdo con la altura piezométrica, se verifica que el cuerpo de agua es influente (perdedor), es decir, es un cuerpo de agua que recarga al acuífero. Por otro lado, para la interacción de la quebrada Aguas Claras, con el acuífero es posible definir tres zonas, cada una con un comportamiento distinto. En la Zona 1, la quebrada se comporta como efluente/influente (ganador/perdedor), en la dirección Sur – Norte, es decir, recibe flujo de agua del acuífero del mismo modo en que lo aporta. Para la Zona 2, la quebrada se comporta como influente, o sea, drenando hacia el acuífero. La Zona 3 tiene el mismo comportamiento de la Zona 1, solo que lo hace en la dirección Norte–Sur. Finalmente, al trazar las líneas de flujo cercanas a la Ciénaga de Cintura, se evidencia que este cuerpo de agua superficial se comporta como un efluente del acuífero; todo el flujo se dirige hacia la ciénaga, de manera que es evidentemente un drenante del acuífero.

También se identificaron en el acuífero, a partir de las curvas isopiezas, las zonas de flujo inverso. En estas zonas, las líneas de flujo se “chocan” o encuentran, de modo que se forma una “laguna piezométrica”, es decir, el flujo se encuentra entre dos líneas de igual potencial. En el acuífero del municipio de Pueblo Nuevo, se identifican tres zonas de flujo inverso en el área de los pozos Corcovado (P13), Palmira (P14) y La Magdalena (P6). Al llegar el flujo a esa zona, esta se comporta como un embudo, de tal forma que el flujo se redirecciona moviéndose hacia las zonas con menor potencial hidráulico. Los mapas de curvas isopiezas permiten construir el perfil de depresión del acuífero. Simplemente, se dibuja un corte a escala en un plano vertical que pase por una línea de corriente. En él se sitúan el perfil topográfico o del terreno, el nivel estático y el dinámico (Castany, 1999).

Se elaboraron tres perfiles de depresión:

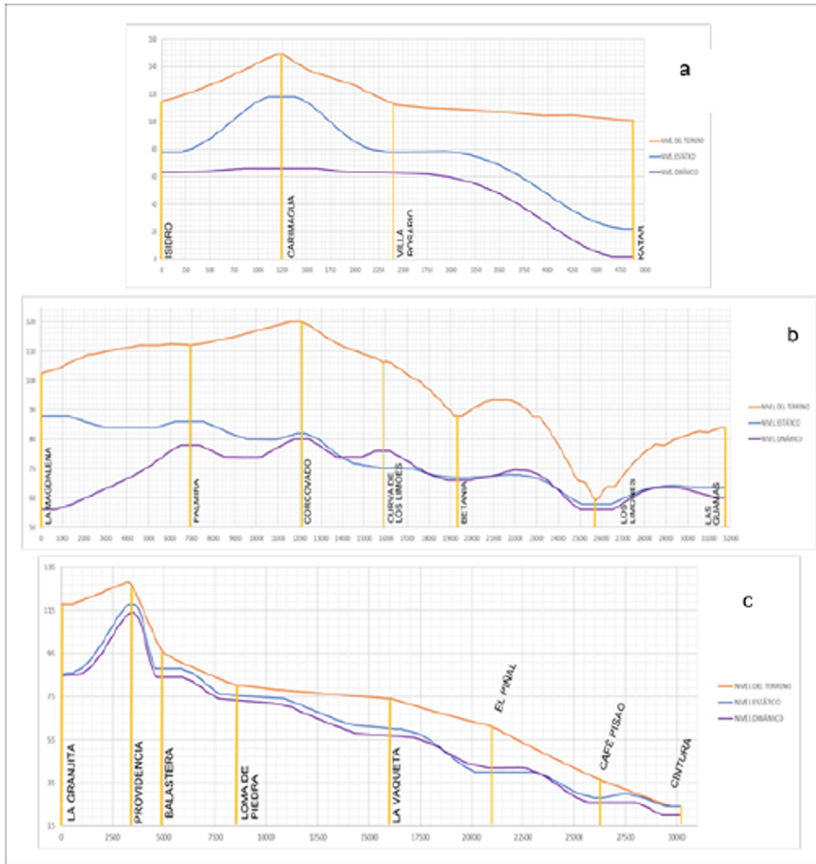
- Perfil 1: Comprende los pozos Isidro, Carimagua, Villa Rosario y Katar; pertenecientes a la zona urbana del municipio de Pueblo Nuevo (figura 5a).

- Perfil 2: Se encuentran los pozos La Magdalena, Palmira, Corcovado, Curva de Los Limones, Betania, Los Limones y Las Guamas. Estos pozos hacen parte de la zona rural (figura 5b).
- Perfil 3: Lo componen los pozos rurales La Granjita, Providencia, Balastera, Loma de Piedra, La Vaqueta, El Piñal, Café Pisao y Cintura (figura 5c).

Los perfiles de depresión permiten observar principalmente las variaciones del nivel dinámico con respecto al nivel estático. A través de los cambios de pendiente del perfil de depresión se puede evidenciar el régimen de explotación al que puede estar sometido un pozo. La pendiente del perfil de depresión es inversamente proporcional al coeficiente de permeabilidad, si los demás factores permanecen constantes. Cuanto mayor es la permeabilidad, más plano es el perfil, y viceversa. Por otro lado, los perfiles de depresión complementan la información obtenida por medio de las curvas isopiezas. La distancia entre las curvas isopiezas aumenta con la permeabilidad, y al revés, cuando esta última disminuye, las curvas isopiezas se aproximan (Castany, 1999).

En los perfiles de depresión se evidencia la diferencia entre los niveles estáticos y dinámicos; es de esperarse entonces que el nivel dinámico esté más bajo que el estático debido a la explotación del agua subterránea. En los pozos de la zona urbana (figura 4a) la diferencia entre los niveles es considerable, teniendo en cuenta que los pozos están sometidos a un régimen de explotación mayor que los pozos de la zona rural. Esto provoca cambios bruscos de pendiente en la superficie piezométrica y disminuye la permeabilidad del acuífero. La diferencia entre el nivel estático y dinámico es menor en los pozos de la zona rural porque la extracción es puntual y el tiempo de recuperación es menor. Por otro lado, hay zonas donde los niveles coinciden o el estático es mayor que el dinámico, lo cual hace suponer la existencia de una zona de recarga natural del acuífero, cosa por cierto muy factible, ya que son zonas cercanas a los cuerpos de agua superficial influentes. En el perfil 4c, se observa que en el pozo Cintura el nivel estático es mayor que el nivel del terreno, lo cual es fácil de comprobar en campo, observando que el agua emana libremente del pozo cuando no se está bombeando. Luego, a unos pocos metros del pozo, se encuentra la ciénaga de Cintura, otro indicio de que esta es la zona donde el acuífero descarga o drena.

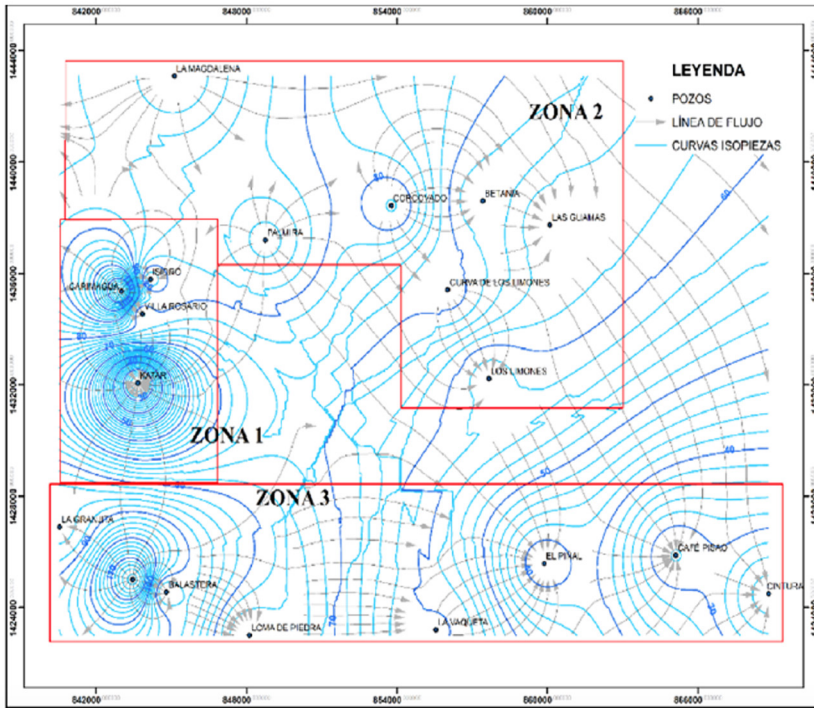
Figura 4. Perfiles de depresión.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la definición de la red de flujo y la aplicación de la Ley de Darcy, se puede estimar el gradiente hidráulico, la conductividad hidráulica y la transmisividad en el acuífero. Estos parámetros hidráulicos permiten una mejor comprensión del comportamiento hidrodinámico del acuífero.

Figura 5. Zonificación de la red de flujo.



Fuente: Elaboración propia.

Para la Zona 1 (figura 5), se calcularon los parámetros hidráulicos: gradiente hidráulico (i), conductividad hidráulica (K) y transmisividad (T); con base en los caudales de producción de cada pozo. Para el espesor del acuífero (e) se utilizó la profundidad promedio de los pozos en esa zona. Para el cálculo se escogieron los tubos de flujo más representativos, es decir, aquellos que ofrecen una mejor información acerca del comportamiento hidrodinámico del acuífero. Se establecieron estaciones a lo largo del tubo de flujo, en las cuales se midieron los parámetros morfológicos de la red de flujo, como la anchura del tubo de flujo (b) y su longitud (l). La diferencia entre las curvas isopiezas (Δh) es igual a 2.0 m. Para cada tubo de flujo se utiliza el caudal (Q) del pozo del cual sale el flujo. Posteriormente, se calculó la sección del acuífero (A) atravesada por el flujo, multiplicando la anchura del tubo de flujo (b) por el espesor del acuífero (e). El gradiente hidráulico se calcula dividiendo la diferencia de cota entre las curvas isopiezas (Δh)

entre la longitud del tubo de flujo (l). La conductividad hidráulica se calculó a través de la Ley de Darcy:

$$K = \frac{Q}{A \cdot i}$$

Ecuación 1 - Ley de Darcy

Finalmente, se calculó la transmisividad del acuífero multiplicando la conductividad hidráulica (K) por el espesor del acuífero (e).

Para las zonas 2 y 3, no se conocen valores de caudales de producción de los pozos, sin embargo, se conoce la transmisividad de algunos de ellos. Estos datos se obtuvieron del estudio realizado por la CVS – UPB (CVS - UPB Montería, 2009). Conociendo la transmisividad (T_2) de una estación 2 en un tubo de flujo y como el caudal (q) que fluye entre dos líneas de corriente es constante, se puede calcular en una estación 1 ($q_1 = q_2$); según la Ley de Darcy, se tiene que:

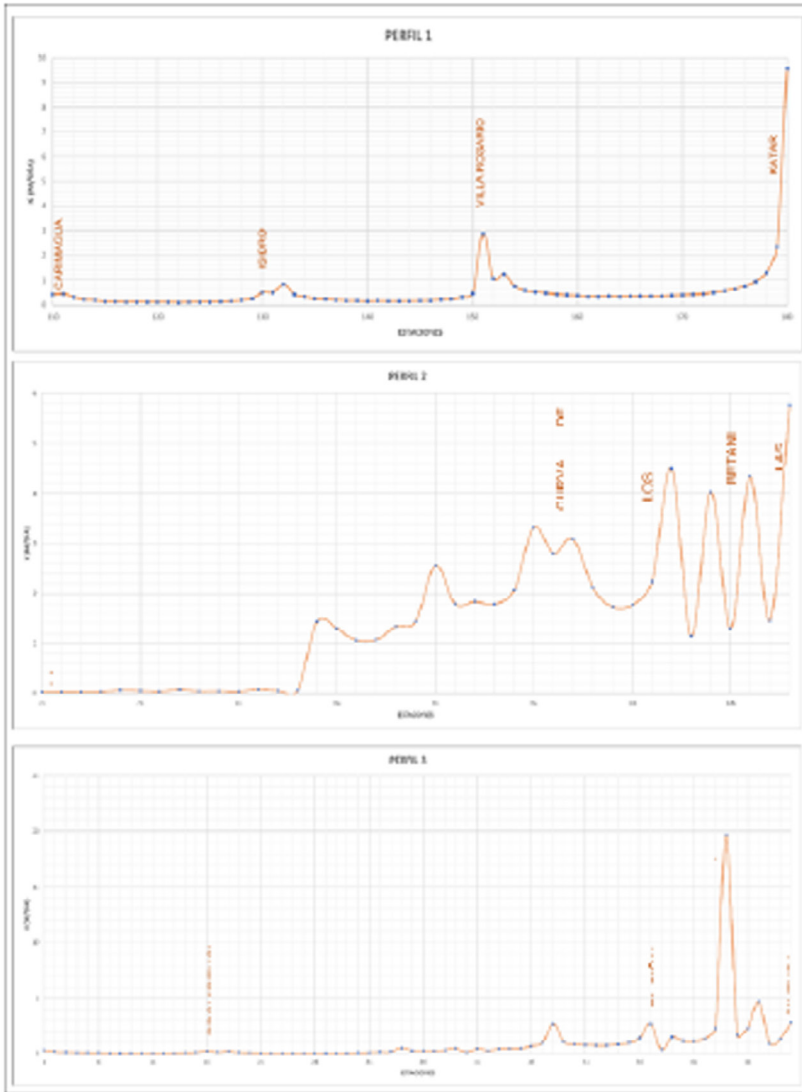
$$q = q_2 = T_2 \cdot b_2 \cdot i_2$$

Ecuación 2 – Caudal de transmisividad

Donde b_2 es la anchura del tubo de flujo en el punto 2, i_2 , el gradiente hidráulico en el mismo punto. De esta manera, se pudo calcular la conductividad hidráulica en cualquier otra estación según la Ecuación 1 y la transmisividad, multiplicando la conductividad (K) por el espesor del acuífero (e) (Sanz, 2013).

Con los datos de conductividad hidráulica calculados, se graficó en cada zona la variación de este parámetro, donde se observan las variaciones de la permeabilidad en el acuífero (figura 6). La transmisividad tiene un comportamiento similar al de la conductividad hidráulica, ya que son directamente proporcionales.

Figura 6. Conductividad Hidráulica para cada zona.



Fuente: Elaboración propia.

Graficando los valores obtenidos de conductividad hidráulica se puede observar que en las estaciones cercanas a los pozos que están siendo explotados se da un aumento de la conductividad hidráulica. Además, comparando las curvas isopiezas con los valores de permeabilidad calculados, se puede observar que las variaciones de permeabilidad se

traducen en cambios de pendiente. Cuanto mayor es la permeabilidad, más plano es el perfil, e inversamente.

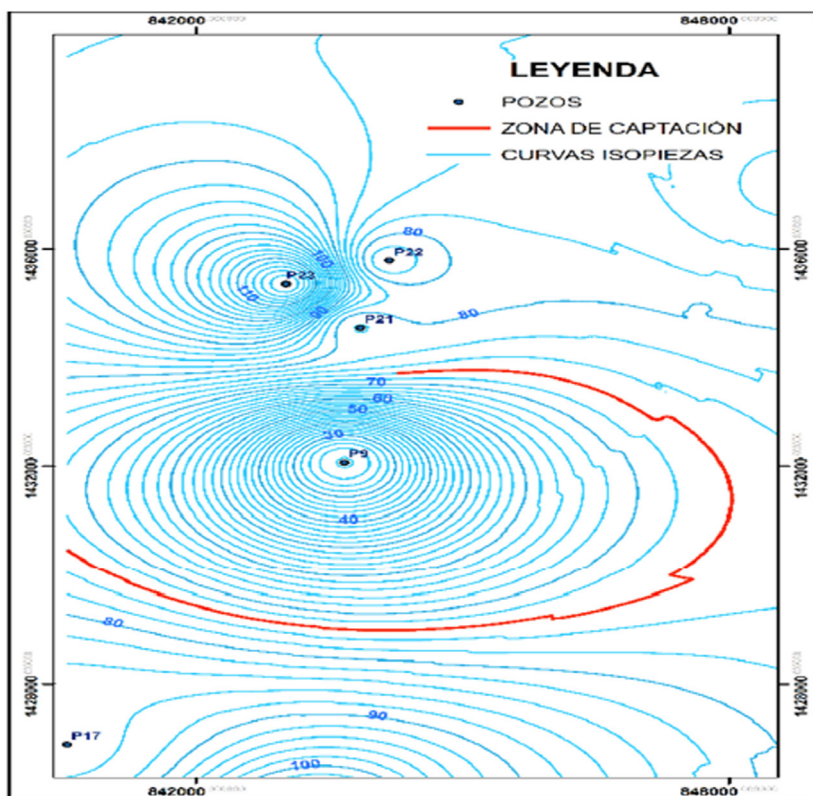
La distancia entre las curvas isopiezas aumenta con la permeabilidad. Y al revés, cuando esta última disminuye, las curvas isopiezas se aproximan. El gradiente hidráulico y, por consiguiente la pendiente del perfil de depresión, es inversamente proporcional a la conductividad hidráulica, a caudal constante. La zona con más baja permeabilidad se presenta en los pozos Palmira y Corcovado, donde el valor de la transmisividad es bajo y el nivel de descenso del nivel estático, alto. Además, corresponde a las zonas de flujo invertido.

Bajo las condiciones actuales de bombeo en la zona urbana, las direcciones normales de la trayectoria del flujo son afectadas en respuesta al bombeo de los pozos. Estos cambios se evidencian en la superficie piezométrica, dado que las líneas reducen la distancia entre sí, indicando un cambio brusco de la pendiente de la superficie del agua y ocasionando que los pozos en las zonas aledañas bajen su nivel de producción, ya que, al bombear un pozo, a su alrededor se crea una zona de captación (figura 7) y, al observar las líneas isopiezas se evidencia la creación de esa zona alrededor del pozo; por tanto, si el bombeo es más intenso en ese pozo, la zona de captación es mayor.

Se puede decir que el movimiento de las aguas subterráneas en el acuífero se da en el sentido occidente – oriente en el área de estudio; considerando las líneas de flujo trazadas y las cotas de la superficie piezométrica, que disminuyen en ese sentido. Del mismo modo, el perfil del terreno evidencia lo mismo, ya que disminuye la altura topográfica en esa misma dirección.

Se recomienda monitorear con mayor frecuencia las fluctuaciones de los niveles de los pozos y registrar dicha información en bases de datos de fácil acceso para su posterior utilización en otros proyectos. Además, establecer un plan de gestión del recurso hídrico subterráneo en el municipio de Pueblo Nuevo, teniendo en cuenta que es la principal fuente de abastecimiento de agua en esa región, con el fin de proteger al acuífero de la contaminación y establecer una explotación racional de las aguas subterráneas.

Figura 7. Zona de captación.



Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones finales

Conociendo las características hidrogeológicas del acuífero, se puede planificar y realizar una gestión integral del recurso (GIRH), su explotación debe estar de acuerdo con el volumen y la calidad que este tenga. La demanda que se requiera para los diferentes usos (doméstico, agropecuario, industrial, entre otros) debe ajustarse a estas dos condiciones para que sea sostenible. El acuífero estudiado, está en una zona donde no hay escurrimientos superficiales y existen muchos asentamientos rurales, por lo que la importancia de su explotación debe

ser un asunto prioritario para la autoridad ambiental, en este caso, la Car CVS, así como para el municipio de Pueblo Nuevo.

Referencias

- A. Jones, J. A. (2011). Groundwater in Peril. En J. A. A. Jones, *Sustaining Groundwater Resources. A Critical Element in the Global Water Crisis*. Springer.
- Castany, G. (1999). *Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas*. Barcelona: Editorial Omega.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1987). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Custodio, E., del Carmen Cabrera, M., Poncela, R., Puga, L. O., Skupien, E., & del Villar, A. (2016). Groundwater intensive exploitation and mining in Gran Canaria and Tenerife, Canary Islands, Spain: Hydrogeological, environmental, economic and social aspects. *Science of the Total Environment*, 425-437.
- CVS - UPB Montería. (2009). *Formulación del Modelo Hidrogeológico Numérico en estado Estacionario y Transitorio de los municipios de Pueblo Nuevo y Planeta Rica, Departamento de Córdoba*. Montería.
- Donado, L. D. (15 de 06 de 2000). Evaluación de las condiciones de explotación del agua subterránea en la zona de recarga del acuífero Morroa, Departamentos de Sucre y Córdoba, Colombia.
- Endo, T. (2019). A Fifty-Year Experience of Groundwater Governance: The Case Study of Gakunan Council for Coordinated Groundwater Pumping, Fuji City, Shizuoka Prefecture, Japan. *Water*, 1-17.
- Liu, J., Cao, G., & Zheng, C. (2011). Sustainability of Groundwater Resources in the North China Plain. En J. A. A. Jones, *Sustaining Groundwater Resources. A Critical Element in the Global Water Crisis*. Springer .
- Morris, B. L., Lawrence, A. R., Chilton, P. J., Adams, B., Calow, R. C., & Klinck, B. A. (2003). *Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management* (Vol. 3). New York: United Nations Environment Programme.
- National Research Council. (2000). *Watershed management for potable water supply: assessing the New York City strategy*. New York: National Academies Press.

- Nigwal, D., & Dev, P. (2019). Hydrogeological Investigation of Ground Water Levels Variation around Meghnagar Area, Jhabua Distict, Madhya Pradesh, India. *Bulletin of Pure & Applied Sciences-Geology*, 206-217.
- Sanz, E. (2013). *Hidráulica Subterránea*. Madrid, España. Garceta Grupo Editorial.
- Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá. (09 de 2017). Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>
- Vélez O., M. V., Ortíz P., C., & Vargas Q., M. C. (2011). *Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico*. Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- World Water Assessment Programme (WWAP) . (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: water in a changing world*. UNESCO.