

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PERFIL GEOLÓGICO EN FORMATO
DWG A PARTIR DE UN PROYECTO GIS Y DESARROLLO DE EJERCICIOS
PARA DETERMINAR EL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA MEDIANTE EL USO
DE UNA RED DE FLUJO

ZULMA KARINA HERNÁNDEZ DUARTE

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2020

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PERFIL GEOLÓGICO EN FORMATO
DWG A PARTIR DE UN PROYECTO GIS Y DESARROLLO DE EJERCICIOS
PARA DETERMINAR EL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA MEDIANTE EL USO
DE UNA RED DE FLUJO

ZULMA KARINA HERNÁNDEZ DUARTE

Trabajo de monitoria del área de geología
para optar por el título de ingeniera civil

Director:

Ing. Esp. GUILLERMO FLECHAS FAJARDO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2020

Nota de aceptación:

Ing. Esp. Guillermo Flechas Fajardo
Director de monitoria

Jurado 1

Jurado 2

Tunja (Boyacá), 03 de marzo de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi hermosa hija Nicolle Rodríguez quien es mi fuerza para seguir adelante, al ser el pilar de mi vida.

A mis padres Graciela Duarte y Froilán Hernández por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para brindarme la oportunidad de hacer esta maravillosa carrera.

A mi novio Oscar Mancipe por estar a mi lado ayudándome, apoyándome y motivándome en los momentos difíciles, además porque fuimos compañeros en esta fase de la vida.

A mi tía Rosalba Duarte y mis hermanos Cesar Hernández y Gina Hernández quienes fueron contribuyentes al extenderme su mano cuando lo necesitaba.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por mi vida, por dejarme levantar cada día y poder lograr los objetivos propuestos hasta esta instancia, a mi familia en la que siempre he encontrado un apoyo incondicional al guiarme por este camino e impulsándome a ser la persona que soy hoy día.

A mi novio por toda su colaboración durante estos años, fuimos un gran equipo de trabajo con quien tuve la oportunidad de dar cada paso durante todo el proceso académico, te agradezco por apoyarme y además por siempre recordarme lo capaz que soy para realizar lo que me proponga.

Al ingeniero Guillermo Flechas Fajardo, por la oportunidad que me dio al asignarme como monitora de la asignatura, además por todos los conocimientos aportados durante estos años, la orientación, correcciones y aclaraciones que fueron de gran utilidad para el desempeño y cumplimiento de mis funciones.

A la Universidad Santo Tomás y a todos los docentes con los que tuve la fortuna de encontrarme durante mi formación académica y de los cuales obtuve los conocimientos y aprendizaje necesarios para enfrentar la vida profesional.

CONTENIDO

pág.

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1 OBJETIVOS | 3 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 2 PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR UN PERFIL GEOLÓGICO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE QGIS Y AUTOCAD A PARTIR DE SHAPEFILE´S | 4 |
| 2.1 INICIAR EL PROGRAMA QGIS | 4 |
| 2.2 EXPORTAR EL ARCHIVO SHAPEFILE A DXF | 5 |
| 2.3 CREACIÓN PERFIL GEOLÓGICO EN AUTOCAD | 6 |
| 2.3.1 Abrir y cargar el archivo DXF. | 6 |
| 2.3.2 Ajustes de capas y propiedades para realizar el perfil. | 8 |
| 2.3.3 Reproducción del boceto del perfil geológico..... | 10 |
| 3 DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, GRADIENTE HIDRÁULICO Y CAUDAL A PARTIR DE UNA RED DE FLUJO | 15 |
| 3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE FLUJO | 16 |
| 3.2 APLICACIÓN DE LA RED DE FLUJO..... | 19 |
| 4 CONCLUSIONES..... | 21 |
| REFERENCIAS | 23 |
| ANEXOS..... | 27 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura 1. Mapa geológico en el programa QGIS y las capas requeridas | 4 |
| Figura 2. Barra de herramienta (menú proyecto) | 5 |
| Figura 3. Selección exportar proyecto a DXF | 5 |
| Figura 4. Ventana exportar DXF | 6 |
| Figura 5. Índice de AutoCAD para abrir archivo DXF | 7 |
| Figura 6. Sin visualización del archivo DXF en AutoCAD | 7 |
| Figura 7. Visualización del archivo DXF en AutoCAD..... | 8 |
| Figura 8. Capas del archivo exportado | 8 |
| Figura 9. Creación de capas nuevas | 9 |
| Figura 10. Comprobación de la escala del mapa geológico en QGIS y AutoCAD... 9 | |
| Figura 11. Línea de sección y cota de longitud de perfil geológico | 10 |
| Figura 12. Copia de línea de sección..... | 11 |
| Figura 13. Curvas de nivel con sus respectivas alturas..... | 11 |
| Figura 14. Proyección de curvas de nivel | 12 |
| Figura 15. Construcción del perfil topográfico | 13 |
| Figura 16. Proyección de contactos geológicos..... | 13 |
| Figura 17. Ubicación de la georreferenciación de los tres sondeos unidos con líneas rectas..... | 16 |
| Figura 18. Trazo de líneas equipotenciales y determinación de la distancia horizontal (DH) | 17 |
| Figura 19. Esquema de la dirección de flujo del acuífero en la vereda San José.. | 18 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|------|
| Anexo A. Boceto a mano del perfil geológico | 27 |
| Anexo B. Perfil topográfico con la proyección de contactos geológicos | 27 |
| Anexo C. Tabla con los datos de los rumbos, espesores y buzamientos del perfil geológico..... | 28 |
| Anexo D. Construcción de perfil geológico | 29 |
| Anexo E. Perfil geológico con sus respectivos colores y códigos..... | 29 |
| Anexo F. Explicación de cómo obtener la dirección de buzamiento de la falla, (si la línea de sección corta una falla). | 30 |
| Anexo G. Formato de presentación de perfil geológico terminado..... | 31 |

GLOSARIO

ACUÍFERO: Rocas permeables que poseen intersticios intercomunicados a través de los cuales se mueve el agua con relativa facilidad bajo condiciones naturales de campo¹.

AGUA SUBTERRÁNEA: las aguas subterráneas son las que se encuentran bajo la superficie del terreno o dentro de los poros o fracturas de las rocas, o dentro de las masas de regolito; en zonas húmedas a metros de profundidad, en desiertos a cientos de metros².

AGUA SUPERFICIAL: agua depositada o que fluye sobre la superficie terrestre, en forma de lagos, reservorios, riachuelos o ríos³.

ALJIBE: excavación poco profunda, de gran diámetro (> 60 cm), revestida y abierta en el fondo. Perforada con métodos manuales. Normalmente capta los horizontes acuíferos más superficiales⁴.

ARCHIVO DWG: el formato de AutoCAD más común es el formato "drawing", con una extensión de archivo que termina en *DWG*. Solamente algunas aplicaciones de software pueden leer este formato, el cual es predeterminado cuando se guardan archivos en AutoCAD⁵.

ARCHIVO DXF: un archivo con la extensión. DXF es un archivo de formato de intercambio de dibujos desarrollado por Autodesk como un tipo de formato universal para almacenar modelos CAD. La idea es que, si el formato de archivo es compatible con varios programas de modelado 3D, todos pueden importar/exportar los mismos documentos con facilidad⁶.

ARCHIVO SHAPE: se trata de un formato vectorial que guarda la localización de elementos geográficos y atributos a ellos asociados, pero no es capaz de almacenar relaciones topológicas. Estos elementos geográficos se pueden representar a partir de una capa de tipo punto, línea o polígono. Un shapefile se compone de varios archivos informáticos, sin los cuales no podríamos visualizarlo

¹ FLECHAS FAJARDO, Guillermo. Hidrogeología. [Diapositiva]. Tunja: Universidad Santo Tomás, 2016. 43 diapositivas, color, 90 min. [consultado: 18 febrero 2020].

² DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros: aguas subterráneas. [En línea]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2017., p. 478. [Consultado: 01 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/353/aguassubterraneeas.pdf>

³ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Glosario. [Sitio web]. Bogotá: SGC. [Consultado 25 enero 2020]. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/AtencionAlCiudadano/Paginas/Glosario.aspx>.

⁴ Ibid., s.d.

⁵ MICHAELIS, Christopher. Uso de formatos de archivo AutoCAD con bibliotecas de código abierto. [En línea]. IBM. 2012., s.d. [Consultado: 20 enero 2020]. Disponible en: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/os-autocad/index.html>

⁶ TECNONAUTAS. ¿Qué es un archivo DXF y como se abre uno? [En línea]. S.d. [consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://tecnonautas.net/que-es-un-archivo-dxf-y-como-se-abre-uno/>.

en un software GIS, como el SHP que almacena las entidades geométricas de los objetos⁷.

BUZAMIENTO: es el ángulo de inclinación o ángulo diedro comprendido entre el plano de la roca o estructura y el plano horizontal. Buzamiento es la línea de máxima pendiente de un estrato. La dirección del buzamiento siempre es perpendicular al rumbo o dirección⁸.

BUZAMIENTO APARENTE: es el ángulo que forma el plano con la horizontal medido en un plano vertical, según una dirección cualquiera que no sea perpendicular a la línea de dirección del plano. Su valor angular siempre es menor que el correspondiente al buzamiento real. Forma un ángulo menor de 90° con el rumbo⁹.

CAUDAL: comúnmente conocido como medida de flujo, es la cantidad de agua que fluye a través de una conducción natural o artificial en una unidad de tiempo (l/s, m³/día, gmp)¹⁰.

CONTACTO GEOLÓGICO: es una línea que separa las rocas de naturaleza diferente, o dos unidades litológicas. El análisis de los contactos geológicos es de gran importancia para el levantamiento de mapas geológicos, los contactos litológicos determinan además fallas, discordancias, concordancias, yacimientos, vetas mineralizadas, etc.¹¹.

CUERPOS DE AGUA: son las aguas corrientes superficiales y subterráneas, lagos, lagunas, ciénagas, manantiales, humedales, embalses de formación natural o artificial, chucuas o madre viejas o antiguos cauces con flujos estacionales, esteros, bahías, lagunas costeras, golfos y las aguas marinas¹².

CURVAS DE NIVEL: son líneas isométricas, es decir líneas que unen los puntos de la misma altitud con respecto a un plano horizontal, en el caso de mapas topográficos regionales se hallan referidos al nivel del mar. Las curvas de nivel

⁷ ALONSO, Diego. ¿Qué es y cómo crear un shapefile en ArcGIS, QGIS y gvSIG? [Sitio web]. mappingGIS. [Consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2014/12/como-crear-un-shapefile-con-arcgis-qgis-y-gvsig/>

⁸ BALBÍN VICH, Rosa y GÓMEZ ORTIZ, David. Problemas de geología estructural: orientación y proyección de planos en el espacio. [En línea]. 2010, noviembre-diciembre, vol. 2, nro. 1. 95-123. [consultado: 18 febrero 2020]. ISSN: 1989-6557. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/10015/1/134-281-1-PB.pdf>.

⁹ SUAREZ BURGOA, Lugder. El buzamiento aparente. [En línea]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2017., p 1. [consultado: 25 enero 2020]. Disponible en <http://geomecanica.org/didacticMat/buzamientoAparente/index.html>

¹⁰ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. Cit., s.d.

¹¹ DÁVILA BURGA, Jorge. Diccionario geológico. [En línea]. Callao: Ingemmet. 2011., p. 204. [Consultado: 14 enero 2020]. Disponible en <http://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf>.

¹² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Hidrología. [Sitio web]. Bogotá: IDEAM, 2014. [consultado: 05 febrero 2020] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>.

permiten representar en un plano las equidistancias determinadas entre dos planos: el plano de referencia (generalmente el nivel del mar) y el plano donde se ubica la curva¹³.

ESCALA: es la relación existente entre las dimensiones representadas en un mapa o carta y las dimensiones reales del terreno. Las escalas pueden ser de dos tipos: numérica y gráfica¹⁴.

ESTRUCTURA GEOLÓGICA: formas geológicas características producto de eventos de deformación de la corteza terrestre¹⁵.

FALLAS: desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla". Las fallas son producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogénesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas. Los esfuerzos pueden ser: tensionales, compresionales, verticales (en ambos sentidos) o inclinados, dando lugar a diversos tipos de fallas¹⁶.

FORMACIÓN GEOLÓGICA: es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. Las cuales poseen una facies, cuencas de deposición y fuentes de aportes de materiales semejantes. Algunas formaciones tienen gran extensión territorial. La formación representa la unidad litogenética fundamental en la clasificación local y regional de las rocas. Determina también la ubicación exacta en la columna geológica de la región y por lo tanto la edad de las rocas¹⁷.

GEOLOGÍA: es la ciencia que estudia la tierra, en todos sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella tanto interna como externamente a través del tiempo geológico. Para una mejor comprensión de todos los fenómenos que se realizan en la tierra, la geología hace uso de muchas otras ciencias dando origen a las divisiones de la geología¹⁸.

GEORREFERENCIACIÓN: es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial. Este proceso es determinado con una relación de posiciones entre elementos espaciales en ambos sistemas, de manera que, conociendo la posición en uno de los sistemas de coordenadas es posible obtener la posición homóloga en el otro sistema. La georreferenciación se utiliza frecuentemente en los sistemas de información geográfica (SIG) para relacionar información vectorial e imágenes ráster de las que se desconoce la

¹³ DÁVILA BURGA. Op. cit., p. 229.

¹⁴ Ibid., p. 300.

¹⁵ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. Cit., s.d.

¹⁶ DÁVILA BURGA. Op. cit., p. 329

¹⁷ Ibid., p. 349.

¹⁸ Ibid., p. 369.

proyección cartográfica, el sistema geodésico de referencia, o las distorsiones geométricas que afectan a la posición de los datos¹⁹.

GRADIENTE HIDRÁULICO: se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua²⁰.

HIDROGEOLOGÍA: rama de la geología que estudia las aguas subterráneas y especialmente su formación²¹.

LEY DE DARCY: establece la proporcionalidad existente entre el caudal que circula a través de un medio poroso por unidad de superficie y el gradiente hidráulico responsable del flujo. La constante de proporcionalidad está representada por el coeficiente de permeabilidad del material frente al fluido circulante (en unas condiciones dadas)²².

LÍNEA EQUIPOTENCIAL: curvas que unen puntos con igual potencial hidráulico (en la sección vertical o en la horizontal) y, por tanto, representan la altitud o cota absoluta de la superficie freática (o de la superficie piezométrica en general)²³.

LÍNEAS DE FLUJO: que representan, de forma idealizada, el itinerario seguido por las partículas de agua en su movimiento a través del medio saturado²⁴.

MACIZO ROCOSO: conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico²⁵.

MAPA GEOLÓGICO: es la representación de los diferentes tipos de materiales geológicos (rocas y sedimentos) que afloran en la superficie terrestre o en un determinado sector de ella, y del tipo de contacto entre ellos. En el mapa geológico las rocas pueden diferenciarse de acuerdo con su tipo (ígneas, metamórficas o sedimentarias) o composición (granitos, pizarras, areniscas, etc.) y también de

¹⁹ DÁVILA, Francisco y CAMACHO, Elena. Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. "Propuesta Metodológica". [En línea]. Cantabria: Universidad de Cantabria. 2012., p. 1. [01 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CTC-Ibercarto-V-Georreferenciacion.pdf>

²⁰ F. REBOLLO, Luis. Hidrogeología. [En línea]. Madrid: Universidad de Alcalá, [Sin fecha]. Tema 4. Movimiento de agua en el subsuelo. P. 6. [Fecha de consulta: 01 febrero 2020]. Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-67044/TAB42351/T4-Movimiento%20del%20agua%20en%20el%20subsuelo.pdf

²¹ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. Cit., s.d.

²² GLOSARIO DE TÉRMINOS HIDROGEOLÓGICOS. Op. cit., p. 101.

²³ F. REBOLLO. Op. Cit., p. 12.

²⁴ Ibid., p. 12.

²⁵ RODRÍGUEZ, Javier. Características del macizo rocoso. [En línea]. Oviedo, España: Universidad de Oviedo. 2007., pp. 1-14. [Consultado: 01 de febrero 2020] Disponible en: https://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_MACIZOS_ROCOSOS.

acuerdo con su edad (cámbricas, paleozoicas, etc.) Para distinguir las rocas y los sedimentos se utilizan colores y rastras. En un mapa geológico también se refleja las estructuras (pliegues, fallas, etc.) que afectan a los materiales²⁶.

NIVEL PIEZOMÉTRICO: el nivel hidrostático de una roca, varía según la cantidad de agua que recibe en su seno. Este nivel puede ser superior (en épocas de lluvia) o inferior (en épocas de sequía)²⁷.

PERFIL GEOLÓGICO: corte transversal de un terreno en el cual se observa las estructuras geológicas y la litología. Los perfiles o secciones o cortes geológicos son de suma importancia en los levantamientos geológicos y en las interpretaciones estructurales para la construcción de túneles, explotación de yacimientos mineros y petrolíferos, etc.²⁸.

PERFIL TOPOGRÁFICO: es el corte transversal de una región de la superficie terrestre donde se muestran todos los accidentes topográficos. La escala vertical normalmente se exagera con el objeto de mostrar mejor los accidentes del paisaje²⁹.

PLIEGUES: son manifestaciones de la deformación dúctil en la superficie de la tierra, y se forman en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas como respuesta a los esfuerzos aplicados asociados con movimientos de placas y formación de cinturones montañosos. Su geometría es variable y refleja la reología de la roca, las condiciones de deformación y el radio de la deformación³⁰.

POZO: es una perforación o excavación cuasi vertical o vertical, que corta la zona de agua freática. Un pozo artesiano se da donde el agua captada a profundidad se encuentra a una presión hidráulica suficiente para obligarla a subir hasta rebasar la superficie del terreno³¹.

RED DE FLUJO: mallas formadas por dos familias de curvas, una que muestra la dirección del flujo y la otra que muestra la superficie o tabla de agua, conocidas como líneas equipotenciales, las cuales se interceptan formando ángulos rectos. Las redes de flujo nos permiten determinar la dirección del agua subterránea³².

RELIEVE: son las múltiples formas que presenta la superficie del globo terrestre, debido a los factores erosivos y sedimentarios, así como a los tectónicos, a lo que también se denomina paisaje o geoforma, los relieves se refieren tanto a las

²⁶ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. Cit., s.d.

²⁷ DÁVILA BURGA. Op. cit., p. 586.

²⁸ Ibid., p. 632.

²⁹ Ibid., p. 633.

³⁰ BALBÍN VICH, Rosa y GÓMEZ ORTIZ, David. Problemas de geología estructural: pliegues. [En línea]. 2010, noviembre-diciembre, vol. 2, nro. 1. 95-123. [consultado: 05 febrero 2020]. ISSN: 1989-6557. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/10024/1/139-286-2-PB.pdf>

³¹ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. cit., s.d.

³² FLECHAS FAJARDO, Guillermo. Op. cit., p. 40.

geoformas emersas o continentales como las sumersas o fondos marinos y lacustres³³.

RUMBO: dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur³⁴.

TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA: la tabla reúne la escala global de términos cronoestratigráficos (unidades materiales tiempo-roca) y sus correspondientes equivalentes geocronológicos (los intervalos temporales: eón, era, periodo, época, edad). Asimismo, define la base de todas las unidades cronoestratigráficas³⁵.

UNIDADES GEOLÓGICAS: es un cuerpo de roca que ha sido definido y reconocido con base en sus propiedades litológicas y relaciones estratigráficas. Una unidad litoestratigráfica puede consistir de rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas³⁶.

ZONA DE RECARGA: es la zona de infiltración a través de la cual se abastece de agua el acuífero³⁷.

³³ DÁVILA BURGA. Op. cit., p. 696.

³⁴ Ibid., p. 715.

³⁵XIX SIMPOSIO SOBRE ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA. (s.d. 11-16, julio, 2016: Manresa, España). [En línea]. Cronoestratigrafía global vs. escalas regionales en la enseñanza de la geología: un ejemplo para el ordovícico del área polar perigondwánica. s.d., 2016. 16 p. [Consultado: 21 enero 2020] Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/188183/1/CRONOESTRATIGRAF%C3%8DA%20GLOBAL_GutierrezMarco.pdf

³⁶ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Op. cit., s.d.

³⁷ FLECHAS FAJARDO, Guillermo. Op. cit., p. 22.

RESUMEN

El presente documento es una guía que se desarrolló en calidad de monitora de la asignatura de geología de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, donde se describe el proceso para realizar un perfil geológico a partir de un proyecto GIS a un archivo digital DWG, usando como herramienta los softwares QGIS, AutoCAD y archivos shapefile's, se adjunta un video tutorial explicativo; además, del procedimiento para resolver ejercicios de hidrogeología al construir una red de flujo con el propósito de calcular el gradiente hidráulico, la dirección de flujo y el caudal.

Al participar en cada una de las actividades propuestas en la asignatura de geología, se concluye que fue una experiencia satisfactoria al contribuir con la orientación de los estudiantes, igualmente fue provechosa esta oportunidad al fortalecer y adquirir conocimientos en el proceso.

Palabras clave: acuífero, agua subterránea, buzamiento aparente, curvas de nivel, línea de sección, perfil geológico, red de flujo.

ABSTRACT

This following document is a guide in which it was developed by myself as a monitor in the subject of geology at Santo Tomas University in Tunja's headquarters, it describes the process to make a geological profile starting up from a GIS project to a DWG digital file. Using as main tools QGIS, AutoCAD, and Shapefile software's, it is attached an explanatory video. Besides you will find a procedure that helps you solving hydrogeology exercises, to the building a flow network with the purpose of calculating the hydraulic gradient, its flow direction, among others.

By participating in each of every proposed activity in Geology, it is concluded that it was a successful implementation by contributing on the guidance of the students. It was likewise useful because it helped to strengthen and acquire more knowledge in the process.

Keywords: aquifer, underground water, apparent dip, contour lines, section line, geological profile, flow network.

INTRODUCCIÓN

La función desempeñada por un monitor está basada en el apoyo al docente y en la orientación a los estudiantes para la ejecución de proyectos y actividades programadas en los contenidos temáticos del curso de geología, en los cuales se participó y se desarrolló mediante el transcurso de la monitoria, los siguientes temas: elaboración de mapa geológico de un municipio de Boyacá en el programa QGIS, manejo de la estereoneta (falsilla de wulff), realización del perfil geológico, estudio del macizo rocoso, desarrollo de ejercicios de hidrogeología (red de flujo), explicación de ejercicios de geología estructural. Ayudando además en la búsqueda de herramientas que surgen de la necesidad de aportar un material didáctico a los estudiantes para el desarrollo de las actividades y sirva de complemento para el aprendizaje y enseñanza de manera autónoma, siendo de mucha importancia en la competencia profesional.

Dentro de las herramientas que se desarrollaron para alcanzar el objetivo de la monitoria, se estableció el proceso para la pasar el perfil geológico a AutoCAD el cual está elaborado previamente a mano, basado en el mapa trabajado en clase, dicho perfil se obtiene de la línea de sección que corresponde al eje de la obra a ejecutar (vía, túnel, viaducto, etc.), de donde se extrae la información topográfica, los puntos de contacto entre formaciones geológicas y estructuras (fallas y pliegues). De igual forma se desarrollaron ejercicios de construcción de redes de flujo que permite determinar la dirección del agua subterránea, el cálculo de la cantidad de caudal requerido para suministrar el recurso a una población y según ANLA³⁸ las posibles conexiones hidráulicas entre acuíferos y cuerpos de agua, etc.

El análisis geológico de una zona o terreno son necesarios para el desarrollo de proyectos de ingeniería, puede presentar complejidades geológicas donde se requiere la construcción de perfiles que permitan de acuerdo Colegial³⁹, entender mediante el reconocimiento del relieve, la disposición en profundidad de las unidades y estructuras geológicas logrando así la interpretación de lo representado en los mapas. Por otro lado, la hidrogeología al estudiar el flujo de agua superficial y subterránea, nos ayuda a desarrollar proyectos que permiten satisfacer las

³⁸ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía de criterios técnicos: Aspectos generales a tener en cuenta al realizar la evaluación de los estudios hidrogeológicos y permisos asociados. [En línea]. Bogotá: ANLA. 2020. Actualizado el 23 de junio de 2016. [Consultado: 21 enero 2020]. Disponible en: http://portal.anla.gov.co:93/sites/default/files/Comunicaciones/sgc/licenciamiento/guia_criterios_tecnicos_1.pdf

³⁹ COLEGIAL, J. D.; GÓMEZ, S. Y ROJAS, N. Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca de la quebrada río sucio, municipio de tona, Santander, orientados a definir un modelo hidrogeológico conceptual. Boletín de geología [En línea]. 2006, junio-diciembre, vol. 28, nro. 2. 49-61. [consultado: 21 enero 2020] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349631992003.pdf>.

necesidades de poblaciones vulnerables donde se requiere del servicio hídrico, contribuyendo además en la implementación de sistemas de riego en zonas agrícolas mitigando el efecto de las sequías en las plantaciones, así como el impacto que tiene el agua en obras de ingeniería e infraestructura. Además, de facilitar el estudio de la huella dejada por los contaminantes que afectan este recurso.

El contenido de este informe está dividido en dos unidades, la primera indica paso a paso como reproducir el boceto a mano del perfil geológico a AutoCAD y la segunda parte se explica el desarrollo de ejercicios hidrogeológicos construyendo una red de flujo.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía que permita a los estudiantes de manera autónoma realizar un perfil geológico a partir de un proyecto GIS y determinar zonas de recarga y movimiento de fluidos subterráneos a partir de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Explicar el proceso para elaborar un perfil geológico en AutoCAD, partiendo de un proyecto GIS
- ✓ Elaborar un video que muestre el procedimiento que se debe seguir para pasar el boceto del perfil geológico hecho mano a un archivo digital DWG, mediante el uso del software QGIS y AutoCAD a partir de shapefile´s.
- ✓ Mostrar cómo se construye una red de flujo paso a paso a través de un ejemplo.
- ✓ Determinar la dirección del agua subterránea, gradiente hidráulico y caudal a partir la construcción de una red de flujo.

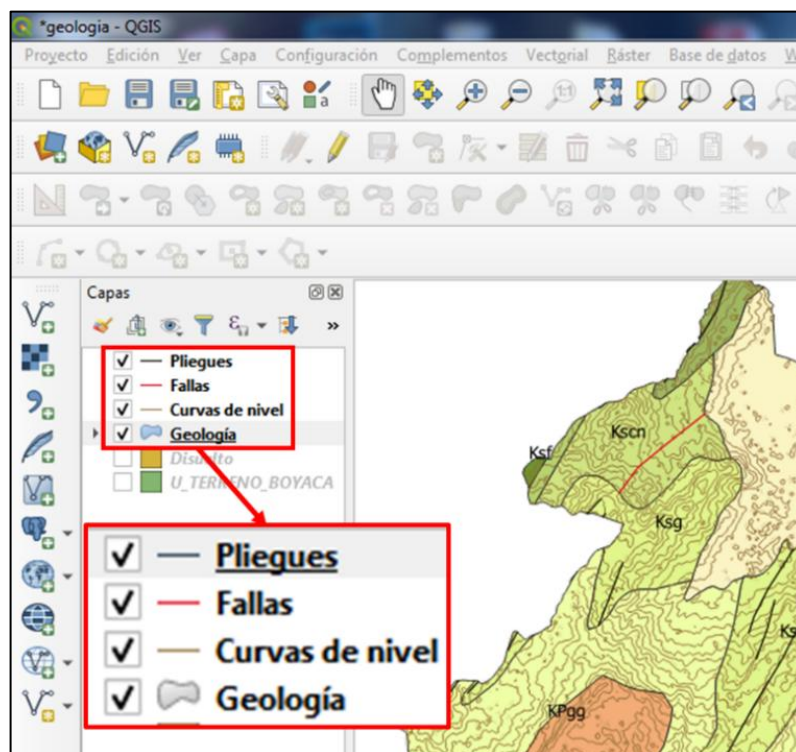
2 PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR UN PERFIL GEOLÓGICO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE QGIS Y AUTOCAD A PARTIR DE SHAPEFILE´S

A continuación, se muestra el procedimiento para elaborar un perfil geológico mediante el uso de los programas QGIS versión 3.4.8. y AutoCAD 2018, con el objeto de proporcionar una guía a los estudiantes para realizar dicho proceso, el cual cuenta con un video adjunto al informe. El boceto del perfil geológico a mano que se utilizó para la explicación se encuentra en el anexo A.

2.1 INICIAR EL PROGRAMA QGIS

Buscar y cargar el mapa sobre el cual se realizó el perfil dejando activas las capas de las unidades geológicas, curvas de nivel y estructuras geológica que permitan evidenciar los rasgos de la zona a estudiar, cómo se ve en la figura 1.

Figura 1. Mapa geológico en el programa QGIS y las capas requeridas



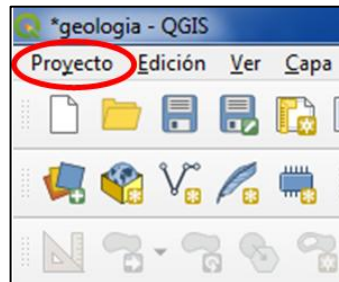
Fuente: elaboración propia.

2.2 EXPORTAR EL ARCHIVO SHAPEFILE A DXF

Para realizar este paso se procede de la siguiente manera:

- ✓ Ir al menú proyectos (figura 2).

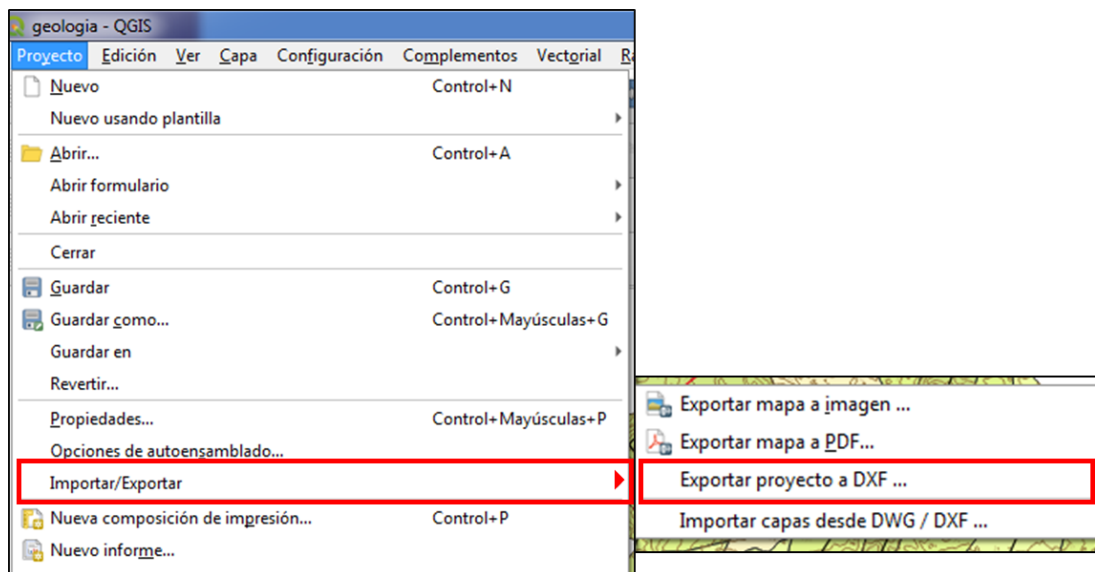
Figura 2. Barra de herramienta (menú proyecto)



Fuente: elaboración propia

- ✓ En la opción Importar/Exportar elegir exportar proyecto a DXF, como se observa en la figura 3. Se abre la ventana donde se puede guardar en una carpeta el archivo asignándole un nombre, el resto de casillas se dejan por defecto (figura 4).

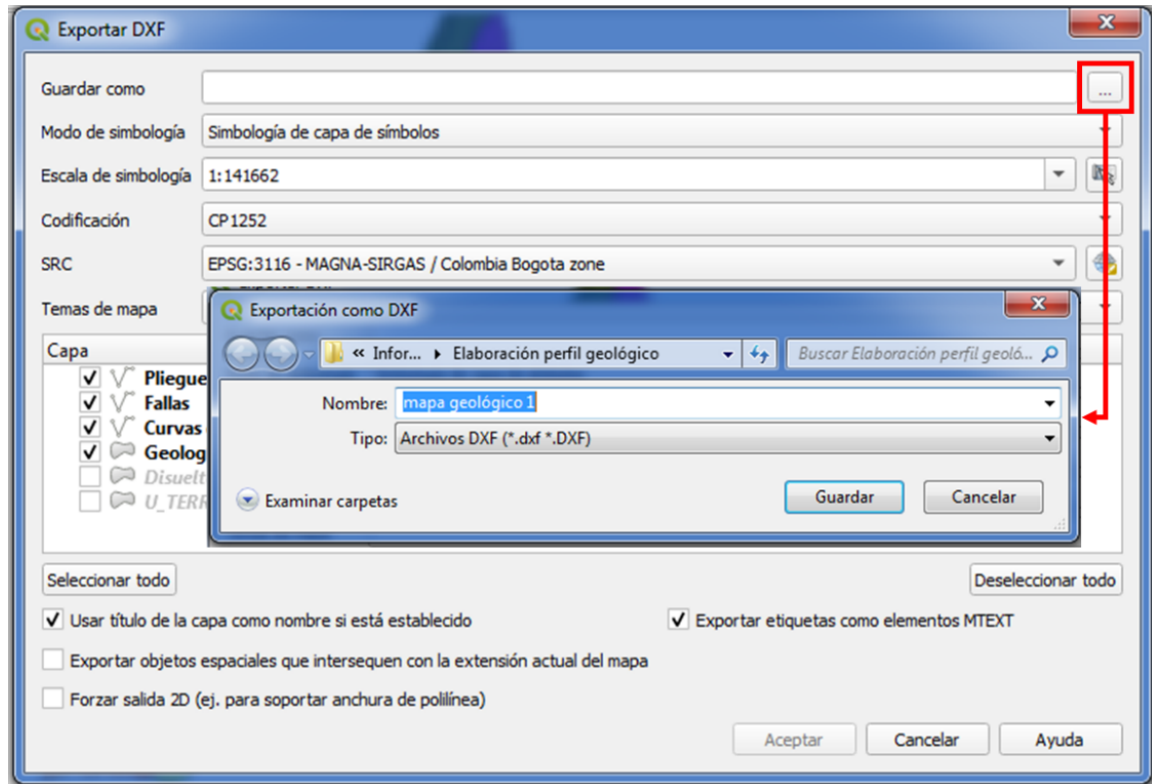
Figura 3. Selección exportar proyecto a DXF



Fuente: elaboración propia

Nota: se puede modificar la escala de simbología, este sirve para ajustar el tamaño de las líneas y símbolos del mapa que se verán cuando abra el archivo en AutoCAD.

Figura 4. Ventana exportar DXF



Fuente: elaboración propia

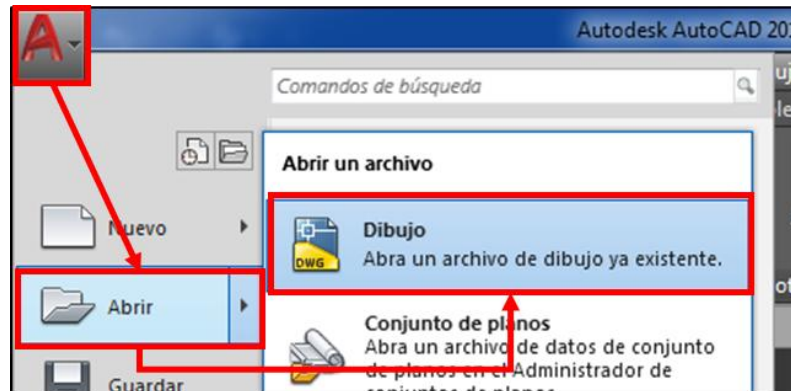
- ✓ Clic en aceptar, se espera a que exporte el archivo.

2.3 CREACIÓN PERFIL GEOLÓGICO EN AUTOCAD

2.3.1 Abrir y cargar el archivo DXF.

Para abrir el archivo exportado DXF hay tres formas; en este ejemplo se utilizó el índice de AutoCAD como se muestra en la figura 5, ir a la pestaña abrir y selecciona dibujo.

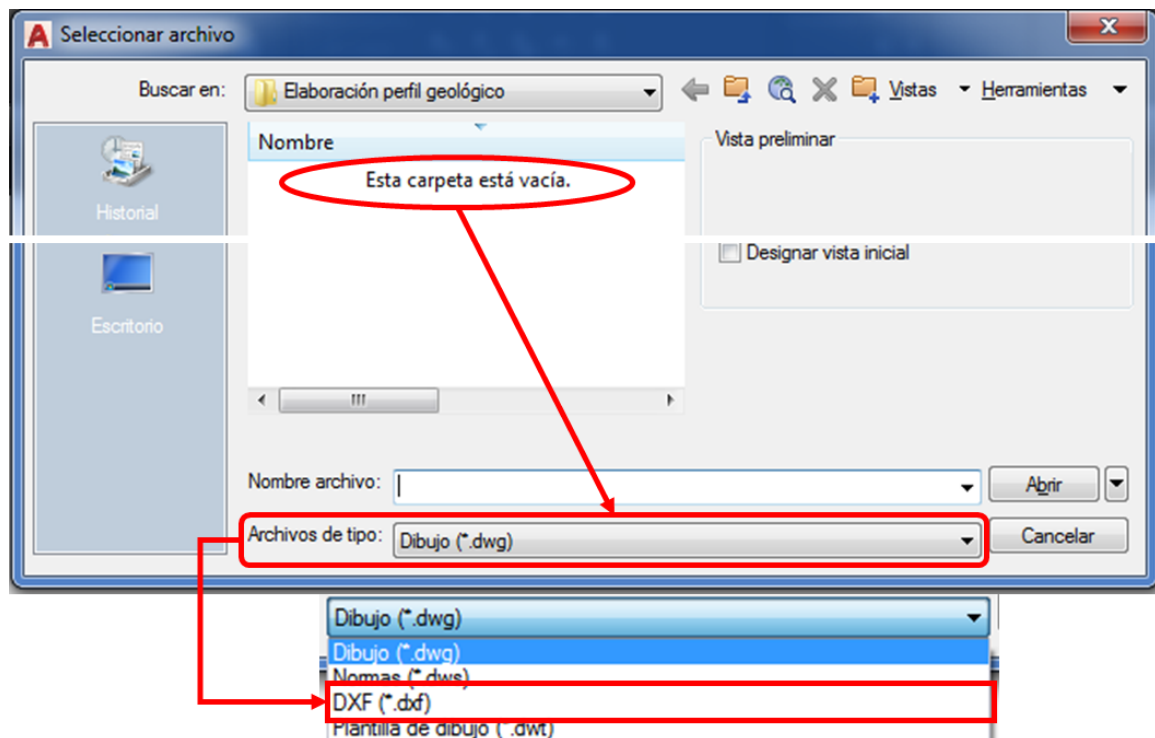
Figura 5. Índice de AutoCAD para abrir archivo DXF



Fuente: elaboración propia

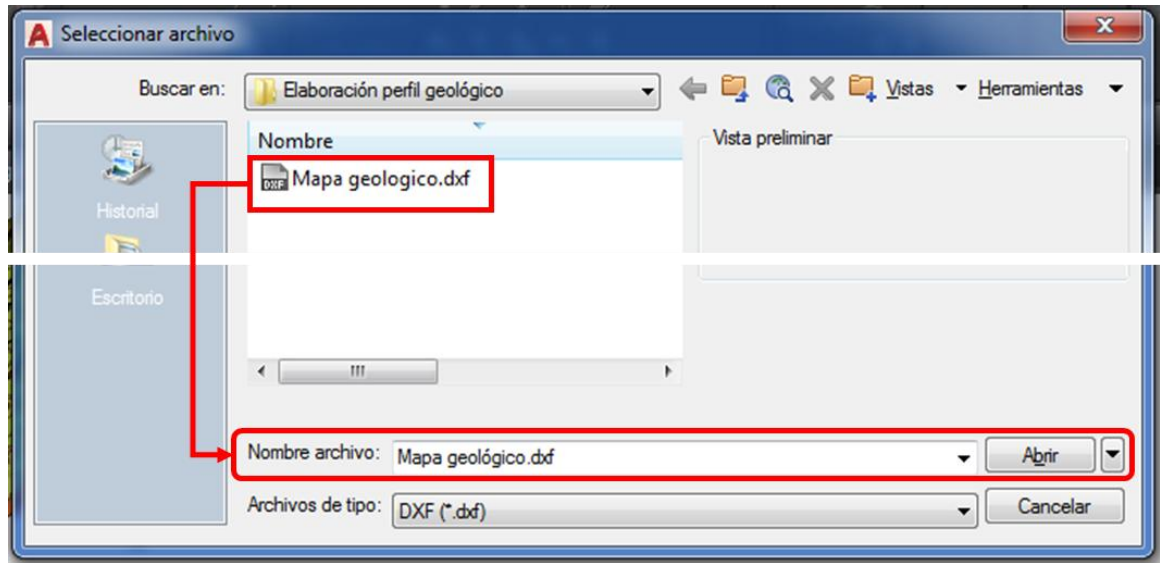
Al aparecer la ventana se busca la carpeta donde fue guardado el archivo, si al abrir la carpeta aparece que está vacía ir a la parte inferior donde dice archivo de tipo: elegir DXF y se mostrará el archivo exportado (observar figura 6 y 7). Seleccionar el archivo, clic en abrir y esperar que cargue.

Figura 6. Sin visualización del archivo DXF en AutoCAD



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Visualización del archivo DXF en AutoCAD

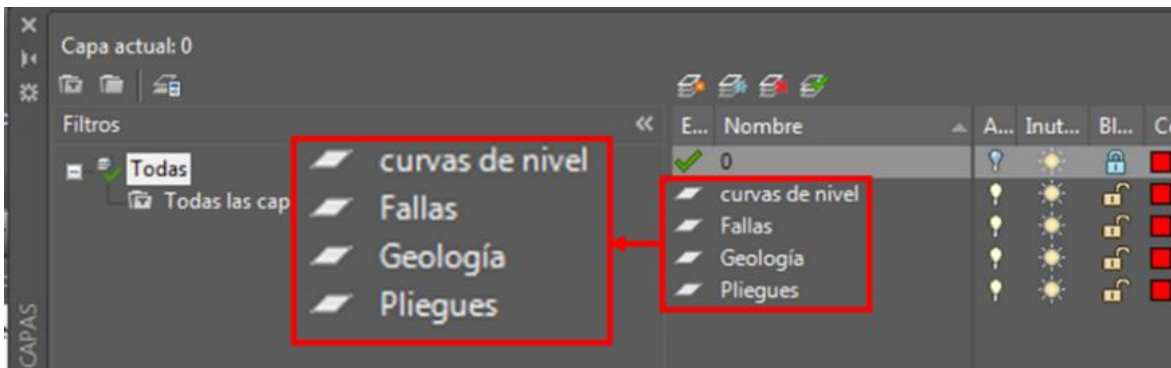


Fuente: elaboración propia

2.3.2 Ajustes de capas y propiedades para realizar el perfil.

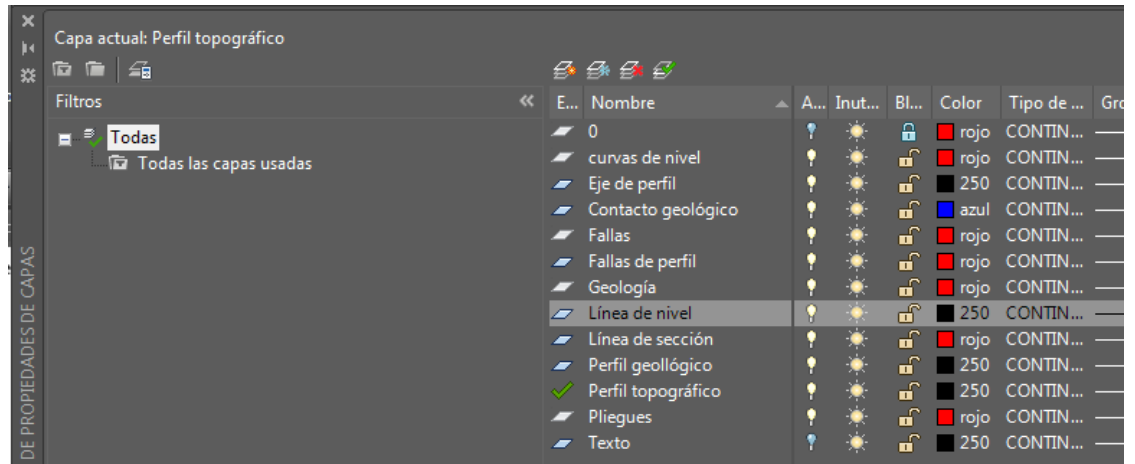
Cuando carga el mapa se deben crear capas nuevas, lo más aconsejable es apagar la capa cero para que no se guarde ningún avance del perfil geológico en esta y al momento de plotear llegar a tener inconvenientes al abrir el archivo en otro equipo. Inicialmente se ven las capas del archivo que exportamos (Curvas de nivel, Fallas, Geología y Pliegues), estas se tienen en cuenta por la información que contiene, pero no se trabaja en ellas (figura 8 y 9) tan solo se usan las capas creadas.

Figura 8. Capas del archivo exportado



Fuente: elaboración propia

Figura 9. Creación de capas nuevas

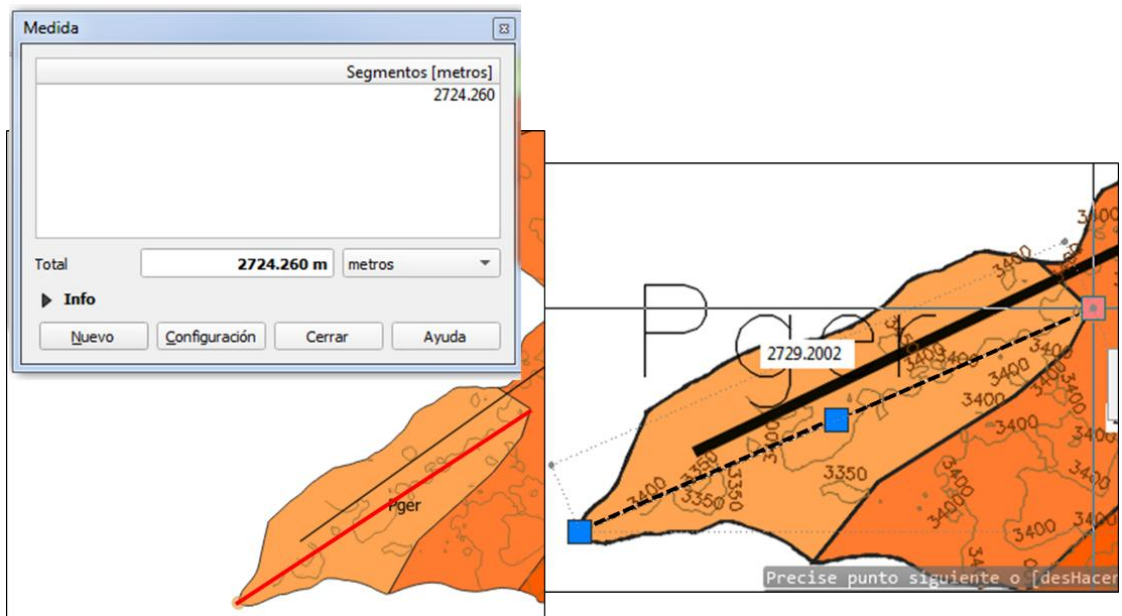


Fuente: elaboración propia

Luego se guarda el archivo, el formato en el que queda el dibujo es DWG.

Lo siguiente es confirmar la escala, se verifica midiendo tanto en QGIS como en AutoCAD la misma unidad geológica como se muestra en la figura 10. como las medidas son muy parecidas, comprueba que la escala del mapa está a tamaño real 1:1 y por esto se puede trabajar directamente desde el espacio modelo.

Figura 10. Comprobación de la escala del mapa geológico en QGIS y AutoCAD



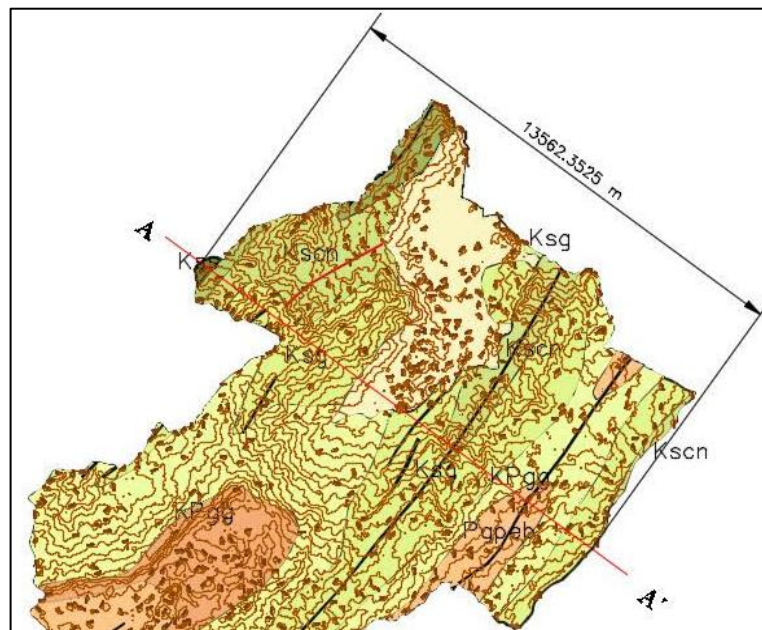
Fuente: elaboración propia

2.3.3 Reproducción del boceto del perfil geológico.

Dibujar la línea de sección en la misma parte que la representada en el mapa en físico de A – A' (figura 11), se comprueba que la medida del perfil sea la misma a la del mapa en físico, en el caso del ejemplo la longitud es de 0.542 m en el papel, como el mapa en AutoCAD tiene una escala 1:1 la distancia medida es de 13562.3525 m.

Nota: según la definición del diccionario de arquitectura y construcción⁴⁰ la línea de sección es un segmento que indica gráficamente el plano de corte y muestra la orientación de la vista de sección (A - A'); para decidir donde trazar la línea de sección, normalmente se busca la orientación que más información proporcione o que cruce por las estructuras geológicas que se quieran interpretar (contactos geológicos, planos de fallas y pliegues). Obando⁴¹ recomienda que la línea de sección corte lo más perpendicular posible a las orientaciones de los materiales y estructuras geológicas, permitiendo representar la verdadera estructura del material y así extraer la mayor información del mapa.

Figura 11. Línea de sección y cota de longitud de perfil geológico



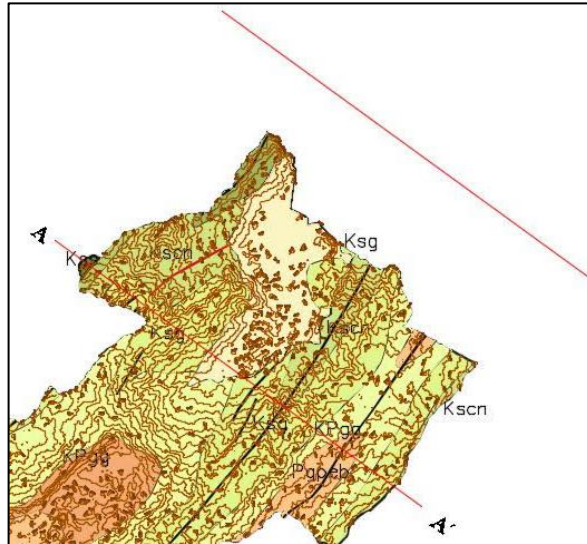
Fuente: elaboración propia

⁴⁰ DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. [Anónimo]. [En línea]. s.d. [Consultado 19 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.parro.com.ar/definicion-de-l%C3%ADnea+de+secci%C3%B3n>.

⁴¹ OBANDO, Tupak. El perfil o corte geológico: algunos ejemplos de casos. [En línea]. Huelva, España: Universidad Internacional de Andalucía. 2009., pp. 1-11. [Consultado: 19 febrero 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/11452650-El-perfil-o-corte-geologico-algunos-ejemplos-de-casos.html>

Se hace una copia de la línea y se ubica paralelamente como se puede ver en la figura 12 para poder trazar las curvas de nivel que cortan la línea de sección.

Figura 12. Copia de línea de sección

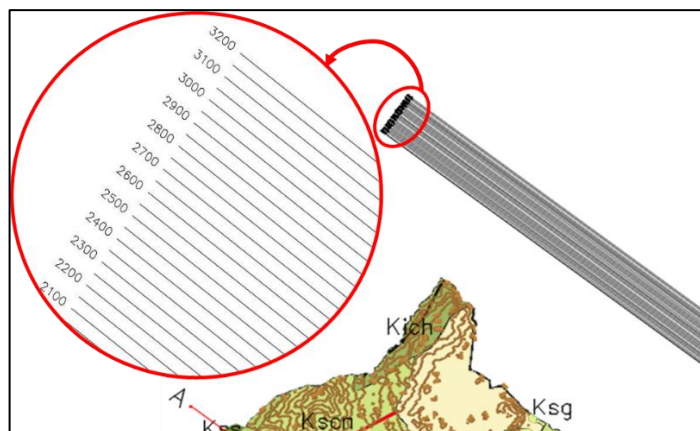


Fuente: elaboración propia

Luego como las curvas de nivel están cada 50 metros se desfasa para dar el relieve del perfil.

Nota: colocar la cantidad de líneas necesarias para poder realizar el perfil con sus cotas correspondientes como se representa en la figura 13.

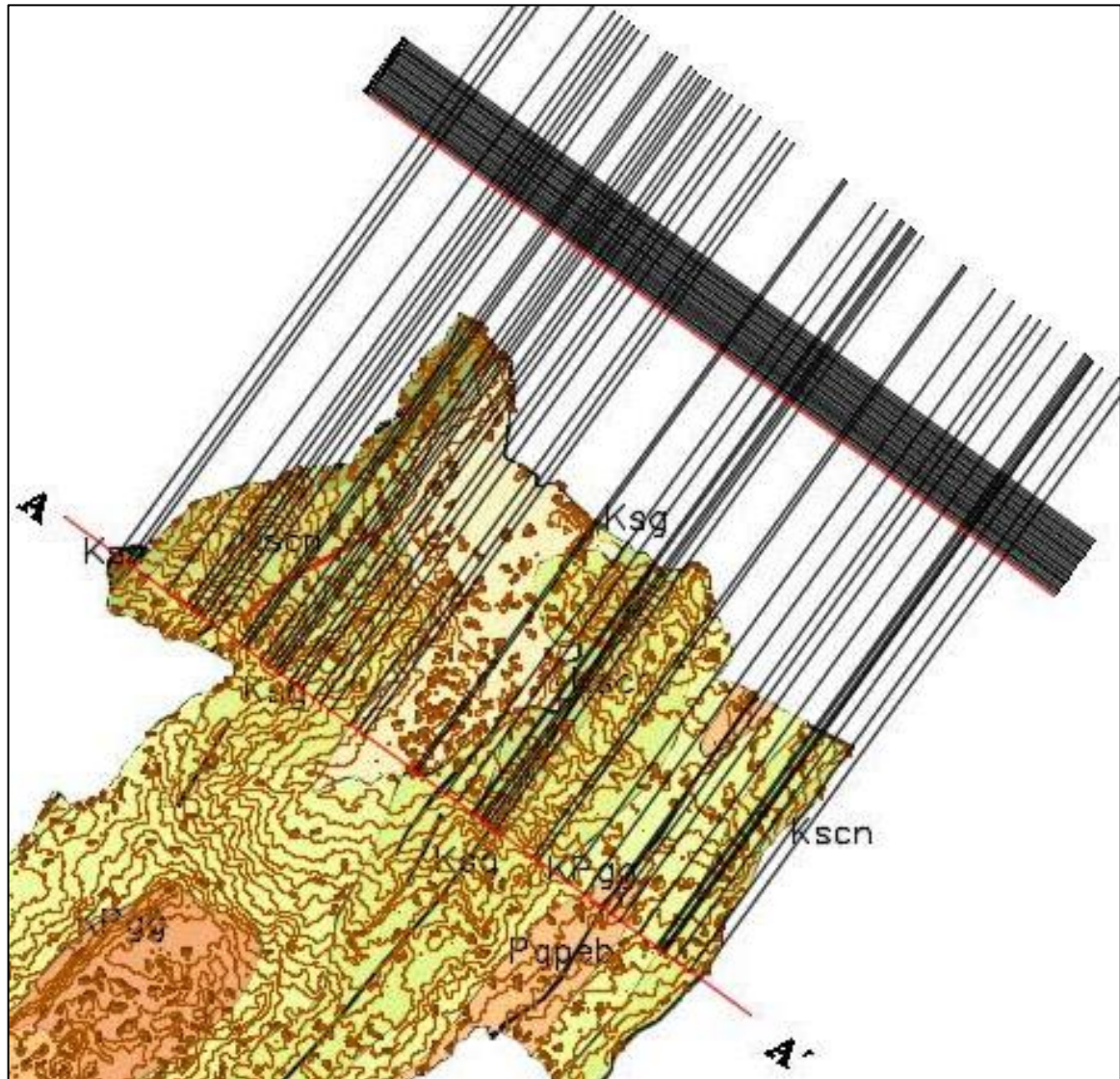
Figura 13. Curvas de nivel con sus respectivas alturas



Fuente: elaboración propia

El perfil topográfico se obtiene al proyectar las curvas de nivel que intersecan la línea de sección con una línea ortogonal (Eje de perfil) como se ve en la figura 14.

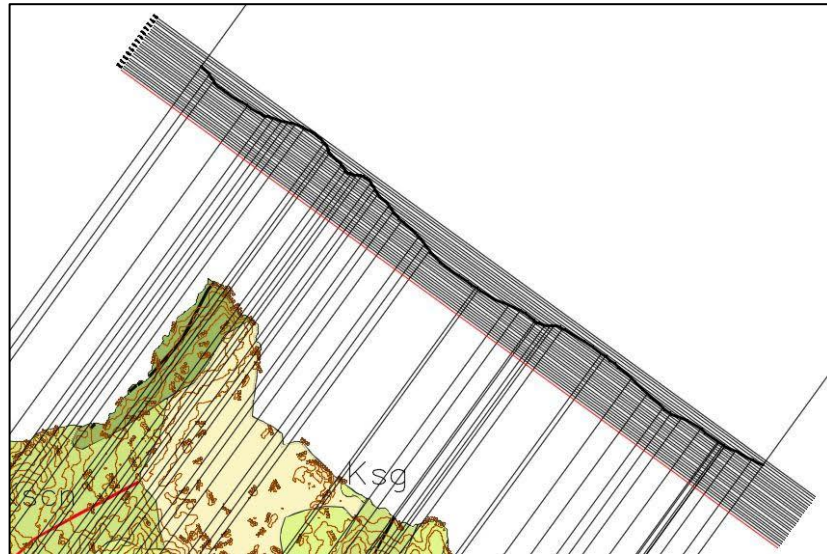
Figura 14. Proyección de curvas de nivel



Fuente: elaboración propia

Las líneas proyectadas se recortan a cada una de las alturas correspondientes y uniendo con una línea spline con puntos de ajuste se obtiene el perfil topográfico como se visualiza en la figura 15.

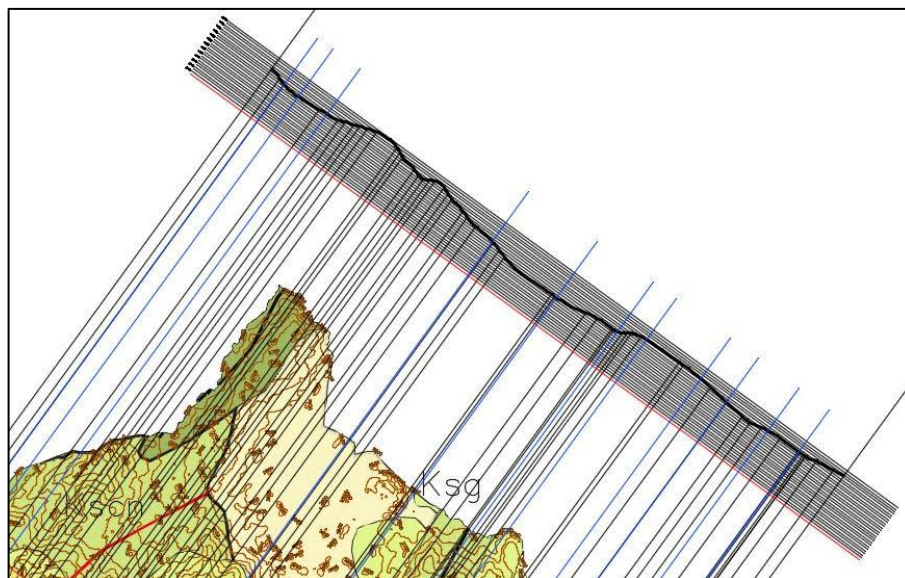
Figura 15. Construcción del perfil topográfico



Fuente: elaboración propia

De igual manera se identifican los contactos geológicos que son cortados por la línea de sección y se proyectan por medio de una línea perpendicular a la línea de perfil, atravesando el perfil topográfico previamente elaborado mostrado en la figura 16 y el anexo B

Figura 16. Proyección de contactos geológicos



Fuente: elaboración propia

Continuando con el proceso se bajan los datos geológicos. Para esto se sitúa en uno de los puntos de contacto geológico que interseca el perfil topográfico trazando una línea horizontal al este u oeste de acuerdo a la dirección del buzamiento aparente previamente calculado (ver tabla anexo C), finalmente girar la línea hasta alcanzar el ángulo de buzamiento al sentido que corresponda. Esto mismo se hace con cada uno de los puntos de los contactos geológicos y de esta manera se inicia a construir el perfil geológico (anexo D).

Por medio de las herramientas de dibujo que ofrece AutoCAD se reproduce el boceto del perfil geológico.

Se asignan los colores a cada una de las formaciones geológicas según lo establecido en la tabla cronoestratigráfica y se etiqueta cada una con su respectivo código como se muestra en el anexo E.

Nota: cuando se realiza en trazo de la línea de sección todas las estructuras geológicas que cortan la sección considerada deben estar reflejados en el perfil y todo lo que queda fuera de la línea de sección no tiene que tenerse en cuenta, dicho esto se puede observar que en el perfil geológico dado como ejemplo se dibujaron tres fallas que no se encontraban en el corte de la línea de sección, esto se debe a que durante la construcción del perfil geológico a mano se evidencio un cambio en el terreno en diferentes afloramientos y en la disposición de las formaciones geológicas, viéndose bloques levantados y hundidos, característica que demuestra que en esa zona hay presencia de fallas. Si la línea de sección del perfil que estén trabajando corta una falla, se debe determinar el buzamiento de la misma. Lo que se hace es identificar dos curvas de nivel de diferente altitud que intercepten la falla y por medio de una línea ortogonal a la línea de sección se bajan los dos puntos a las alturas de las curvas de nivel correspondientes y finalmente se unen por medio una línea y de esta manera se obtiene la dirección de la falla, como se muestra en el ejemplo del anexo F.

Terminando el proceso se introduce el formato de presentación a tamaño real del papel, luego este se lleva a la escala real de trabajo (en el caso del ejemplo a 1:25000). Finalmente, el perfil geológico se ubica de tal manera que permita adicionar la información solicitada como las estereonetas, columnas estratigráficas y la tabla que contiene los rumbos, buzamientos, espesores (ver anexo G).

3 DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, GRADIENTE HIDRÁULICO Y CAUDAL A PARTIR DE UNA RED DE FLUJO

“El agua subterránea es un recurso que no podemos ver ni medir directamente. Se puede conseguir información de sus niveles y sus variaciones en el tiempo con medidas realizadas en los pozos, tratando de deducir cual es el caudal base que procede de los cuerpos de agua y determinando sus características y límites con la ayuda de la geología, geofísica, datos de la perforación y ensayos de bombeo”⁴². Como dice Ferrer⁴³, los proyectos construidos total o parcialmente enterrados, pueden provocar cambios en los niveles y en la red de flujo de agua subterránea, tales como conducciones de desagües, galerías, pasos subterráneos, metro, vías férreas o carreteras. Cuando estas obras son proyectadas de modo perpendicular a las líneas de flujo de descarga natural, provocan sobre este un efecto “barrera” o de presa, presentando una elevación de cota hidráulica aguas arriba y un descenso aguas abajo en la dirección de flujo. La falta de previsión de estos efectos puede acarrear dificultades técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento.

Por esto el objetivo de la unidad es ofrecer una guía paso a paso construyendo una red de flujo representada en un plano mediante líneas de dirección de flujo y líneas equipotenciales, por medio de un ejercicio aplicativo como el que se expone a continuación:

Ejemplo: En la vereda San José se hizo un estudio geológico para abastecer de agua a 25 familias, para este se hicieron 3 sondeos eléctricos verticales (SEV), obteniendo la siguiente información:

Sondeo 1. N 1120350; E 1110200. Altura 2760 msnm. En la interpretación de los datos se pudo observar que a una profundidad de 100 m se encontraba agua.

Sondeo 2. N 1120050; E 1110400. Altura 2700 msnm. Se detectó la presencia de agua a 120 m.

Sondeo 3. N 1120150; E 1110500. Altura 2650 msnm. Se detecta la presencia de agua a 80 m.

Si el espesor del acuífero es de 80 m y se hace revestimiento del pozo con tubería de 6" de diámetro y la permeabilidad del acuífero es de $K = 2 \text{ cm/h}$. Determinar si la construcción

⁴² SAHUQUILLO HERRAIZ, Andrés. Importancia de las aguas subterráneas. Revista real academia de ciencias exactas, fisicas y naturales [En línea]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia. 2009, s.d., vol. 103, nro. 1. 97-114. [Consultado: 08 febrero 2020]. Disponible en: <http://rac.es/ficheros/doc/009213.pdf>

⁴³ FERRER GRANNEL, Alejandro. Control de las aguas subterráneas en la ingeniería civil. Interacción entre la obra y el medio hidrogeológico, síntesis de métodos de control y aplicación de modelos matemáticos. [En línea]. Trabajo de fin de master. Universidad politécnica de valencia, 2010. p. 39. [Consultado: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ferrersl.com>

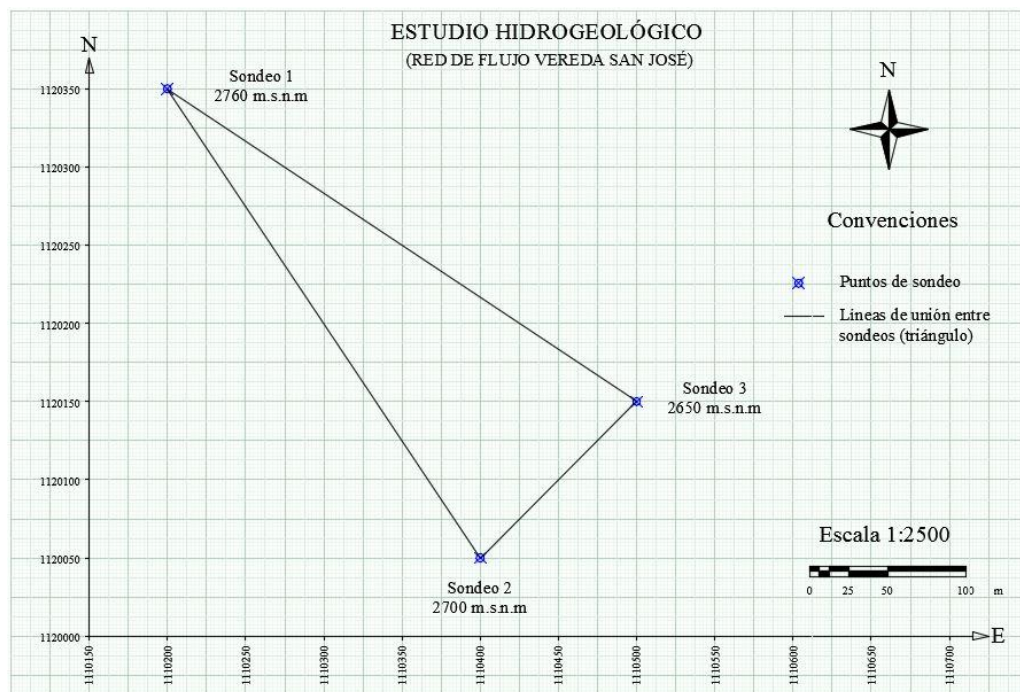
de este pozo es viable ¿Cuál será la dirección del agua en el acuífero? (El ejemplo y su desarrollo están basados en material didáctico)⁴⁴.

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE FLUJO

Paso 1. Tener la georreferenciación de niveles piezométricos provenientes de aljibes, pozos, pantanos, sondeos eléctricos verticales (SEV), piezómetros, etc. En el caso del ejemplo el nivel freático se obtiene de tres SEV.

Paso 2. Localizar en un plano a escala representativa la información recolectada. (coordenadas X, Y, Z). Unir los tres puntos con líneas rectas formando un triángulo como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Ubicación de la georreferenciación de los tres sondeos unidos con líneas rectas



Fuente: elaboración propia

Paso 3. Determinar la altura real del nivel piezométrico: haciendo la diferencia entre las alturas iniciales y la profundidad en la que se evidenció la posible presencia de agua, como se muestra a continuación:

⁴⁴ FLECHAS FAJARDO, Guillermo. Hidrogeología. [Diapositiva]. Tunja: Universidad Santo Tomás, 2016. 43 diapositivas, color, 90 min.

$$2760 \text{ msnm} - 100 \text{ m} = 2660 \text{ msnm}$$

$$2700 \text{ msnm} - 120 \text{ m} = 2580 \text{ msnm}$$

$$2650 \text{ msnm} - 80 \text{ m} = 2570 \text{ msnm}$$

Identificar el punto de menor y mayor cota, medir la distancia horizontal entre las mismas y con una regla de tres se calcula la distancia de intersección de la línea equipotencial.

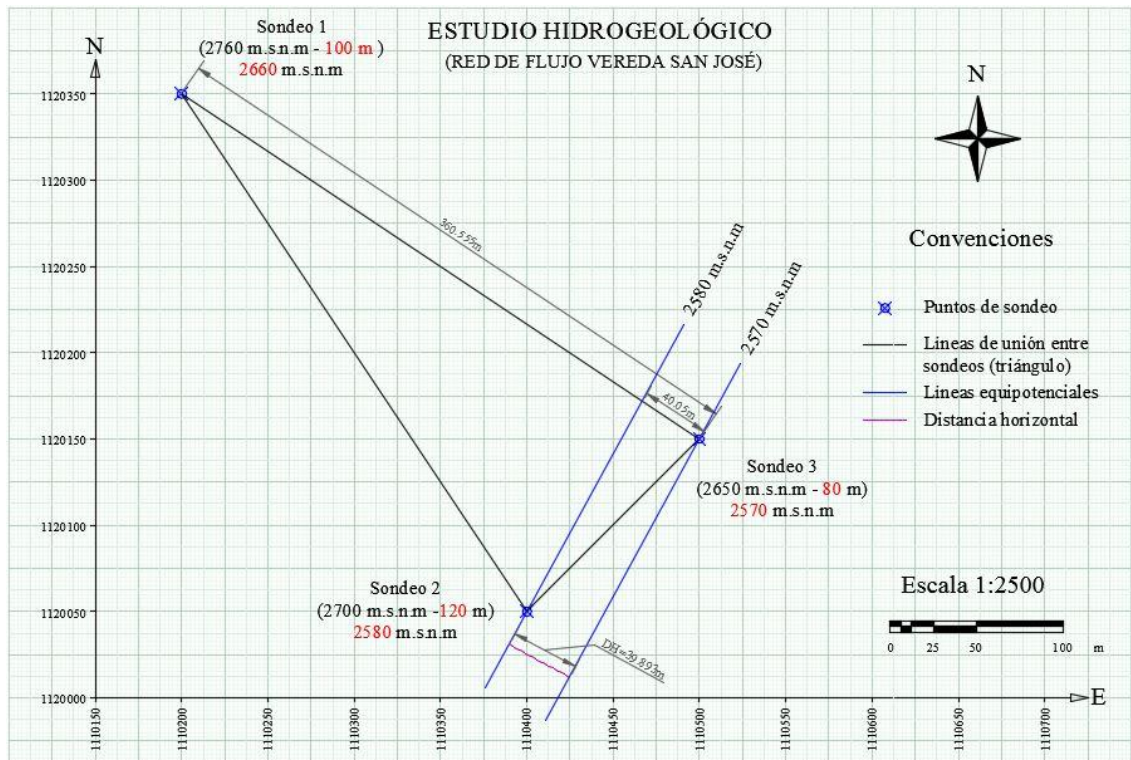
$$360.55 \text{ m} \rightarrow (2660 - 2570)$$

$$X \rightarrow (2580 - 2570)$$

$$X = 40.05 \text{ m}$$

Trazar una línea desde el punto $X = 40.05 \text{ m}$ y la cota media (2580 msnm). Después dibujar una línea paralela a la anterior que pase por la altura más baja (2570 msnm) y de esta manera quedan graficadas las líneas equipotenciales. Ahora con una línea ortogonal se mide entre las líneas equipotenciales obteniendo la distancia horizontal (DH), ver figura 18.

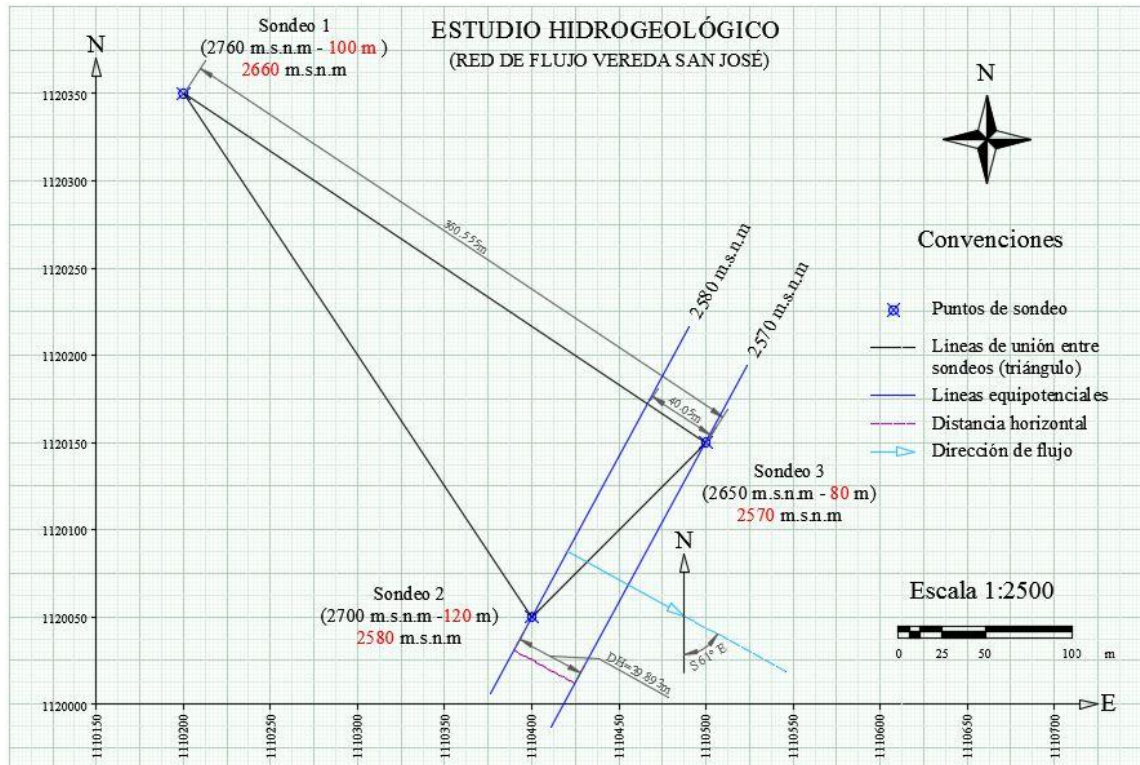
Figura 18. Trazo de líneas equipotenciales y determinación de la distancia horizontal (DH)



Fuente: elaboración propia

Paso 4. Para saber la dirección del agua se proyecta una línea perpendicular a las líneas equipotenciales midiendo el rumbo de esta, obteniendo así la dirección del flujo de agua en el acuífero de la vereda San José, el cual es de S61°E (Figura 19). Conociendo la dirección podemos establecer de donde proviene el agua y cuál será la zona de influencia.

Figura 19. Esquema de la dirección de flujo del acuífero en la vereda San José



Fuente: elaboración propia

Paso 5. Identificación de la zona de recarga se calcula del gradiente hidráulico (I), una vez identificadas las líneas equipotenciales en el triángulo calculo la diferencia de cota y mido la distancia horizontal.

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L \text{ o } DH}$$

H1 y H2 = Cota de las líneas equipotenciales tomadas.

L o DH = distancia horizontal medida entre las líneas

$$I = \frac{2580 - 2570}{40.222} = 0.2486$$

$$0.2486 * 100\% = 24.86 \%$$

3.2 APLICACIÓN DE LA RED DE FLUJO

Como el ejercicio nos pregunta si es viable la construcción del pozo tenemos que calcular el caudal del acuífero, para esto utilizamos la información obtenida en la construcción de la red de flujo y los datos de entrada del ejemplo.

Se calcula la capacidad de abastecimiento del acuífero de la vereda san José por medio de la ley de Darcy, quien demostró que “el caudal Q es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud del lecho de arena y proporcional al área de la sección y a un coeficiente de permeabilidad (K)”⁴⁵ que depende de las características del material.

Ecuación de la ley de Darcy.

$$Q = A * K * I$$

Lo primero es calcular el área tributaria del pozo, con los datos proporcionados en el ejercicio:

X = espesor del acuífero (80 m)

D = diámetro de la tubería que reviste el pozo (6”).

$$A = 2\pi rX$$

$$A = \frac{2\pi * 3 \text{ in} * 80\text{m} * 0.0254\text{m}}{1 \text{ in}} = 38.30 \text{ m}^2$$

Por conveniencia se realiza la conversión de unidades del coeficiente K .

$$1 \text{ m} \rightarrow 100 \text{ cm}$$

$$X \rightarrow 2 \text{ cm}/h$$

$$X = 0.02 \text{ m}/h = K$$

Determinación del caudal proporcionado por el acuífero en el pozo.

$$Q = 38.30 \text{ m}^2 * 0.02 \text{ m}/h * 0.2486 = 0.19043 \frac{\text{m}^3}{h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} = 4.5703 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

⁴⁵ REDES DE FLUJO DE AGUA EN LOS SUELOS. [Anónimo]. [Blog]. Perú., s.d. 2010. [Consultado: 18 febrero 2020]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2015/07/13/redes-de-flujo-de-agua-en-los-suelos/>.

El caudal que aporta el acuífero al pozo es de $4.5703 \frac{m^3}{día}$

Además, el enunciado nos pregunta si puede abastecer de agua a 25 familias, para esto continuamos con la siguiente operación.

Como el municipio se encuentra a una altura mayor de 2000 msnm se adopta según la resolución 0330/2017⁴⁶ una dotación neta máxima de 120 l/hab.*día.

$$120 \frac{l}{día * hab} * \frac{1 m^3}{1000 l} = 0.12 \frac{m^3}{día * hab}$$

En promedio una familia está compuesta por 4 integrantes⁴⁷.

$$0.12 \frac{m^3}{día * hab} * 4 hab = 0.48 \frac{m^3}{día}$$

$$0.48 \frac{m^3}{día} * 25 familias = 12 \frac{m^3}{día}$$

De acuerdo al consumo de las 25 familias se puede decir que la construcción del pozo no es viable debido a que la capacidad del acuífero es insuficiente para cumplir con el caudal solicitado.

⁴⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA SOCIEDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 (08, junio, 2017). Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico-RAS. Bogotá D.C.: El ministerio, 2017., p. 32.

⁴⁷ LAS NUEVAS FORMAS DE CONSUMO DE LAS FAMILIAS COLOMBIANAS [Anónimo]. En: Portafolio. Bogotá D.C. 17, mayo, 2019. [Consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/las-nuevas-formas-de-consumo-de-las-familias-colombianas-529617>

4 CONCLUSIONES

- ✓ A partir de la elaboración del perfil geológico en el programa de AutoCAD, se deja una herramienta que contribuirá en los conocimientos y será una base para que los estudiantes puedan desarrollar de manera autónoma el proceso de reproducción de este.
- ✓ Con la elaboración de un perfil geológico se puede visualizar la disposición de las estructuras geológicas en profundidad de la zona de interés que se quiera estudiar o interpretar, siendo de gran utilidad en el desarrollo de proyectos u obras de infraestructura.
- ✓ El procedimiento de elaboración del perfil puesto de ejemplo puede variar de acuerdo al municipio y al perfil geológico a reproducir.
- ✓ La escala en la que puede quedar el archivo DXF dependerá del sistema de coordenadas del mapa establecido en el programa QGIS.
- ✓ La importancia que tiene el paso del boceto a mano a un archivo digital (DWG), se da en el momento que se requiera el perfil geológico, ya que estará disponible sin alteraciones, ni pérdida de información.
- ✓ Durante el proceso de monitoria se afianzaron los conocimientos adquiridos en la clase de geología, permitiendo apoyar a los estudiantes de manera eficiente en el desarrollo de las diversas actividades propuestas en el contenido temático del área, aportando conocimientos de manera directa para la elaboración de la presente guía.
- ✓ Cuando se calcula la dirección de flujo se determina la zona de recarga del acuífero, esta dirección se encuentra regida por el gradiente hidráulico, esto se debe a que el agua subterránea se mueve en la dirección en el que decrece el potencial hidráulico lo que quiere decir que la dirección del movimiento del flujo depende de la variación del potencial hidráulico entre dos puntos a lo largo del acuífero a una distancia recorrida, al analizar estas dos variables se puede decidir el diseño e instalaciones de pozos o piezómetros para la extracción y abastecimiento de agua a una población.

- ✓ El desarrollo de ejercicios de aplicación de hidrogeología permite a los ingenieros dar diagnósticos a factores hidrogeológicos que afectan las obras civiles y de infraestructura.
- ✓ La función de la unidad donde se da el paso a paso del desarrollo de ejercicios de hidrogeología, es calcular el caudal, gradiente hidráulico y dirección de flujo del agua subterránea que puede presentarse en diferentes suelos de acuerdo a sus propiedades.
- ✓ Mediante la realización de la guía se deja un entregable que ayudara a los estudiantes en el desarrollo de los proyectos como la elaboración del perfil geológico y el desarrollo de ejercicios de hidrogeología, asignados en la materia.
- ✓ Los ejercicios desarrollados se basan en la ley de Darcy, el cual solo tiene en cuenta el flujo laminar, de tal forma que si el flujo es turbulento no será funcional el proceso, pero teniendo en cuenta que este análisis es para aguas subterráneas donde el flujo es considerablemente lento debido a que las partículas de agua deben atravesar los poros de las estructuras del suelo el flujo se considera siempre laminar.

REFERENCIAS

ALONSO, Diego. ¿Qué es y cómo crear un shapefile en ArcGIS, QGIS y gvSIG? [Sitio web]. mappingGIS. [Consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2014/12/como-crear-un-shapefile-con-arcgis-qgis-y-gvsig/>.

BALBÍN VICH, Rosa y GÓMEZ ORTIZ, David. Problemas de geología estructural: pliegues. [En línea]. 2010, noviembre-diciembre, vol. 2, nro. 1. 95-123. [consultado: 05 febrero 2020]. ISSN: 1989-6557. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/10024/1/139-286-2-PB.pdf>

BALBÍN VICH, Rosa y GÓMEZ ORTIZ, David. Problemas de geología estructural: orientación y proyección de planos en el espacio. [En línea]. 2010, noviembre-diciembre, vol. 2, nro. 1. 95-123. [consultado: 18 febrero 2020]. ISSN: 1989-6557. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/10015/1/134-281-1-PB.pdf>.

COLEGIAL, J. D.; GÓMEZ, S. Y ROJAS, N. Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca de la quebrada río sucio, municipio de tona, Santander, orientados a definir un modelo hidrogeológico conceptual. Boletín de geología [En línea]. 2006, junio-diciembre, vol. 28, nro. 2. 49-61. [consultado: 21 enero 2020] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349631992003.pdf>.

COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía de criterios técnicos: Aspectos generales a tener en cuenta al realizar la evaluación de los estudios hidrogeológicos y permisos asociados. [En línea]. Bogotá: ANLA. 2020. Actualizado el 23 de junio de 2016. [Consultado: 21 enero 2020]. Disponible en: http://portal.anla.gov.co:93/sites/default/files/Comunicaciones/sgc/licenciamiento/guia_criterios_tecnicos_1.pdf.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Hidrología. [Sitio web]. Bogotá: IDEAM, 2014. [consultado: 05 febrero 2020] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA SOCIEDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 (08, junio, 2017). Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector

de agua potable y saneamiento básico-RAS. Bogotá D.C.: El ministerio, 2017., p. 32.

DÁVILA BURGA, Jorge. Diccionario geológico. [En línea]. Callao: Ingemmet. 2011., p. 17. [Consultado: 14 enero 2020]. Disponible en <http://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf>

DÁVILA, Francisco y CAMACHO, Elena. Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. "Propuesta Metodológica". [En línea]. Cantabria: Universidad de Cantabria. 2012., p. 1. [01 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CTC-Ibercarto-V-Georreferenciacion.pdf>.

DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. [Anónimo]. [En línea]. s.d. [Consultado 19 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.parro.com.ar/definicion-de-l%C3%ADnea+de+secci%C3%B3n>.

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros: aguas subterráneas. [En línea]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2017., p. 478. [Consultado: 01 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/353/aguassubterraneeas.pdf>.

F. REBOLLO, Luis. Hidrogeología. [En línea]. Madrid: Universidad de Alcalá, [Sin fecha]. Tema 4. Movimiento de agua en el subsuelo. P. 6. [Fecha de consulta: 01 febrero 2020]. Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-67044/TAB42351/T4-Movimiento%20del%20agua%20en%20el%20subsuelo.pdf.

FERRER GRANNEL, Alejandro. Control de las aguas subterráneas en la ingeniería civil. Interacción entre la obra y el medio hidrogeológico, síntesis de métodos de control y aplicación de modelos matemáticos. [En línea]. Trabajo de fin de master. Universidad politécnica de valencia, 2010. p. 39. [Consultado: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ferrersl.com>

FLECHAS FAJARDO, Guillermo. Hidrogeología. [Diapositiva]. Tunja: Universidad Santo Tomás, 2016. 43 diapositivas, color, 90 min.

GLOSARIO DE TÉRMINOS HIDROGEOLOGÍCOS. [Anónimo]. [En línea]. s.d., p. 101. [consultado: 18 febrero 2020]. Disponible en: http://aguas.igme.es/igme/publica/libro76/pdf/lib76/in_09.pdf

LAS NUEVAS FORMAS DE CONSUMO DE LAS FAMILIAS COLOMBIANAS [Anónimo]. En: Portafolio. Bogotá D.C. 17, mayo, 2019. [Consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/las-nuevas-formas-de-consumo-de-las-familias-colombianas-529617>

MICHAELIS, Christopher. Uso de formatos de archivo AutoCAD con bibliotecas de código abierto. [En línea]. IBM. 2012., s.d. [Consultado: 20 enero 2020]. Disponible en: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/os-autocad/index.html>.

OBANDO, Tupak. El perfil o corte geológico: algunos ejemplos de casos. [En línea]. Huelva, España: Universidad Internacional de Andalucía. 2009., pp. 1-11. [Consultado: 19 febrero 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/11452650-El-perfil-o-corte-geologico-algunos-ejemplos-de-casos.html>.

REDES DE FLUJO DE AGUA EN LOS SUELOS. [Anónimo]. [Blog]. Perú., s.d. 2010. [Consultado: 18 febrero 2020]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2015/07/13/redes-de-flujo-de-agua-en-los-suelos/>.

RODRÍGUEZ, Javier. Características del macizo rocoso. [En línea]. Oviedo, España: Universidad de Oviedo. 2007., pp. 1-14. [Consultado: 01 de febrero 2020] Disponible en: https://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_MACIZOS_ROCOSOS.

SAHUQUILLO HERRAIZ, Andrés. Importancia de las aguas subterráneas. Revista real academia de ciencias exactas, físicas y naturales [En línea]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia. 2009, s.d., vol. 103, nro. 1. 97-114. [Consultado: 08 febrero 2020]. Disponible en: <http://rac.es/ficheros/doc/009213.pdf>
SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. Glosario. [Sitio web]. Bogotá: SGC. [Consultado 25 enero 2020]. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/AtencionAlCiudadano/Paginas/Glosario.aspx>

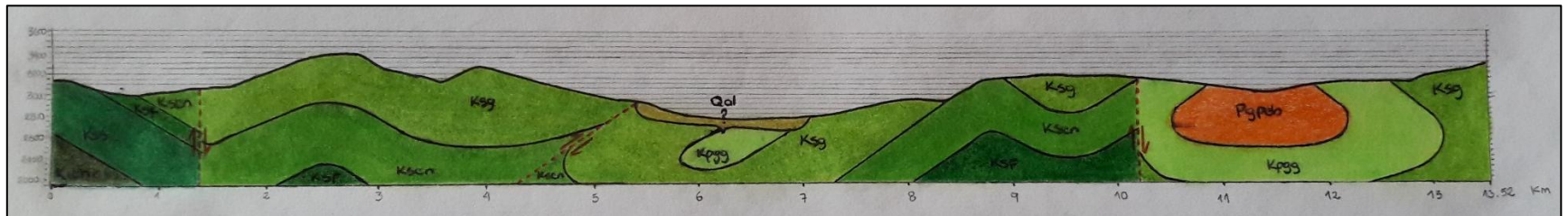
SUAREZ BURGOA, Lugder. El buzamiento aparente. [En línea]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2017., p 1. [consultado: 25 enero 2020]. Disponible en <http://geomecanica.org/didacticMat/buzamientoAparente/index.html>.

TECNONAUTAS. ¿Qué es un archivo DXF y como se abre uno? [En línea]. S.d. [consultado: 07 febrero 2020]. Disponible en: <https://tecnonautas.net/que-es-un-archivo-dxf-y-como-se-abre-uno/>.

XIX SIMPOSIO SOBRE ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA. (s.d. 11-16, julio, 2016: Manresa, España). [En línea]. Cronoestratigrafía global vs. escalas regionales en la enseñanza de la geología: un ejemplo para el ordovícico del área polar perigondwánica. s.d., 2016. 16 p. [Consultado: 21 enero 2020] Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/188183/1/CRONOESTRATIGRAF%C3%8DA%20GLOBAL_GutierrezMarco.pdf.

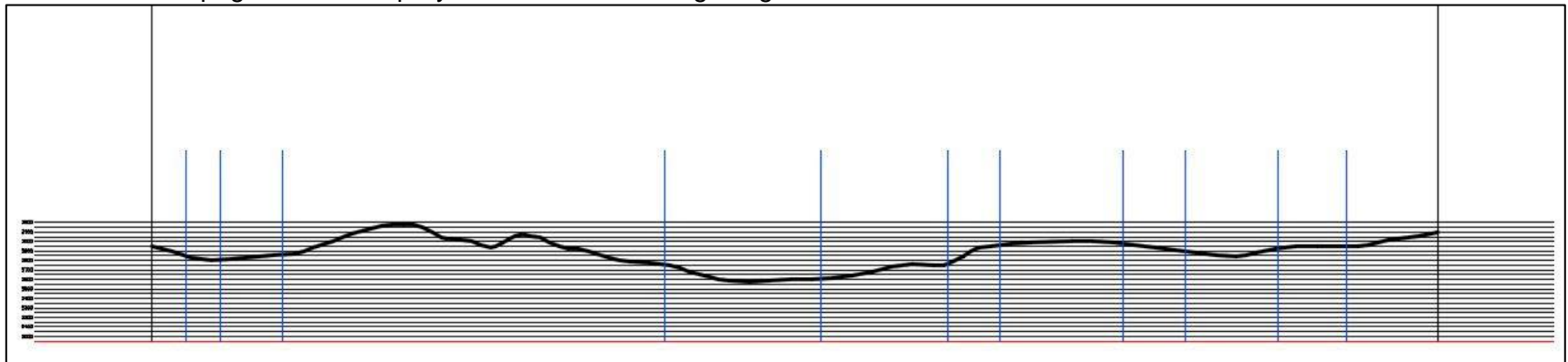
ANEXOS

Anexo A. Boceto a mano del perfil geológico



Fuente: elaboración propia

Anexo B. Perfil topográfico con la proyección de contactos geológicos



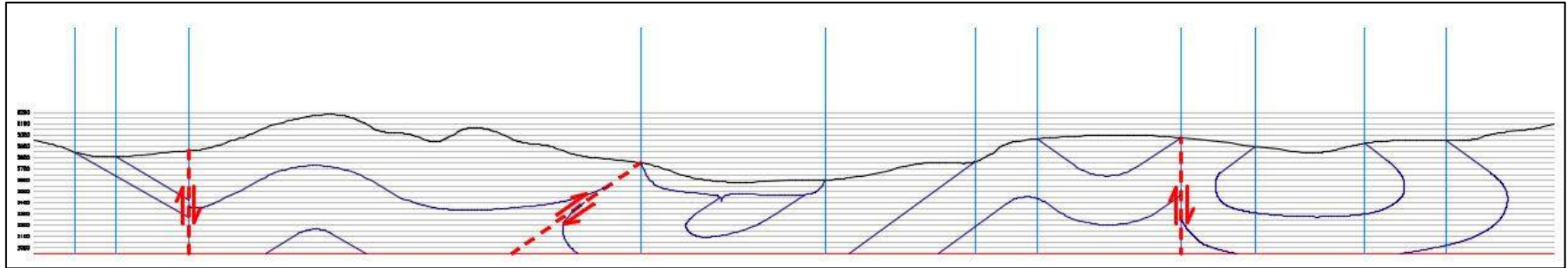
Fuente: elaboración propia

Anexo C. Tabla con los datos de los rumbos, espesores y buzamientos del perfil geológico

| Formación | Rumbo | Buzamiento real | Angulo de sección | Buzamiento aparente | Buzamiento de estereoneta | Espesor |
|-----------|-------|-----------------|-------------------|---------------------|---------------------------|----------|
| Bogotá | N49°E | 37°NW | 84° | 36.84°NW | 37°NW | 957 m |
| | N34°E | 38°NE | 78° | 37.38°NE | 37°NE | |
| Guaduas | N59°E | 40°NW | 75.5° | 39.06°NW | 39°NW | 1027.7 m |
| | N30°E | 38°NE | 77.5° | 37.22°NE | 37°NE | |
| | N49°E | 36°NW | 87.5° | 35.97°NW | 36°NW | |
| | N37°E | 36°NE | 81.5° | 35.69°NE | 36°NE | |
| Guadalupe | N47°E | 30°NE | 84.5° | 29.88°NE | 30°NE | 624.6 m |
| | N50°E | 31°NW | 83.5° | 30.81°NW | 31°NW | |
| | N50°E | 30°NW | 84.5° | 29.88°NW | 30°NW | |
| | N30°E | 34°NW | 75° | 33.08°NE | 33°NE | |
| | N39°E | 35°NE | 85° | 34.89°NW | 35°NW | |
| | N40°E | 33°NW | 85.5° | 32.91°NE | 33°NE | |
| | N34°E | 39°NW | 79.5° | 38.52°NW | 37.5°NW | |
| | N34°E | 35°NW | 76° | 34.19°NW | 34°NW | |
| | N44°E | 33°NW | 89.5° | 32.99°NW | 33°NW | |
| | N32°E | 35°NE | 89° | 34.99°NE | 35°NE | |
| N45°E | 35°NE | 89° | 34.99°NE | 35°NE | | |
| Frontera | N42°E | 31°NE | 88° | 30.98°NE | 31°NE | 66 m |
| Simijaca | N45°E | 30°NE | 89° | 30°NE | 30°NE | 407.3 m |

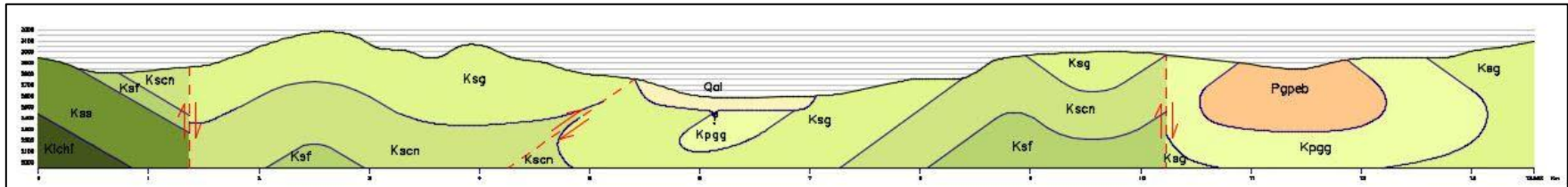
Fuente: elaboración propia

Anexo D. Construcción de perfil geológico



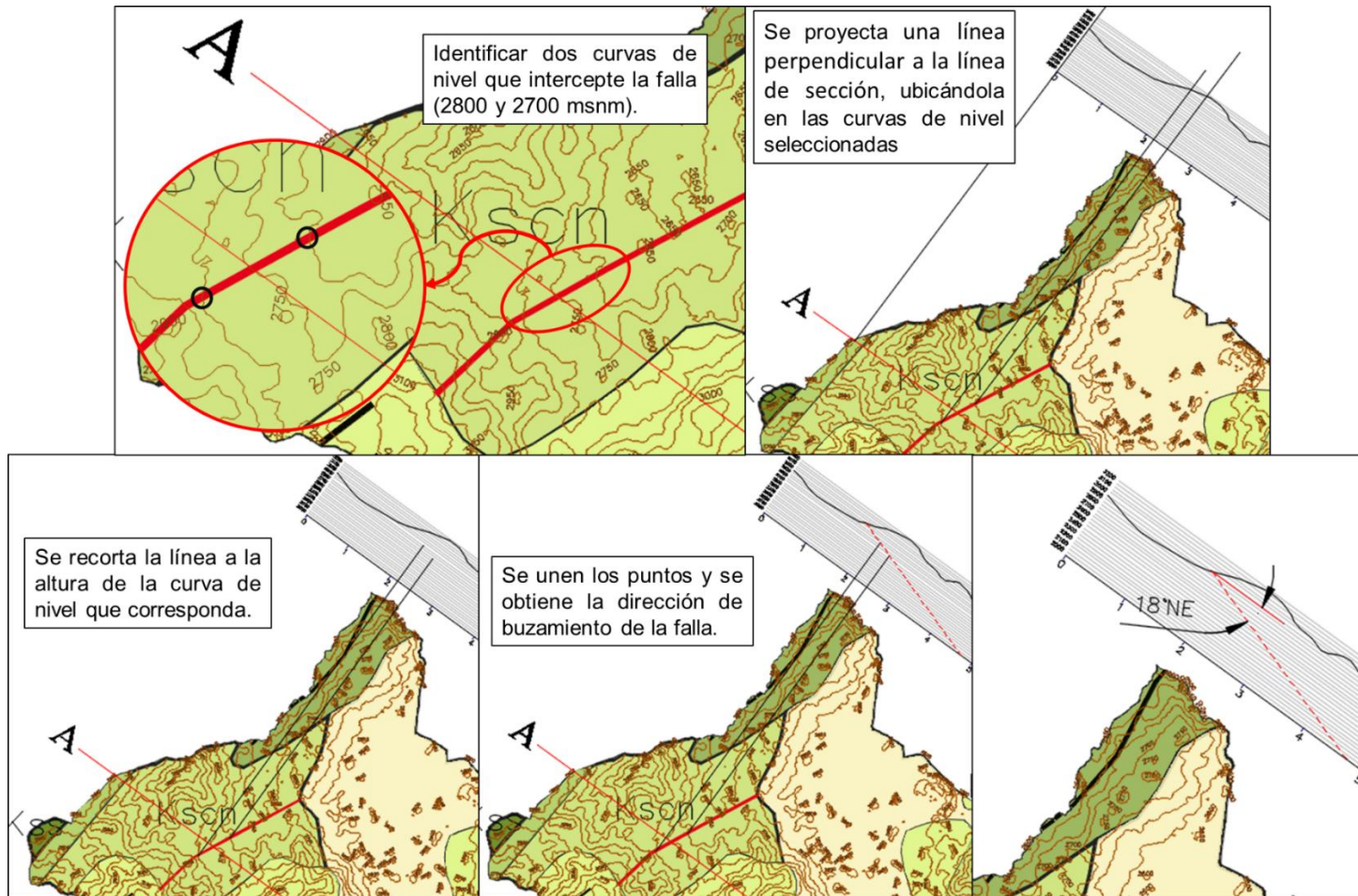
Fuente: elaboración propia

Anexo E. Perfil geológico con sus respectivos colores y códigos



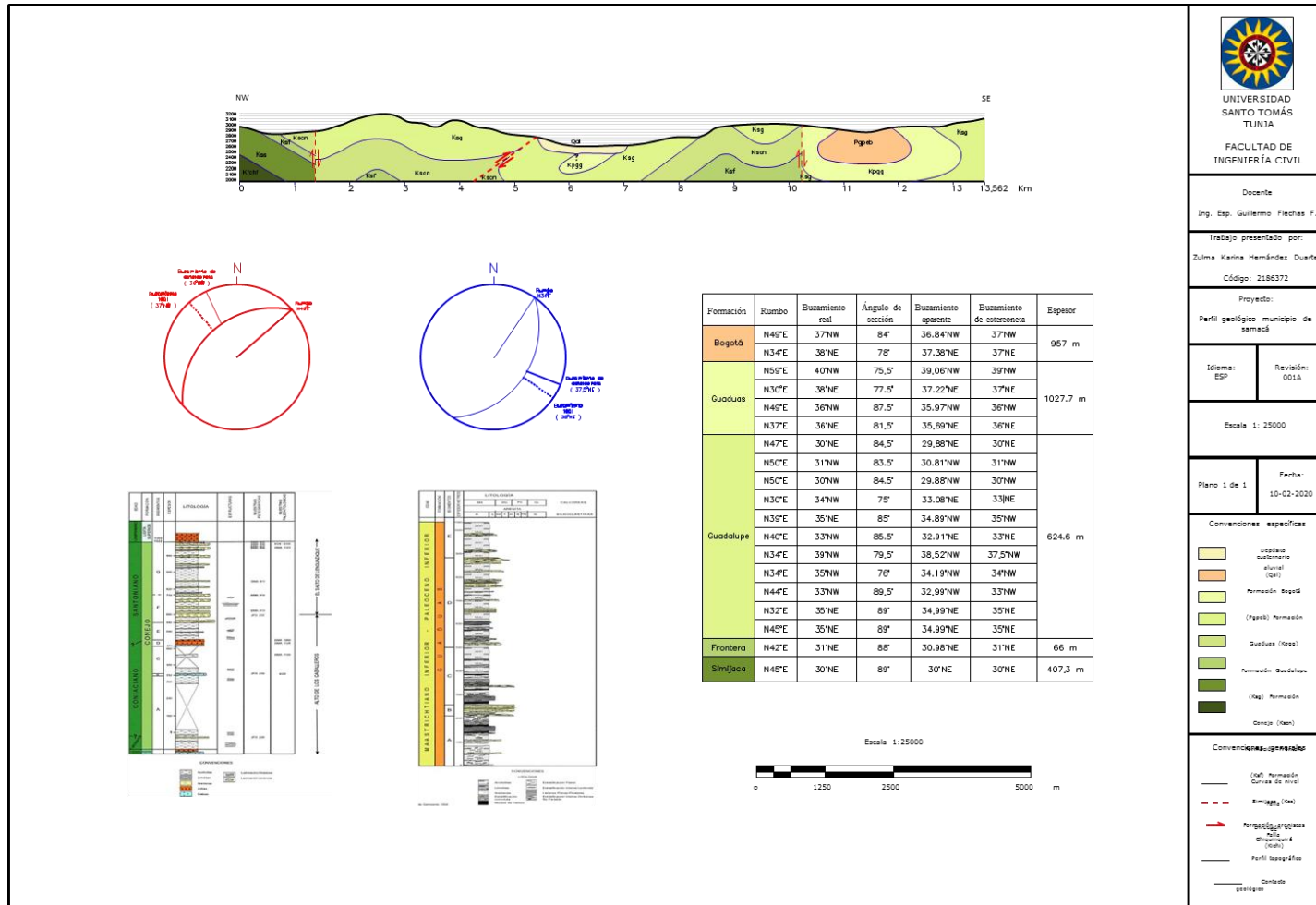
Fuente: elaboración propia

Anexo F. Explicación de cómo obtener la dirección de buzamiento de la falla, (si la línea de sección corta una falla).



Fuente: elaboración propia

Anexo G. Formato de presentación de perfil geológico terminado.



Docente
Ing. Esp. Guillermo Flechas F.
Trabajo presentado por:
Zulma Karina Hernández Duarte
Código: 2186372

Proyecto:
Perfil geológico municipio de samacá

Idioma: ESP
Revisión: 001A

Escala 1: 25000

Plano 1 de 1
Fecha: 10-02-2020

- Convenciones específicas
- Cuadros (Cu)
 - Cuadros (Ca)
 - Formación Bogotá
 - (Pgeol) Formación
 - Guaduas (Gua)
 - Formación Guadalupe
 - (Gua) Formación
 - Guaduas (Gua)

- Convenciones generales
- (Ca) Formación
 - Curvas de nivel
 - Similitud (Ca)
 - Perfil topográfico
 - Perfil topográfico
 - Contacto geológico

Fuente: elaboración propia