

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER

Eliana Jimena Díaz¹; Nathalia Maria Contreras¹; Jorge Eduardo Pinto¹; Francisco Velandia²; Carlos Julio Morales²; Gloria Hincapie².

RESUMEN

Se presenta una evaluación hidrogeológica preliminar de las formaciones litoestratigráficas que afloran en La Mesa de Los Santos con base en la cartografía geológica, estratigrafía e inventario de puntos de agua, complementados con el análisis de la porosidad primaria por medio del estudio petrográfico y la porosidad secundaria relacionada estadísticamente con la cantidad de fracturas de cada formación, su apertura, su interconexión y el buzamiento (cantidad y dirección).

Se destaca el Miembro Superior de la Formación Los Santos como el de mayor potencial por el fracturamiento de la roca, seguido por el Miembro Inferior con baja porosidad primaria y fracturamiento medio. La Formación Silgará, Granito de Pescadero, Formación Jordán y en algunos sectores los niveles arenosos de la Formación Rosablanca presentan un menor potencial debido a su baja porosidad y bajo grado de fracturamiento. Se presenta baja permeabilidad en el Miembro Medio de la Formación Los Santos, en las formaciones Paja y Tablazo, así como en sectores de las formaciones anteriormente mencionadas y en los depósitos del Cuaternario.

Palabras clave: Potencial hidrogeológico, permeabilidad, porosidad, fracturas, petrografía, Mesa de Los Santos

PRELIMINARY HYDROGEOLOGICAL EVALUATION FROM GEOLOGICAL FORMATIONS OF MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER

ABSTRACT

This paper present a preliminary hidrogeological evaluation of La Mesa de Los Santos' lithostratigraphic formations, based on the geological mapping, stratigraphy and inventory of water points. All this is supplemented with the analysis of primary porosity by means of the petrographic study and the secondary porosity related statistically with the quantity of fractures of each formation, as well as opening, interconnection and dip.

It is made an approach to hidrogeological potential of the geologic outcropping formations in La Mesa de Los Santos, Department of Santander, from the stratigraphic and petrographic analysis and the structural features of these formations. The Upper Member of Los Santos Formation presents the highest potential because of rock's fracturing, continued by the Lower Member with low primary porosity and half fracturing. Silgará Formation, Granito de Pescadero, Jordán Formation and some sections of the sandy levels of the Rosablanca Formation presents a lowest potential due to its low porosity and low grade of fracturing. Low permeability is presented in the Middle Member of the Los Santos Formation, Paja and Tablazo formations, as well as in sectors of the forementioned formations and in the Quaternary deposits.

Keywords: hidrogeological potencial, permeability, porosity, fractures, petrography, Mesa de Los Santos.

¹Grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica-MINPETGEO, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia, Correo electrónico: elianajimenad@gmail.com, namacova_81@yahoo.com, joepinto@uis.edu.co

²INGEOMINAS, Diag. 53 # 34-53. Bogotá, Colombia, Correo electrónico: fcovelan@ingeo Minas.gov.co, cmorales@ingeo Minas.gov.co, hincapie@ingeo Minas.gov.co

INTRODUCCIÓN

La región central del Departamento de Santander presenta serios problemas para el suministro del recurso hídrico potable a la comunidad, debido a la escasez de agua superficial y por contaminación de las escasas fuentes existentes. INGEOMINAS por medio del Programa Exploración de Aguas Subterráneas y en convenio con la Universidad Industrial de Santander realizan estudios para determinar el potencial hidrogeológico en la Mesa de Los Santos y así brindar a la comunidad nuevas alternativas de abastecimiento hídrico.

La Mesa de Los Santos está localizada en la región central del Departamento de Santander, al nororiente del país, en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, conformada por los municipios de Los Santos, Piedecuesta y Girón, con una extensión de 430 km². Está delimitada al norte por la quebrada Los Montes; al noreste por el río Manco hasta su desembocadura en el río Chicamocha, el cual se encuentra limitando esta zona hacia el sur y al oeste por el río Sogamoso, desde el sitio conocido como Las Juntas, lugar donde se unen los ríos Chicamocha y Suárez para formar el Sogamoso (FIGURA 1).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el potencial hidrogeológico de las unidades geológicas a partir de

análisis de secciones delgadas y datos estructurales de campo, identificando parámetros hidráulicos de interés como porosidad primaria, porosidad secundaria por fracturamiento y/o procesos de carstificación, los cuales se determinan de forma semicuantitativa en varios tipos de roca. La determinación de permeabilidad se efectúa de manera subjetiva ya que influyen las variaciones de granulometría y composición.

ANTECEDENTES

Algunos trabajos realizados en esta área comprenden el estudio de las estructuras y la evolución morfoestructural de la zona de mesas en Santander, que incluye La Mesa de Los Santos (Julivert, 1958) y la elaboración de la cartografía de la región a escala 1:50.000 (Julivert et al., 1964), Barrero y Navas, 1964). Posteriormente INGEOMINAS (1985) publica una edición especial del Proyecto Cretácico el cual contiene un análisis sedimentológico y tectónico de las unidades cretácicas. Otro estudio corresponde a la relación entre el Sistema de Fallas del Suárez y de Bucaramanga, donde se realiza un análisis estadístico de diaclasas tomadas en diferentes formaciones, entre ellas la Formación Los Santos (Díaz y Suárez, 1998). En cuanto a estudios hidrogeológicos solo se conoce información parcial suministrada por las empresas perforadoras y contratistas privados que han

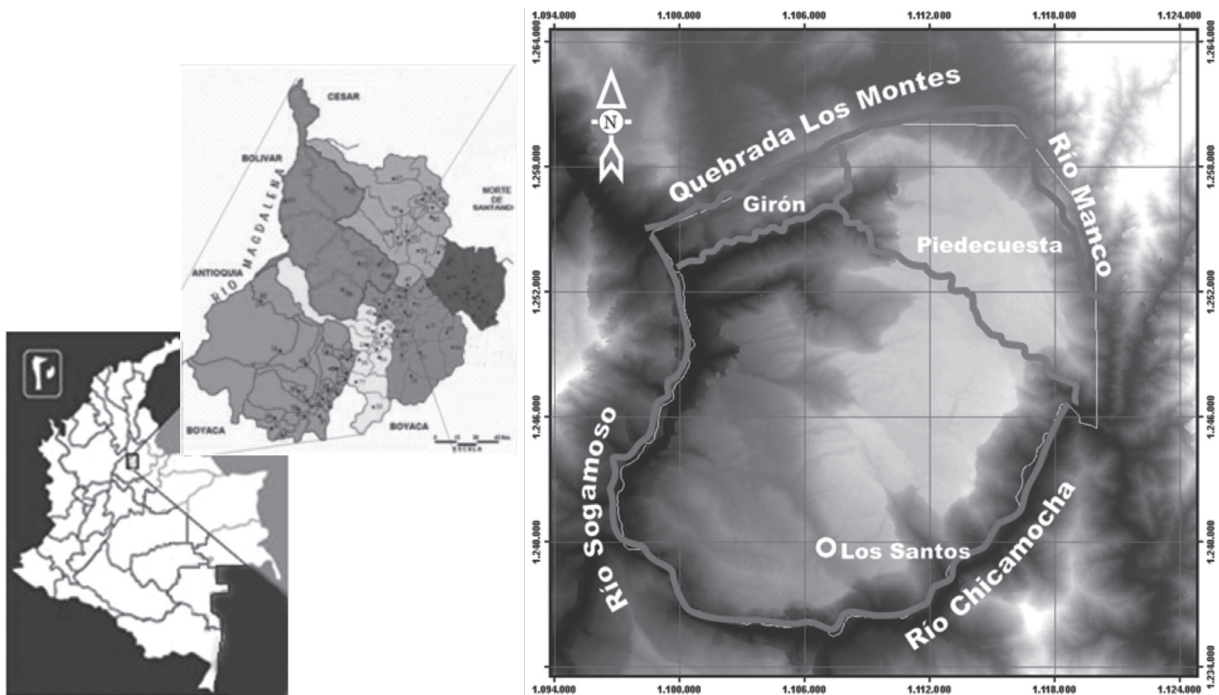


FIGURA 1. Localización geográfica del área de estudio. (Modificado de IGAC, 1997).

Delimitada por los Ríos Chicamocha al S-SE, Sogamoso al W, Manco al NE y la Quebrada Los Montes al N.

La línea roja indica la división municipal de la Mesa de Los Santos, Departamento de Santander.

realizado estudios geoelectrónicos e hidráulicos para la perforación de pozos profundos en la zona, los cuales se encuentran como anexo en (Pinto *et al*, 2008) debido a que la información es de carácter confidencial.

MARCO GEOLÓGICO

La Mesa de Los Santos se encuentra fisiográficamente ubicada en el costado occidental de la Cordillera Oriental, entre el pie de monte cordillerano y el Valle del Magdalena Medio, con una variación altimétrica que oscila entre los 300 y 1800 msnm. Se caracteriza por tener una morfología plana y pendientes suaves con pequeñas colinas hacia la parte central del área y laderas con pendientes moderadas a altas y escarpes hacia los bordes de la Mesa.

En esta área se definieron diferentes unidades geológicas correspondientes a rocas del Paleozoico con metamorfismo de bajo a medio grado de la Formación Silgará; cuerpos ígneos intrusivos del Periodo Jurásico asociados al Granito de Pescadero y rocas sedimentarias continentales del mismo periodo definidas como la Formación Jordán; rocas sedimentarias de edad Cretácica entre las que se encuentran las formaciones Los Santos, Rosablanca, Paja y Tablazo; y depósitos no consolidados del Cenozoico (FIGURA 2).

La Mesa de Los Santos se encuentra limitada por la Falla del Suárez al W, la Falla Bucaramanga al E y la Falla Los Montes al N. La zona presenta fallas con tres orientaciones principales: con dirección NW en su mayoría paralelas, mostrando un alto grado de penetrabilidad; fallas paralelas entre sí con dirección NE y fallas menores con dirección EW (Pinto *et al*, 2008). Localmente se encuentra afectada por un esfuerzo compresivo N-S y un esfuerzo distensivo E-W, con valores de σ_1 : 345/14 y σ_3 : 81/21, respectivamente. Estos esfuerzos generan un elipsoide de deformación que se ajusta al trazo de las fallas de la Mesa, y que presentan dos orientaciones principales NW y NE (Pinto *et al*, 2008). Los controles estructurales y los patrones de diaclasamiento en la Mesa de Los Santos condicionan la porosidad secundaria por fracturamiento y la dirección del flujo, según la presencia de diaclasas, fallas, o pliegues. Algunas de estas estructuras permiten la infiltración y circulación del agua, y la recarga del acuífero, siempre y cuando exista mayor densidad de fracturas que afloren en superficie, que se encuentren interconectadas y que tengan una apertura mínima.

METODOLOGÍA

Para definir zonas con potencial hidrogeológico en la Mesa de Los Santos, se analizan factores de porosidad

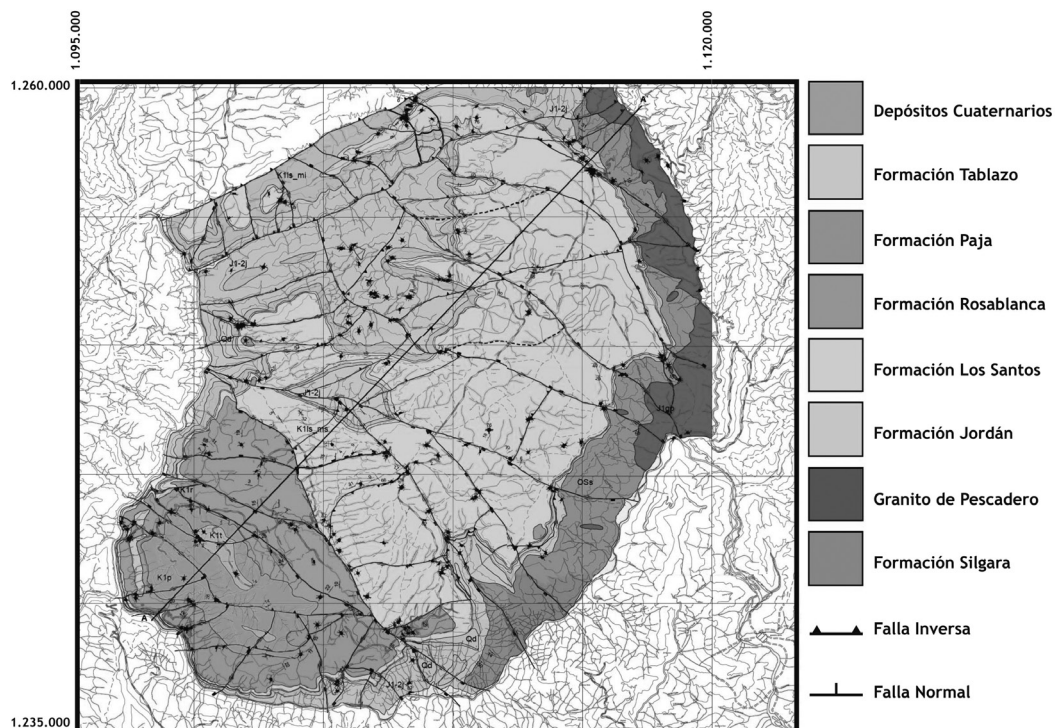


FIGURA 2. Mapa geológico de la Mesa de Los Santos. Departamento de Santander. (Tomado de Díaz, 2008).

y fracturamiento con base en la estratigrafía, petrografía, análisis de fracturas, cartografía geológica e inventario de puntos de agua, información recolectada durante la fase de campo realizado en La Mesa de Los Santos (Pinto *et al.*, 2008).

Con base en las columnas estratigráficas (Pinto *et al.*, 2008) se estimaron las variaciones en la porosidad y la permeabilidad debido a cambios litológicos y granulométricos de los tres miembros de la Formación Los Santos. Para las demás formaciones dichos cambios se determinaron con la descripción macroscópica de las muestras recolectadas en la cartografía, y el inventario de puntos de agua.

Para el análisis petrográfico, se impregnaron las secciones delgadas con tinte azul y se observaron en un Microscopio Nikon Eclipse E200 con la finalidad de obtener rangos de porosidades totales y eficaces para estimar cualitativamente la permeabilidad de las rocas e identificar su potencial hidrogeológico.

El análisis estructural consistió en el tratamiento estadístico de datos de fracturas de las formaciones, empleando el programa Surfer 8¹, con el fin de realizar mapas de distribución de la apertura, la densidad de fracturamiento y la cantidad de buzamiento de las diaclasas. De este análisis se estableció la zona noreste y centro de la Mesa de Los Santos como de mayor interés hidrogeológico, por lo que se procedió a procesar los datos estructurales de estas zonas, correspondientes a la Formación Los Santos, con el programa Tectonics fp² para determinar las principales familias de diaclasas y su comportamiento hidráulico debido a su interconexión (Contreras, 2008).

Finalmente, la información obtenida con el inventario de puntos de agua contribuyó a corroborar y establecer qué formaciones y cuáles posibles zonas poseen el mayor interés hidrogeológico para futuros estudios complementarios.

MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS DE LAS FRACTURAS

Con el procesamiento de los datos estructurales en el programa Surfer 8, se obtuvieron tres mapas de distribución espacial relacionados con la apertura de las diaclasas, la densidad de fracturamiento y la cantidad de

buzamiento de las mismas. Todo esto con el objetivo de identificar las áreas donde se encuentra un mayor interés hidrogeológico relacionado con las características de las fracturas.

El mapa de distribución de apertura de las diaclasas refleja las áreas de mayor dominio de diaclasas abiertas o diaclasas cerradas. Las diaclasas abiertas se concentran principalmente en el noreste, centro y en los escarpes de la Mesa. Por el contrario, el diaclasamiento cerrado se presenta al suroeste y este de la Mesa (FIGURA 3). Las áreas con mayor presencia de diaclasas abiertas tienen mayor importancia hidrogeológica, pues la infiltración y el flujo de agua son mejores que en las áreas con diaclasamiento cerrado, donde el flujo es lento.

La distribución espacial de la densidad muestra altas concentraciones de fracturamiento en los escarpes hacia el este de la Mesa de Los Santos, en la cuenca remontante de la Vereda La Purnia y la cuenca colgante de la Quebrada Potreros. Las bajas densidades de fracturamiento dominan el suroeste, norte y parte del centro de la Mesa de Los Santos (FIGURA 4).

El mapa de distribución del buzamiento indica que la mayoría de diaclasas en toda la zona presenta buzamientos entre 70° y 90°, y de menor rango se registran buzamientos entre 40° y 70° (FIGURA 5).

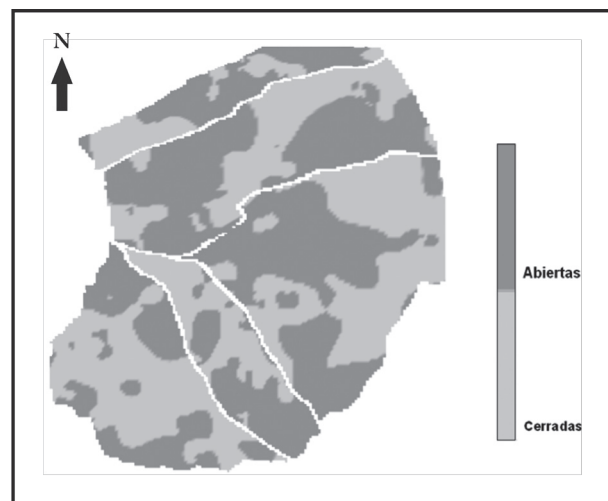


FIGURA 3. Mapa de distribución de diaclasas abiertas y cerradas en la Mesa de Los Santos. (Tomado de Pinto *et al.*, 2008).

1 <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml>

2 <http://www.tectonicsfp.com/>

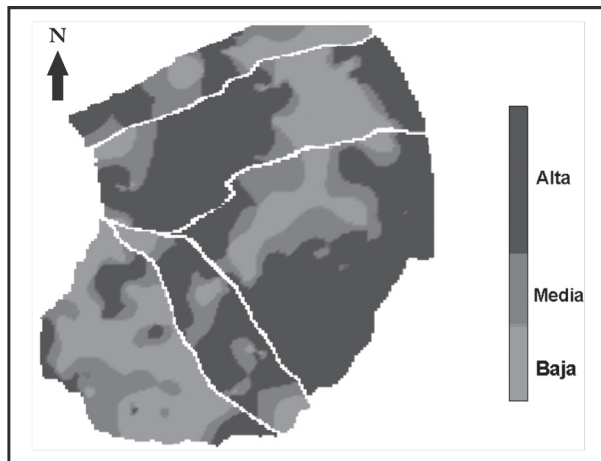


FIGURA 4. Mapa de distribución espacial de la densidad de fracturamiento en la Mesa de Los Santos. (Tomado de Pinto *et al.*, 2008).

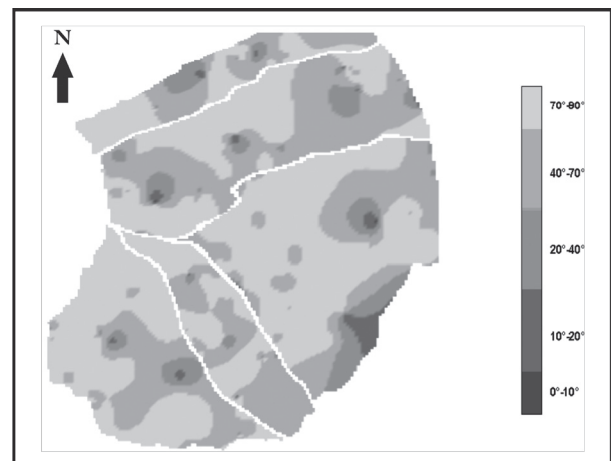


FIGURA 5. Mapa de distribución espacial de los rangos de buzamiento de las diaclasas en la Mesa de Los Santos. (Tomado de Pinto *et al.*, 2008).

UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS A PARTIR DE ESTRATIGRAFÍA, PETROGRAFÍA Y ANÁLISIS DE FRACTURAS

A partir del análisis de las secciones delgadas (Díaz, 2008) y de los datos estructurales de campo (Contreras, 2008) se estableció la composición, textura, tipo de porosidad y permeabilidad de las formaciones geológicas aflorantes en la Mesa de los Santos para definir sus características hidrogeológicas.

Formación Silgará

La Formación Silgará aflora en el escarpe oriental de la Mesa de Los Santos, compuesta por esquistos micáceos cloríticos con granate y textura lepidoblástica. La unidad presenta en general una baja porosidad primaria y bajo fracturamiento, con una porosidad total de 8 a 10%, poros interconectados y asociados a los planos de esquistosidad y con una porosidad efectiva del 5% (FIGURA 6A).

Se define como un posible acuitardo, sin embargo, hacia el noreste, en la Vereda San Miguel y al sureste en la Vereda San Rafael, se observa un aumento de la porosidad secundaria asociada a la alta densidad de fracturamiento, definiéndose como un posible acuífero fracturado. Se encontraron cuatro manantiales con caudales de 0.01 a 0.08 l/s.

Granito de Pescadero

El Granito de Pescadero se encuentra en la vertiente NE del río Chicamocha en la Mesa de Los Santos. La unidad

está constituida por rocas de composición granítica, con textura porfírica a afanítica y por pegmatitas; se puede dividir en dos zonas según su porosidad secundaria. La primera se encuentra hacia el NE de la Mesa, en la cual se observa alta densidad de fracturas asociadas a procesos tectónicos, definiéndose como un posible acuífero fracturado; allí existen dos manantiales con caudal de 0.30 l/s. La segunda zona está al SE de la Mesa, se caracteriza por la baja porosidad secundaria y se considera como un posible acuitardo.

Formación Jordán

La Formación Jordán aflora en casi toda la zona de estudio, pero se adelgaza hacia el NE. La unidad se puede dividir en dos zonas, según sus características litológicas e hidrogeológicas. La primera se encuentra hacia el NE del área, donde afloran limolitas con contenido de carbonatos intercaladas con areniscas limosas de grano fino y conglomerados líticos hacia la base; presenta baja porosidad primaria interpartícula (FIGURA 6B) y aumento de porosidad secundaria por alta densidad de fracturas abiertas en dirección NW-SE. Se hallaron tres manantiales perennes. La permeabilidad media de la secuencia litológica que aflora en esta zona la define como un posible acuífero fracturado.

La segunda zona se encuentra al SE del área y está conformada principalmente por limolitas con contenido de carbonatos intercaladas con areniscas limosas a arcillosas de grano fino muy cementadas. A pesar de su alto grado de fracturamiento, la mayoría de diaclasas se encuentran cerradas y rellenas de carbonatos. La porosidad efectiva es baja debido al alto contenido

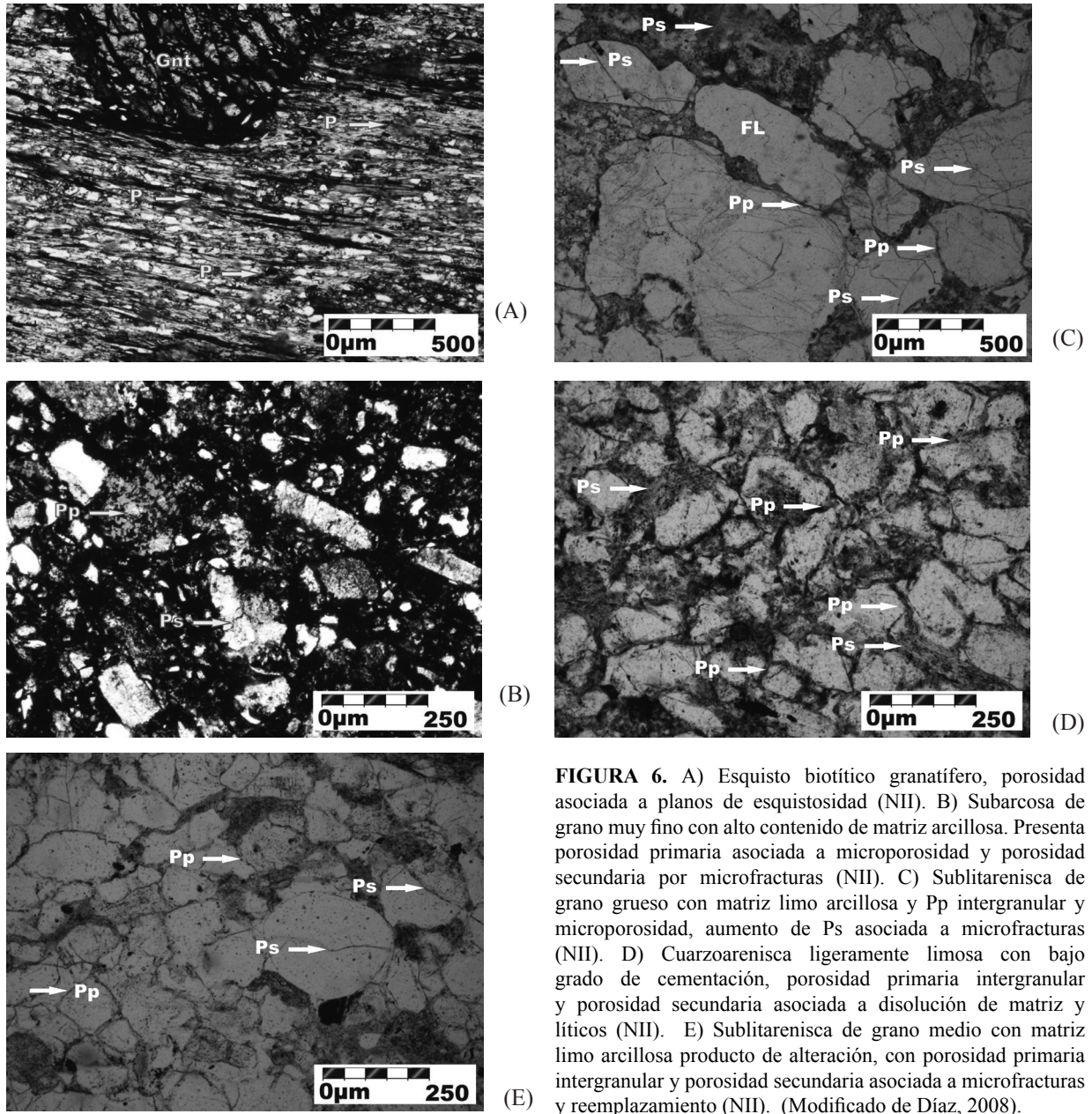


FIGURA 6. A) Esquisto biotítico granatífero, porosidad asociada a planos de esquistosidad (NII). B) Subarcosa de grano muy fino con alto contenido de matriz arcillosa. Presenta porosidad primaria asociada a microporosidad y porosidad secundaria por microfracturas (NII). C) Sublarenisca de grano grueso con matriz limo arcillosa y Pp intergranular y microporosidad, aumento de Ps asociada a microfracturas (NII). D) Cuarzoarenisca ligeramente limosa con bajo grado de cementación, porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a disolución de matriz y líticos (NII). E) Sublarenisca de grano medio con matriz limo arcillosa producto de alteración, con porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a microfracturas y reemplazamiento (NII). (Modificado de Díaz, 2008).

Abreviaturas: P – porosidad, Gnt – granate, NII – luz polarizada plana, FL - fragmento lítico, F- feldespato, Pp – porosidad primaria, Ps – porosidad secundaria.

de material arcilloso. Estos factores indican que esta secuencia litológica de la Formación Jordán presenta una baja permeabilidad y se define como un posible acuitardo.

Formación Los Santos

La Formación Los Santos presenta gran extensión en la zona de estudio, aflora en las cotas de más altura de la Mesa y hacia el suroeste en las cotas de menor altura. Está constituida de base a techo por conglomerados y areniscas conglomeráticas con intercalaciones de areniscas finas y limolitas; limolitas y arcillolitas intercaladas con areniscas de grano muy fino a fino, y areniscas de grano fino a muy fino con delgadas capas de limolitas y arcillolitas hacia el techo. A continuación se analizan los tres miembros de esta formación.

Miembro Inferior

Esta secuencia se constituye hacia la base por intercalaciones de conglomerados arcillo arenosos, con areniscas conglomeráticas arcillo arenosas, y hacia el tope se compone de areniscas de grano fino a muy grueso con intercalaciones de areniscas conglomeráticas y conglomerados. En general, el Miembro Inferior presenta alto contenido de matriz arcillo arenosa de composición illítica (50-90%) que reduce notoriamente la permeabilidad y lo definen como un posible acuitardo. Sin embargo, hacia el este y oeste de la Mesa de los Santos la secuencia se considera como un acuífero fracturado ya que presenta porosidad primaria intergranular de 5% asociado a microporosidad de la matriz, y porosidad secundaria del 10% asociado a microfracturas (FIGURA 6C), y porosidad secundaria por alta densidad de fracturamiento, con diaclasas abiertas cuya dirección preferencial es NW-SE. Se encontraron quince manantiales con caudales de 0.02-0.20 l/s

Miembro Medio

Esta sucesión está conformada por intercalaciones de capas delgadas de areniscas de grano muy fino a fino, con capas medias de arcillolita a limolitas con illita (60-90%). Hacia el tope se encuentran areniscas de grano fino a muy fino, con capas medias de arcillolita. Generalmente, este miembro presenta baja porosidad primaria debido al alto contenido de matriz arcillosa; se define como un posible acuitardo. Hacia el este y oeste de la zona donde aflora el Miembro Medio, se presenta un aumento en la permeabilidad asociada a la porosidad secundaria por fracturamiento y le confiere carácter de un posible acuífero fracturado.

Miembro Superior

El miembro está conformado hacia la base por capas medias de areniscas de grano fino, con esporádicas y delgadas intercalaciones de areniscas de grano grueso. Hacia el techo se presentan intercalaciones de capas medias de areniscas de grano medio con capas finas de areniscas de grano fino. En el norte de la zona, este miembro presenta matriz arcillo arenosa, reduciendo un poco la permeabilidad de la roca. Debido a su bajo grado de compactación puede ser lavado fácilmente. Hacia el este y el oeste presenta alto contenido de cemento silíceo y permeabilidad media, así como porosidad secundaria media asociada al fracturamiento.

En el centro de la Mesa, este miembro presenta alta porosidad primaria (15%) asociado a porosidad intergranular y disolución de matriz y líticas. (FIGURA 6D), y porosidad secundaria con una densidad media a baja de fracturas con dirección N20-50E y con buzamientos entre 80° y 90°. El fracturamiento aumenta hacia el este, pero las diaclasas son cerradas. En esta zona se encuentran cinco pozos con profundidades entre 35 y 105 m, 36 aljibes entre 2.7 y 19 m, y 12 manantiales.

En el norte, presenta una porosidad total que varía de 8 a 12%, porosidad primaria de 6 a 8% y porosidad de 4 a 6% por microfracturas y disolución (FIGURA 6E), la porosidad secundaria se manifiesta con diaclasas abiertas de 340° a 360° de azimuth y otras en dirección EW con buzamientos entre 80° y 90°; la densidad de fracturamiento aumenta hacia los escarpes. Según el inventario de puntos de agua subterránea, en esta zona se ubican 29 pozos que presentan profundidades entre 23 y 108 m, 98 aljibes entre 1.5 a 19.5 m, y 73 manantiales.

Hacia el sur, este miembro se caracteriza por su alta densidad de fracturamiento; predominan las diaclasas abiertas en sentido N-S y ángulo de buzamiento principal de 80° a 90° y en menor proporción se presentan ángulos entre 50° y 70°. En esta zona se encuentran 9 pozos cuyas profundidades oscilan entre los 29 y 100 m; 23 aljibes y 36 manantiales. Este miembro se considera como un acuífero en el norte de la Mesa y como acuífero fracturado hacia el sur.

Formación Rosablanca

La Formación Rosablanca aflora en el suroeste de la Mesa de Los Santos. Litológicamente está constituida hacia la base por potentes capas de calizas con capas delgadas a medias de limolitas calcáreas; seguido por

intercalaciones de capas medias de limolitas calcáreas con calizas; y capas medias a gruesas de arenisca de grano fino a medio ferruginosas con huellas fósiles, alternadas con capas delgadas a medias de calizas y capas delgadas a medias de arcillolitas calcáreas.

Las areniscas de esta formación tienen una porosidad eficaz del 3% debido a que la matriz arcillosa rellena los poros intergranulares y la porosidad por microfracturamiento es baja (FIGURA 7A), además su porosidad secundaria por fracturamiento es baja, características que las definen como un posible acuitardo. Las calizas que afloran en las veredas La Loma, Laguna Alta y El Diamante son macizas y compactas, y las diaclasas son cerradas o están rellenas de carbonatos. Las ocasionales diaclasas abiertas tienen dirección NS y buzamientos entre 80° y 90°. Estas calizas presentan baja porosidad primaria y secundaria.

En la Vereda Regadero Alto, las areniscas con carbonatos y huellas fósiles presentan diaclasas abiertas con dirección NS y buzamientos entre 70°-90°, con alta porosidad secundaria por disolución de material carbonatado y fósiles. Estos factores permiten definir el nivel de areniscas limosas ferruginosas fosilíferas como un posible acuífero. Se identificaron tres manantiales y hacia el escarpe sur de la zona se encontró un aljibe de 2.6 m de profundidad y nivel estático de 1.24 m.

Formación Paja

Esta formación aflora al SW de la Mesa de Los Santos; hacia la base se compone de limolitas con concreciones de caliza y láminas de yeso muy fino, hacia el techo está conformada por limolitas micáceas muy fisiles con concreciones de caliza intercaladas con capas de arenisca arcillosa y limolitas calcáreas. Presenta porosidad total muy baja (FIGURA 7B), porosidad eficaz (<2%), porosidad primaria intergranular 3-5% y permeabilidad nula, factores que indican que la roca se comporta como un posible acuífugo.

Formación Tablazo

La Formación Tablazo aflora al SW de la Mesa de Los Santos. Su litología comprende capas gruesas de areniscas calcáreas de grano fino a medio, muy compactas con alto contenido fósil, y calizas fosilíferas. Composicionalmente se trata de cuarzoareniscas con alto contenido de matriz arcillosa, con porosidad total

de 2-4%, asociada principalmente a porosidad primaria; pero debido al alto contenido de matriz arcillosa, la porosidad efectiva se reduce (FIGURA 7C). Esto indica que la permeabilidad y porosidad son bajas interpretándose como un posible acuitardo.

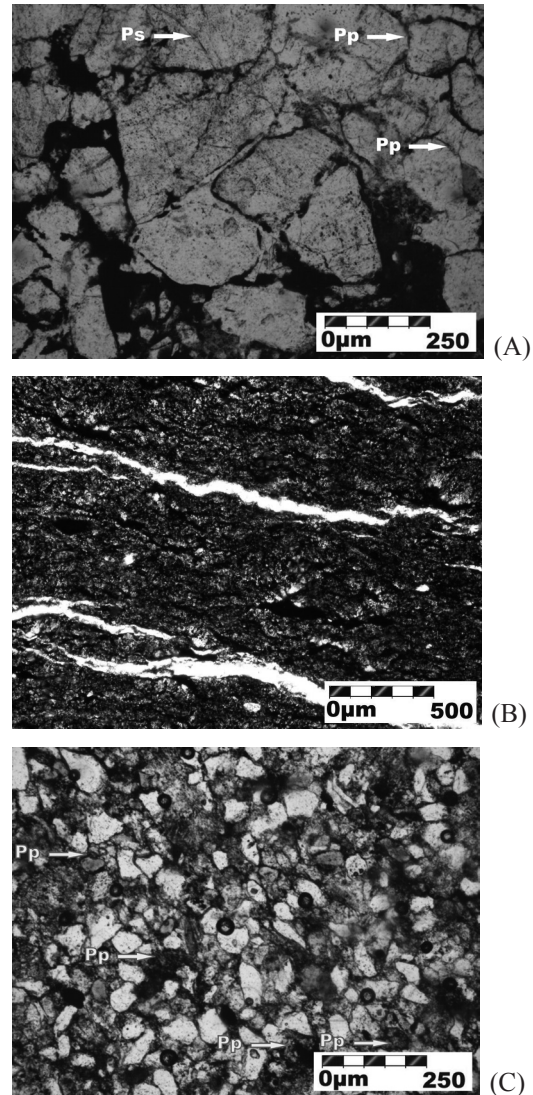


FIGURA 7. A) Arenisca de grano fino a medio con matriz arcillosa. La porosidad total está asociada a porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria por fracturamiento de los granos y disolución de la matriz (NII). B) Arcillolita. No se observan poros, posiblemente se presente microporosidades asociadas a la matriz no apreciables a esta escala. (NII). C) Arenisca limosa de grano muy fino y matriz arcillosa. La porosidad está asociada a porosidad primaria principalmente (NII). (Modificado de Díaz, 2008).

Abreviaturas: NII – luz polarizada plana, Pp – porosidad primaria, Ps – porosidad secundaria.

Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos están representados por acumulaciones aluviales y de derrubio. Los depósitos aluviales se presentan como terrazas de origen hidrogravitacional a lo largo de los ríos Chicamocha y Sogamoso; están constituidos por limos de la Formación Jordán con cantos y bloques principalmente de la Formación Los Santos, que han sido transportados por los cauces de las principales quebradas.

Los depósitos de derrubios se encuentran hacia los escarpes de la Mesa de Los Santos. Están constituidos por cantos y bloques que han sido transportados por procesos de escorrentía superficial, principalmente de la Formación Los Santos y depositados sobre limos de la Formación Jordán. Los depósitos cuaternarios aluviales y de derrubio tienen extensión reducida, presentan baja permeabilidad y se comportan como acuitardos.

DISCUSION DE RESULTADOS

El Miembro Superior de la Formación Los Santos hacia el norte presenta porosidad primaria media con

variaciones texturales hacia el sur, presentando un aumento de porosidad intergranular hacia el centro y una compactación de las rocas hacia el este y el oeste que reducen su porosidad primaria y aumentan su porosidad secundaria por fracturamiento, definiéndola como la unidad geológica con mayor potencial hidrogeológico (FIGURA 8).

El Miembro Inferior presenta alto contenido de matriz arcillosa de composición illítica principalmente, reduciendo su porosidad primaria y su permeabilidad, pero hacia el sur presenta un aumento en la cementación, compactación y en la permeabilidad producto del fracturamiento, permitiendo que esta formación tenga potencial hidrogeológico alto a medio en estos sectores.

La Formación Silgará, el Granito de Pescadero y la Formación Jordán presentan en general una porosidad baja y ningún interés hidrogeológico, pero al NE aumenta su potencial hidrogeológico debido al fracturamiento ocasionado por la tectónica de la zona. La Formación Rosablanca presenta generalmente baja porosidad primaria y secundaria, por ende baja permeabilidad y ningún interés hidrogeológico; pero los niveles arenosos presentan un aumento en su porosidad por disolución de

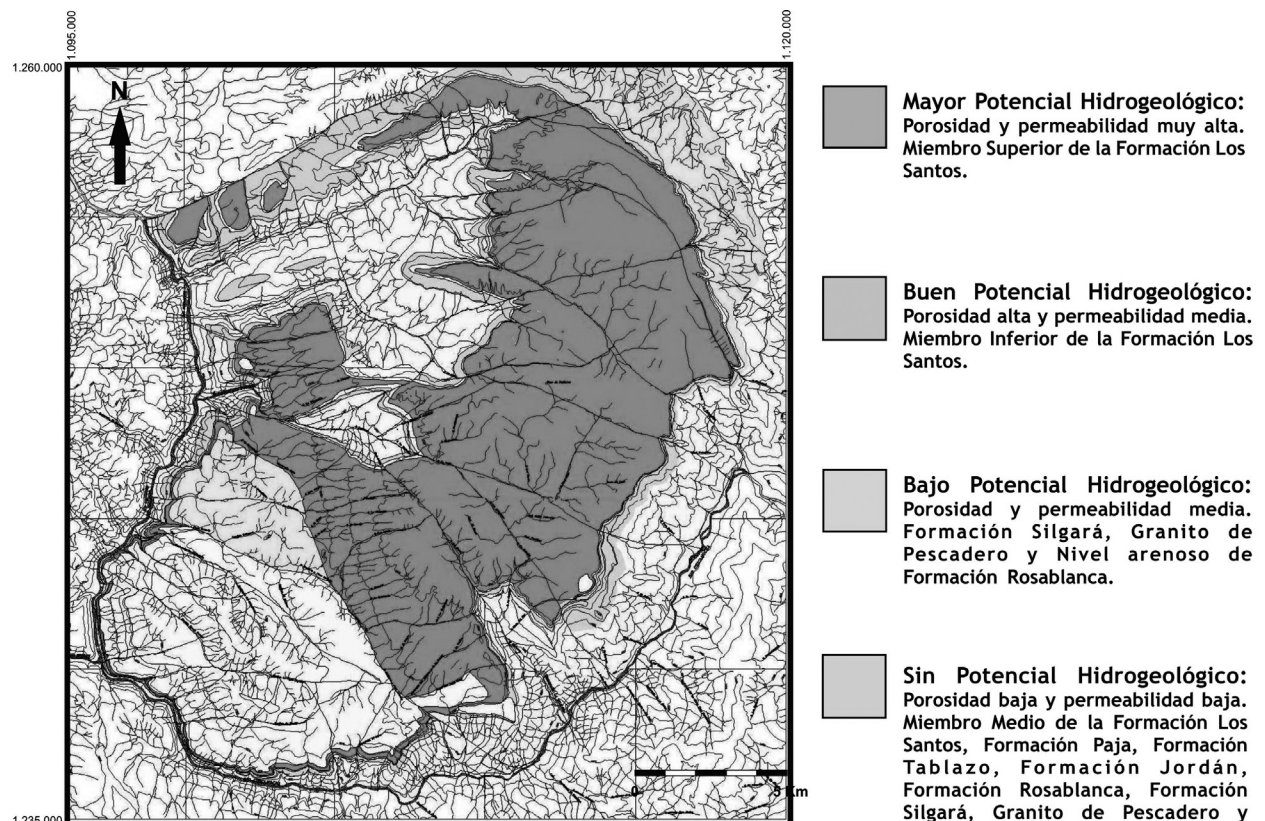


FIGURA 8. Mapa del potencial hidrogeológico de la Mesa de Los Santos, Departamento de Santander. (Tomado de Contreras *et al*, 2009).

materiales calcáreos permitiendo que estos aumenten su permeabilidad y tengan un potencial hidrogeológico medio.

El Miembro Medio de la Formación Los Santos presenta un alto contenido de matriz arcillosa de composición illítica y cambios verticales de granulometría, confinando así niveles con interés hídrico y como la formación en mención también presenta un aumento en el grado de cementación hacia los escarpes que podrían permitir un aumento en la permeabilidad por la fracturación de la zona, pero su contenido de matriz arcillosa y de illita lo define como una zona sin potencial hidrogeológico.

Las formaciones Paja y Tablazo presentan baja porosidad primaria y secundaria, permeabilidad baja a nula y no presentan ningún interés hidrogeológico. Los depósitos no consolidados presentan baja permeabilidad y no representan interés hidrogeológico en esta zona.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se establece que en la Mesa de Los Santos se presenta mayor potencial hidrogeológico asociado al Miembro Superior de la Formación Los Santos por tener una porosidad primaria media y porosidad secundaria alta, aumentando su permeabilidad. El Miembro Inferior aunque presenta baja porosidad primaria, aumenta su permeabilidad por el fracturamiento de la roca.

Localmente, las formaciones Silgará, Jordán, así como el Granito de Pescadero y los niveles arenosos de la Formación Rosablanca se definen como de menor potencial hidrogeológico por su baja porosidad primaria, aunque en algunas zonas presentan fracturamiento.

Se consideran como unidades sin interés hidrogeológico por su baja porosidad y permeabilidad la mayor parte de afloramiento de las unidades Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Miembro Medio de Los Santos, Rosablanca, Paja, Tablazo y los depósitos no consolidados.

Se recomienda considerar como preliminares, las conclusiones obtenidas que serán complementadas con los resultados obtenidos en los estudios geofísicos e hidráulicos como de sondeos eléctricos verticales, pruebas de bombeos y pozos exploratorios para definir con mejores parámetros el potencial hidrogeológico de las formaciones en esta zona.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Exploración de Aguas Subterráneas de INGEOMINAS (PEXAS), a la Universidad Industrial de Santander, en particular a la Escuela de Geología, al grupo MINPETGEO, en especial a los profesores Luis Carlos Mantilla y Jorge E Pinto y a los geólogos Nadia Rojas P., José Pedro Mora y David Gutiérrez.

REFERENCIAS

Contreras, N. 2008. Análisis del fracturamiento presente en la Formación Los Santos al Noreste y Centro de la Mesa de Los Santos, Departamento de Santander. Trabajo de grado, Escuela de Geología, Facultad de Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 27 p.

Contreras, *et al.* 2009. Análisis preliminar del potencial hidrogeológico en la Mesa de Los Santos, región central del departamento de Santander. III Congreso Colombiano de Hidrogeología. Bogotá. 6 al 10 de Julio de 2009. Memorias en imprenta.

Díaz, E. 2008. Análisis preliminar del potencial hidrogeológico en la Mesa de Los Santos, región central del departamento de Santander. Trabajo de grado, Escuela de Geología, Facultad de Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 36 p.

Pinto, J. *et al.* 2008. Investigación geológica e hidrogeológica en la Mesa de Los Santos, Sector Nordeste de Curití y borde occidental del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Informe Interno INGEOMINAS, Bogotá, 363 p.

Trabajo recibido: Abril 14 de 2009

Trabajo aceptado: Mayo 29 de 2009