

**ANALISIS PRELIMINAR DEL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO EN LA MESA
DE LOS SANTOS, REGION CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE
SANTANDER**

ELIANA JIMENA DÍAZ ALVAREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2008

**ANALISIS PRELIMINAR DEL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO EN LA MESA
DE LOS SANTOS, REGION CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE
SANTANDER**

ELIANA JIMENA DÍAZ ALVAREZ

Código: 2000268

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de
Geóloga

Director

JORGE EDUARDO PINTO VALDERRAMA

Geólogo M. Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2008

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Gilberto (in memorian), y Rosa que siempre me ha guiado y apoyado por difícil que fuera la meta.

A mis hermanas Luceth, Irina y Luz Marina por sus consejos y apoyo emocional.
A mi familia que siempre me han apoyado y creído en mí

A mis sobrinas Natalia y Catalina que son el motor de mi vida, que todo lo que se propongan en la vida pueden lograrlo por difícil que parezca y grandes los obstáculos que se atraviesan, con esfuerzo y pasión por conseguirlo, se puede lograr, y recuerden que entre mas cueste obtener nuestras metas, mas satisfactoria es la recompensa.

A mi director de proyecto Jorge Eduardo Pinto por concederme la confianza y la oportunidad de participar y aportar mi trabajo al proyecto.

A la escuela de Geología, en especial a sus docentes por guiarme a través de mi vida universitaria y prepararme para mi vida profesional.

A mis amigos que siempre me han apoyado y acompañado a través de este largo camino recorrido, y en los tropiezos que he tenido siempre me han brindado su mano para levantarme y seguir hacia delante.

A Dios porque me ha bendecido colocando en mi camino a todas las personas arriba mencionadas, que me han enseñado y formado para ser una mejor persona y poder seguir mi camino con la frente en alto cosechando triunfos.

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. OBJETIVOS	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. METODOLOGIA	13
3. ANTECEDENTES	14
4. MARCO GEOLOGICO	15
5. RESULTADOS	16
5.1. UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS A PARTIR DE LITOESTRATIGRAFÍA, PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE ARCILLAS	16
5.1.1. Formación Silgará	16
5.1.2. Granito de Pescadero	17
5.1.3. Formación Jordán	17
5.1.4. Formación Los Santos	18
5.1.4.1. Miembro Inferior	18
5.1.4.2. Miembro Medio	20
5.1.4.3. Miembro Superior	22
5.1.5. Formación Rosablanca	24
5.1.6. Formación Paja	25
5.1.7. Formación Tablazo	25

5.1.8. Depósitos Cuaternarios	26
6. DISCUSION DE RESULTADOS	27
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFIA.....	30

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** Localización geográfica del área de estudio. **32**
- FIGURA 2.** Mapa geológico de la Mesa de Los Santos. Departamento de Santander..... **33**
- FIGURA 3.** 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) Sublitarenisca de grano grueso ligeramente granular con matriz limo arcillosa donde se observa Fl, Pp intergranular y Ps asociada a microfracturas (NII). D) Sublitarenisca de grano grueso con matriz limo arcillosa y porosidad primaria intergranular y microporosidad, aumento de porosidad secundaria asociada a microfracturas (NII)..... **34**
- FIGURA 4.** Microfotografías para el Miembro Medio de la Formación Los Santos en la sección La Despulpadora y Calicho respectivamente. A) Microfotografía a 846X de una arcillolita de composición ilitica y porosidad total de 8%. Con porosidad de 6% asociado a microporos y 2% a ultraporos sin conexión entre ellos. B) Microfotografía a 340X de una limolita de composición ilitica y 1% de porosidad total, asociada a microporos sin conexión. **35**
- FIGURA 5.** A) Sublitarenisca de grano medio con matriz limo arcillosa producto de alteración, con porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a microfracturas y reemplazamiento (NII). B) Cuarzoarenisca ligeramente limosa con bajo grado de cementación, porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a disolución de matriz y líticos (NII). C) Arenisca de grano fino a medio con matriz arcillosa. La porosidad total esta asociada a porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria por fracturamiento de los granos y disolución de la matriz (NII). D) Arcillolita. No se observan poros, posiblemente se presente microporosidades asociadas a la matriz no apreciables a esta escala. (NII). E) Arenisca limosa de grano muy fino y matriz arcillosa. La porosidad esta asociada a porosidad primaria principalmente (NII)..... **36**

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Columa Estratigráfica La Navarra

Anexo 2. Columa Estratigráfica La Punta

Anexo 3. Columa Estratigráfica Carrizal

Anexo 4. Columa Estratigráfica Calicho

RESUMEN

TITULO: ANALISIS PRELIMINAR DEL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO EN LA MESA DE LOS SANTOS, REGION CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER *

AUTOR: Eliana Jimena Díaz Álvarez**

PALABRAS CLAVES: Potencial hidrogeológico, permeabilidad, porosidad, DRX, petrografía, Mesa de Los Santos.

DESCRIPCIÓN:

A partir del análisis de los aspectos litoestratigráficos obtenidos de las columnas estratigráficas, los estudios petrográficos realizados a las unidades geológicas presentes en la zona y la mineralogía de arcillas, específicamente la interpretación de la Difracción de Rayos X (DRX) y las microfotografías de microscopia de barrido (SEM) realizada a los tres miembros de la Formación Los Santos se hace una aproximación del potencial hidrogeológico de las formaciones geológicas aflorantes en la Mesa de Los Santos, Departamento de Santander.

El Miembro Superior de la Formación Los Santos de gran extensión areal y aflorando en las cotas de mas altura de la Mesa presenta mayor potencial hidrogeológico asociado principalmente a la porosidad primaria con aumento de la permeabilidad por el fracturamiento de la roca producto de la tectónica local y regional, seguido del Miembro Inferior que presenta baja porosidad primaria y fracturamiento medio. Las formaciones Rosablanca, en sus niveles arenosos, Silgará, Jordán y Granito de Pescadero, en algunos sectores, presentan menor potencial debido a su fracturamiento y las Formaciones Paja, Tablazo, el Miembro Medio de la Formación Los Santos, así como el resto de sectores de las formaciones anteriormente mencionadas y los depósitos cuaternarios presentan baja permeabilidad y ningún interés hidrogeológico en la Mesa de Los Santos.

* Trabajo de grado, Modalidad Pasantía Investigativa

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología.
Director: Geólogo M. Sc. Jorge Eduardo Pinto Valderrama.

ABSTRACT

TITLE: PRELIMINARY ANALYSIS OF THE HYDROGEOLOGICAL POTENTIAL IN LA MESA DE LOS SANTOS, CENTRAL REGION OF THE DEPARTMENT OF SANTANDER*

AUTHOR: Eliana Jimena Díaz Álvarez**

KEYWORDS: Hydrogeological potencial, permeability, porosity, DRX, petrography, Mesa de Los Santos.

DESCRIPTION:

From the analysis of the litostratigraphic from stratigraphic section and petrographic aspects observed to geological formations in this area, and clay mineralogy, specifically X-ray diffraction (DRX) and Scanning Electron Microscopy (SEM) microfotograph took to three members of Los Santos Formation, it's made an approach to hydrogeological potential of the geologic outcropping formations in La Mesa de Los Santos, Department of Santander.

The Upper Member of Los Santos Formation of large areal extension and outcropping on Table Mountain top presents greater hydrogeological potential associated to the primary porosity with increase of the permeability by rock fracturing for local and regional tectonic stress, followed by the Lower Member that presents low primary porosity and intermediate fracturing. The Rosablanca formation, in their sandy levels, Silgará, Jordán and Granito de Pescadero Formations, in some sectors, present minor potential due to their fracturing and the Paja and Tablazo Formations, and the Middle Member of Los Santos Formation, as well as the rest of sectors of the previously mentioned formations and unconsolidated deposit present low permeability and no hydrogeological interest in La Mesa de Los Santos.

* Investigation project.

** Physical-chemical's Engineering College. Geology School.
Director: Geologist M. Sc. Jorge Eduardo Pinto Valderrama.

INTRODUCCION

La región central del Departamento de Santander presenta serios problemas para el suministro del recurso hídrico potable a la comunidad; producto de la escasez de agua superficial y por contaminación de las pocas fuentes existentes. INGEOMINAS por medio del Programa de Exploración de Aguas Subterráneas busca estudiar el potencial hidrogeológico y brindar a la comunidad nuevas alternativas de abastecimiento hídrico, además obtener conocimientos hidrogeológicos a gran escala que apoyaran estudios mas detallados de exploración de este recurso; centrando su atención en el estudio de rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados principalmente), depósitos cuaternarios y desarrollando estudios en rocas calcáreas, ígneas, metamórficas y depósitos volcánicos; que permitan determinar la porosidad y la permeabilidad de estas rocas y evaluar su potencial hidrogeológico.

La Mesa de Los Santos se localiza en la región central del Departamento de Santander, al nororiente del país en la vertiente occidental de la Cordillera oriental y conformada por los municipios de Los Santos, Piedecuesta y Girón; con una extensión de 430 Km² delimitada al Norte por la Quebrada Los Montes; Al Noreste por el Río Manco hasta su desembocadura con el Río Chicamocha el cual se encuentra limitando esta zona hacia el Sur y al Oeste por el Río Sogamoso hasta el sitio conocido como Las Juntas, lugar donde se unen los Ríos Chicamocha, Suárez y Sogamoso.(FIGURA 1).

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el potencial hidrogeológico en la Mesa de Los Santos, región central del departamento de Santander a partir de litoestratigrafía, petrografía y mineralogía de arcillas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variaciones de porosidad y permeabilidad asociadas a los cambios litológicos y granulométricos con base en la información obtenida de la cartografía geológica y las columnas estratigráficas levantadas en la Mesa de Los Santos, departamento de Santander.
- Realizar el análisis petrográfico de las formaciones geológicas de la zona en función de las porosidades totales y eficaces (asociadas a porosidad primaria o porosidad secundaria) y estimar cualitativamente la permeabilidad de las rocas.
- Identificar mediante análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM), la composición y granulometría de la matriz, el tipo de porosidad y su conexión entre ellos para la Formación Los Santos.

2. METODOLOGIA

La metodología usada para la caracterización preliminar del potencial hidrogeológico consistió en el análisis litoestratigráfico, petrográfico y mineralogía de arcillas de la información recolectada durante la fase de campo realizado en la Mesa de Los Santos (INGEOMINAS-UIS, 2008).

En el estudio litoestratigráfico se analizaron los tres miembros de la Formación Los Santos, determinando las variaciones en la porosidad y la permeabilidad por los cambios litológicos y granulométricos de esta formación con base en cada una de las columnas estratigráficas a escala 1:100 levantadas hacia el N, NE, E y W de la Mesa de Los Santos. Los cambios de porosidad y permeabilidad según las variaciones litológicas de las demás formaciones geológicas aflorantes en la zona se determinaron apoyados en la cartografía geológica realizada en la zona.

Para el análisis petrográfico se realizaron las secciones delgadas de cada unidad geológica cartografiada en el área y se impregnaron con tinte azul, luego fueron observadas con un Microscopio Nikon Eclipse E200 y analizadas según la metodología propuesta por (Cruz, Caballero y Álvarez, 2004) para la descripción de rocas sedimentarias; para obtener rangos de porosidades totales y eficaces para estimar cualitativamente la permeabilidad de las rocas e identificar su potencial hidrogeológico.

El análisis de arcillas realizado a los miembros de la Formación Los Santos consistió en la interpretación de los resultados obtenidos por Difracción de Rayos X para determinar la composición y granulometría de la matriz y la interpretación de las microfotografías tomadas a los análisis de microscopia de barrido (SEM) para interpretar el tipo de porosidad y la conexión entre ellos.

3. ANTECEDENTES

La Mesa de Los Santos posee pocos estudios geológicos, (Julivert, Barrero y Navas, 1964) realizó la cartografía geológica detallada a escala 1:50.000, dando una breve descripción estratigráfica y tectónica de la región; posteriormente (INGEOMINAS, 1985) publica una edición especial del Proyecto Cretácico el cual contiene un análisis sedimentológico y tectónico de las unidades cretácicas. En cuanto a estudios hidrogeológicos solo se conoce información parcial suministrada por las empresas perforadoras y contratistas privados que han realizado estudios geoeléctricos e hidráulicos para la perforación de pozos profundos en la zona los cuales se encuentran como anexo en (INGEOMINAS-UIS, 2008) debido a que la información es de carácter confidencial.

Debido a las escasas publicaciones realizadas con respecto al análisis del potencial hidrogeológico para realizar este informe se tuvieron en cuenta la recopilación de metodologías utilizadas para determinar el proceso de migración del petróleo, tomando como apoyo la metodología usada en (Badillo, 1996) para identificar por medio del estudio petrográfico el porcentaje de porosidad total y eficaz para definir su potencial de acumulación. Para fundamentar el análisis litoestratigráfico se tomó como referencia el estudio de (Carreón-Fredey, 2005) interpretando el potencial de acumulación y transporte del agua subterránea apoyándose en las columnas estratigráficas y la cartografía realizada; y (Auge, 2004) presenta un estudio hidrogeológico realizado en Buenos Aires tomando para este fin la información litológica obtenida en la cartografía y la estratigrafía del área. Para realizar el análisis del potencial hidrogeológico de estas formaciones se tuvo como base de evaluación de las propiedades hidráulicas evaluadas en cada una de las unidades aflorantes en la zona las definiciones y conceptos

encontrados en (Custodio y Llamas, 1983) y (Rodríguez, 2006) los cuales determinan valores promedios de porosidad según el tipo de roca.

4. MARCO GEOLOGICO

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

En esta área se definieron diferentes unidades geológicas de edades Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas, las cuales corresponden a: rocas paleozoicas con metamorfismo de bajo grado a medio correspondiente a la Formación Silgara, 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 de edad Cenozoica (FIGURA 2).

La Mesa de Los Santos se encuentra limitada por los sistemas de fallas del Suárez al W, Bucaramanga-Santa Marta al E, Falla Los Montes al N; la zona presenta tres sistemas de fallas, el sistema principal asociado a las fallas longitudinales las cuales muestran una dirección preferencial NW, su mayoría paralelas, mostrando un alto grado de penetrabilidad. El sistema de fallas

transversales y paralelas entre si presenta dirección preferencial NE y las fallas del sistema menor presentan dirección EW (INGEOMINAS-UIS, 2008).

5. RESULTADOS

5.1. UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS A PARTIR DE LITOESTRATIGRAFÍA, PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE ARCILLAS

A partir del análisis de las secciones delgadas se estableció la composición, textura, tipo de porosidad y permeabilidad de las formaciones geológicas aflorantes en la Mesa de los Santos para definir su comportamiento hidrogeológico.

5.1.1. Formación Silgará

La Formación Silgará aflora en el escarpe Oriental de la Mesa de Los Santos, compuesta por esquistos micáceos cloríticos con granate de textura lepidoblástica. Presenta una porosidad total de 8 a 10%, poros interconectados y asociados a los planos de esquistosidad, con una porosidad efectiva del 5%. (FIGURA 3A)

La Formación presenta en general una baja porosidad primaria y bajo fracturamiento; 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 al fracturamiento por la tectónica local, definiéndose como un posible acuífero fracturado.

5.1.2. Granito de Pescadero

El Granito de Pescadero se encuentra en la vertiente NE del Río Chicamocha en la Mesa de Los Santos. Esta constituida por rocas de composición granítica con textura porfirítica a afanítica y pegmatitas. Este puede dividirse en dos áreas según su porosidad secundaria. La primera se encuentra hacia el NE de la Mesa, en la cual se observa porosidad secundaria media asociada a procesos tectónicos definiéndose como un posible acuífero fracturado. La segunda área se encuentra hacia el SE de la Mesa, presenta baja porosidad secundaria asociada al fracturamiento de la roca y se considera como un posible acuitardo.

5.1.3. Formación Jordán

La Formación Jordán aflora en casi toda la zona de estudio excepto hacia la parte NE donde se adelgaza. Dicha formación se puede dividir en dos sectores de interés hidrogeológico, según sus características litológicas. La primera se encuentra hacia el NE del área, conformada por limolitas con contenido de carbonatos intercaladas con areniscas limosas de grano fino y conglomerados líticos hacia la base. Presenta baja porosidad primaria interpartícula y aumento de porosidad secundaria por fracturamiento (FIGURA 3B), debido a la influencia de la Falla de Bucaramanga-Santa Marta, así su permeabilidad media lo define como un posible acuífero fracturado.

El segundo sector se encuentra constituido 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 de material arcilloso. Estos factores indican que la Formación Jordán presenta una baja permeabilidad y se define como un posible acuitardo.

5.1.4. Formación Los Santos

La Formación Los Santos presenta gran extensión areal en la zona de estudio, se encuentra aflorando 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 finas capas de limolita y arcillolita hacia el techo. A continuación se analizan los tres miembros de esta formación.

5.1.4.1. Miembro Inferior

El Miembro Inferior de la columna estratigráfica levantada en La Navarra (ANEXO 1) en el Norte de La Mesa de Los Santos, correspondiente a los segmentos 1 a 14 hacia la base está conformado por intercalaciones de conglomerados arcillo arenosos con arenisca conglomerática arcillo arenosa y una capa mediana de arenisca de grano medio con alto contenido de matriz arcillo arenosa conformando el segmento 4, la matriz se compone principalmente de illita entre 83-92% y caolinita de 7.6%, información obtenida por análisis de DRX. Hacia el tope se

compone principalmente de areniscas de grano fino a muy grueso con intercalaciones de arenisca conglomerática y conglomerados con esporádicas capas muy finas a finas de limolita, intercaladas con areniscas de grano fino a medio. La matriz arcillo arenosa contiene illita entre 54 y 92% y caolinita entre 7 y 21%, (DRX). El Miembro Inferior tiene en general muy alto contenido de matriz arcillo arenosa de composición illítica principalmente, factores que reducen notoriamente la permeabilidad. Por estas razones, este miembro se considera como un posible acuitardo.

El Miembro Inferior de la columna estratigráfica levantada en La Punta (ANEXO 2) hacia el Noreste de La Mesa de Los Santos, corresponde a los segmentos 1 a 9. Este miembro se encuentra definido hacia la base como conglomerados areno limosos con esporádicas intercalaciones de capas medianas de arenisca de grano medio a muy grueso y areniscas conglomeráticas, y finas capas de arcillolitas y limolitas; hacia el tope, está definido como capas de areniscas de grano medio a areniscas conglomeráticas. El Miembro Inferior presenta alto contenido de matriz arcillo arenosa compuesta por illita entre 50-95% y caolinita entre 3-5%; teniendo en cuenta el alto contenido de material arcilloso en la matriz se define como un posible acuitardo.

En la columna estratigráfica levantada en Carrizal (ANEXO 3) hacia el Este de La Mesa de Los Santos, corresponde a los segmentos 1 a 15, esta conformado hacia la base por conglomerados areno limosos con capas de areniscas conglomeráticas de matriz arcillo arenosa compuesta de illita 88% y caolinita 4.3% y capas medianas de conglomerados areno limosos con matriz entre 15-22%, información obtenida por descripción de muestra de mano; seguido de capas medianas de areniscas de grano medio a grueso con matriz arcillo arenosa de composición illita 81.1% y caolinita 4.4%. Hacia el tope se encuentran capas medianas de arenisca conglomerática bien cementadas. En general, este

miembro presenta porosidad primaria de 8% (FIGURA 3C), debido a su alto grado de cementación, y permeabilidad baja a media asociada a la porosidad secundaria por fracturamiento, factores que lo definen como un posible acuífero fracturado.

El Miembro Inferior de la columna estratigráfica levantada en Calicho (ANEXO 4) hacia el Oeste de La Mesa de Los Santos, corresponde a los segmentos 1 a 9. En la base se presentan intercalaciones de capas medias a gruesas de conglomerado de matriz arcillo arenosa con illita 86.4% y clorita 5% principalmente, alternados con capas medianas de arenisca de grano muy fino a medio y capas finas de limolitas; seguido de alternancia de conglomerados areno limosos con capas medianas de areniscas conglomeráticas y capas medianas a finas de arenisca de grano fino a medio de matriz arcillo arenosa con illita 84.8%, caolinita 6.2% y clorita 6.2%. Hacia el tope se presentan capas finas a gruesas de areniscas de grano fino a medio. El Miembro Inferior presenta porosidad primaria intergranular de 5% asociado a microporosidad de la matriz, y porosidad secundaria del 10% asociado a microfracturas (FIGURA 3D). Por el alto grado de compactación y porosidad secundaria relacionada con la tectónica de la zona y la alta permeabilidad de este miembro lo caracteriza como un posible acuífero fracturado.

5.1.4.2. Miembro Medio

En la columna estratigráfica levantada en La Navarra, el Miembro Medio corresponde a los segmentos 15 a 18. En la base, está constituido por intercalaciones de capas finas de arenisca de grano muy fino a fino con capas medianas de arcillolitas a limolitas con illita entre 60 y 85%, caolinita de 7 a 30%. Hacia el tope se encuentran areniscas de grano fino a muy fino con una capa media de arcillolita con lentes de arena en el tope. Basado en lo anterior, este miembro se define como un posible acuitardo en sus niveles inferiores, debido a

su baja permeabilidad, su alto contenido de matriz y porosidad (FIGURA 4A). Y en los niveles superiores, el Miembro Medio se presenta como un posible acuífero confinado, por la presencia de capas de porosidad media y permeabilidad moderada.

El Miembro Medio de la columna estratigráfica levantada en La Punta, corresponde a los segmentos 10 a 13. Está compuesto principalmente por capas finas a muy finas de limolitas y esporádicas capas de areniscas de grano muy fino a fino con aumento del contenido de matriz arcillo arenosa entre 25 a 30%, compuesta por 59.7% de illita y 9.7% de caolinita. Hacia el nivel medio de este miembro se observan capas medias a gruesas de arcillolitas arenosas con 77.6% de illita y 5.6% de clorita, intercaladas con finas capas de arenisca de grano muy fino a fino. El Miembro Medio presenta una permeabilidad y porosidad media, que disminuye hacia la base por el alto contenido de matriz arcillosa; estos factores caracterizan a este miembro como un posible acuífero con un nivel confinante hacia la base, y seguido por un acuitardo.

En la columna estratigráfica levantada en Carrizal, el Miembro Medio corresponde a los segmentos 16 a 29; se define como intercalaciones de capas medianas de areniscas de grano medio con capas finas de areniscas de grano fino, seguido por intercalaciones de capas medianas de areniscas de grano fino con arcillolitas arenosas, compuestas por 82.2% de illita, 5.6% de caolinita y 6.5% de clorita. Hacia el tope se presentan capas medianas de arenisca de grano medio a fino. Las areniscas son muy cementadas, entre 15 y 20% y presentan porosidad primaria intergranular de 3 a 5%.

Generalmente, el Miembro Medio presenta baja porosidad primaria debido al alto contenido de matriz y cemento, en la mayoría de segmentos; sin embargo,

presenta permeabilidad media asociada a porosidad secundaria por fracturamiento, lo que define a este miembro como un posible acuífero fracturado.

En la columna estratigráfica levantada en Calicho, el Miembro Medio corresponde a los segmentos 10 a 12. Se encuentra conformado por capas medias de arcillolita arenosa, compuesta por 80.7% de illita, 7% de caolinita y 7% de clorita. Seguida por capas medias a gruesas de arenisca de grano fino a medio y hacia el tope capas medias con capas muy finas de arenisca de grano muy fino con capas medianas de arcillolita arenosa, compuestas por 88.6% de illita, 6% de caolinita y 5% de clorita. Las areniscas presentan una permeabilidad alta, debido al fracturamiento de la zona, por esto, este miembro se define como un posible acuífero confinado por las arcillolitas compactas con baja porosidad (FIGURA 4B).

5.1.4.3. Miembro Superior

El Miembro Superior de la columna estratigráfica levantada en La Navarra corresponde a los segmentos 19 a 25. Se encuentra constituido principalmente por intercalaciones de capas finas de limolitas y limolitas arcillosas con capas medianas de arenisca de grano fino a medio y una capa gruesa de limolita hacia el tope de la columna con 84.5% de illita y 6.4% de caolinita. El tope de este miembro presenta porosidad intergranular baja y permeabilidad nula, se comporta como un posible acuitardo. En los segmentos intermedios de este miembro la matriz arcillo arenosa es del 15%, compuesta por illita entre 80-88% y caolinita entre 11-13%; esto reduce un poco la permeabilidad de la roca, y debido a su bajo grado de compactación puede ser lavada fácilmente. Estos factores le imprimen al Miembro Superior en esta columna características de un posible acuitardo para los segmentos intermedios de este miembro.

El Miembro Superior de la columna estratigráfica levantada en La Punta, corresponde a los segmentos 14 a 21. Se constituye principalmente por capas muy gruesas y medias de arenisca de grano muy fino, presenta una porosidad total de 8 a 12%, porosidad primaria de 6 a 8% y porosidad secundaria de 4 a 6% por microfracturas y disolución (FIGURA 5A); con intercalaciones de capas muy finas de arcillolitas y limolitas; en los segmentos superiores se observa una intercalación de areniscas de grano medio a fino con alto contenido de matriz con finas capas de limolita.

El Miembro Superior de la columna estratigráfica levantada en Carrizal corresponde a los segmentos 30 a 36. Está constituido hacia la base por capas medianas de areniscas de grano fino con esporádicas intercalaciones de capas finas de arenisca de grano grueso, con intercalaciones de capas medianas de areniscas de grano medio con capas finas de areniscas de grano fino y capas medias de areniscas de grano medio en el tope. Este Miembro presenta alto contenido de cemento silíceo hacia la base entre 15-25%, baja porosidad primaria entre 3-7% y permeabilidad media, información obtenida de la descripción de muestra de mano. Además este miembro presenta porosidad secundaria media asociada al fracturamiento por tectónica local. Este miembro se define como un posible acuífero fracturado.

En la columna de Calicho, el Miembro Superior corresponde a los segmentos 13 a 19. Se encuentra conformado hacia la base por capas medianas a finas de arenisca de grano fino a medio cementadas, seguido de capas finas a medianas de arcillolita arenosa compuesta de 73.6% de illita, 11.63% de clorita y 11.63% de esmectita. En el tope se presentan capas finas a medianas de areniscas de grano muy fino a fino. Este Miembro se caracteriza por poseer alto grado de cementación, disminuyendo notoriamente la porosidad primaria intergranular, baja

permeabilidad, pero alto fracturamiento por tectónica local; estos factores lo definen como un posible acuífero fracturado.

Hacia la zona central de la Mesa de Los Santos se encontró un área de alta porosidad primaria que corresponde a la Vereda La Mesa, donde se halló una cuarzoarenita ligeramente limosa con porosidad primaria del 15% asociado a porosidad intergranular y disolución de matriz y líticas. (FIGURA 5B).

5.1.5. Formación Rosablanca

La Formación Rosablanca aflora en el Suroeste de la Mesa de Los Santos. Litológicamente esta constituida hacia la base por potentes capas de calizas con finas a medianas capas de limolita calcárea; seguido por intercalaciones de capas medianas de limolitas calcáreas con calizas; y capas medias a gruesas de arenisca de grano fino a medio ferruginosas con huellas fósiles alternadas con capas finas a medianas de calizas masivas y capas finas a medianas de arcillolita calcárea.

Las areniscas de esta formación tienen una porosidad eficaz del 3% debido a que la matriz arcillosa rellena los poros intergranulares y la porosidad secundaria por fracturamiento es baja (FIGURA 5C). En esta área dicha Formación tiene permeabilidad y porosidad baja definiéndola como un posible acuitardo. Las calizas que afloran en las veredas La Loma, Laguna Alta y El Diamante se encuentran compactas y las diaclasas son cerradas o rellenas de carbonatos, por esto, estas calizas presentan baja porosidad primaria y secundaria.

En la Vereda Regadero Alto, las areniscas con carbonatos y huellas fósiles presentan alta porosidad secundaria por disolución de material carbonatado y fósiles, pero un porcentaje pequeño de estos poros están siendo rellenados por material posiblemente por el escape de sustancias volátiles con alto contenido de sílice que fluyen por la Falla Los Santos. Estos factores permiten decir que esta formación presenta una permeabilidad alta y una porosidad media, definiendo el nivel de areniscas limosas ferruginosas fosilíferas como un posible acuífero.

5.1.6. Formación Paja

Esta formación aflora al SW de la Mesa de Los Santos; litológicamente 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 5D), porosidad primaria intergranular 3-5% y permeabilidad nula, factores que indican que la roca se comporta como un posible acuífugo.

5.1.7. Formación Tablazo

La Formación Tablazo aflora en el 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 esta formación se define como cuarzoarenisca con alto contenido de matriz arcillosa, la porosidad total es de 2-4% asociada principalmente a porosidad primaria; pero debido al alto contenido de matriz arcillosa, la porosidad efectiva se reduce

(FIGURA 5E). Esto indica que la permeabilidad y porosidad son bajas interpretándose como un posible acuitardo.

5.1.8. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos aluviales se presentan como terrazas aluviales de origen hidrogravitacional de los ríos Chicamocha y Sogamoso. Están constituidos por limos areno-arcillosos de la Formación Jordán con fragmentos de tamaño 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 fragmentos de tamaño cantos y bloques que han sido transportados por procesos de escorrentía superficial, principalmente de la Formación Los Santos y depositados sobre limos areno-arcillosos de la Formación Jordán. Los depósitos cuaternarios aluviales y de derrubio presentan baja permeabilidad y se comportan como acuitardos.

6. 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.

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.

Las formaciones Silgara, Granito de Pescadero y 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 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.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se establece que la Mesa de los Santos 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.

Hacia algunas zonas los niveles arenosos de la Formación Rosablanca, la Formación Silgara, Jordán y Granito de Pescadero aunque presenten baja porosidad, el fracturamiento los define con menor potencial.

Las Formaciones Paja, Tablazo, el Miembro Medio de la Formación Los Santos, los depósitos no consolidados y las formaciones antes mencionadas se definen sin interés hidrogeológico por su baja porosidad y permeabilidad.

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

BIBLIOGRAFIA

Auge, P. M. [auge@gl.fcen.uba.ar]. (2004). Hidrogeología de la ciudad de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, Argentina. http://tango.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Hidrogeologia-Bs_As.pdf Consultado el 21 de junio de 2008.

Badillo, R. Rubén. (1996). Estudio petrológico de las Formaciones Mugrosa y Colorado del campo La Cira, Valle Medio del Magdalena. Trabajo de grado inédito, Escuela de Geología, Facultad de Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander.

Carreón-Freyre, D. (2005). Influencia de la estratigrafía y estructura geológica en el flujo de agua subterránea del Valle de Querétaro. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v 22, núm. 1, pp. 1-18. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=1113843> Consultado el 21 de junio de 2008.

Cruz, G., Caballero, V. Álvarez, M. (2004). Petrología sedimentaria – Guías de Laboratorio. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Custodio, E. Y M. R. Llamas (Eds.) (1983).- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.

INGEOMINAS – UIS. (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. (Fecha de elaboración, trabajo en proceso de publicación).

INGEOMINAS. (2004). Programa de Exploración de Aguas Subterráneas, Bogotá.
http://www.ingeominas.gov.co/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,381/Itemid,178/ Consultado el 21 de septiembre de 2006.

Julivert, M.; Barrero, D.; Navas, J., (1964). Geología de la Mesa de los Santos. Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. N°18. Pp. 5-11.

Laverde, F.; Clavijo, J., (1985). Análisis facial de la Formación Los Santos según el corte de "Tu y Yo" (Zapatoca). Proyecto Cretácico. INGEOMINAS.

Rodríguez, J. Características de las rocas; composición, textura y espacios vacíos; clasificaciones. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo, pp 1-7.
<http://petro.uniovi.es/Docencia/mro/13%20Guion%20CarPetro07.pdf> Consultado el 1 de abril de 2008.

Rodríguez, J. (2006). La porosidad de las rocas carbonatadas. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo, pp 1-21.
<http://petro.geol.uniovi.es/Docencia/mro/11%20PorosCaliza06.pdf> Consultado el 2 de abril de 2008.

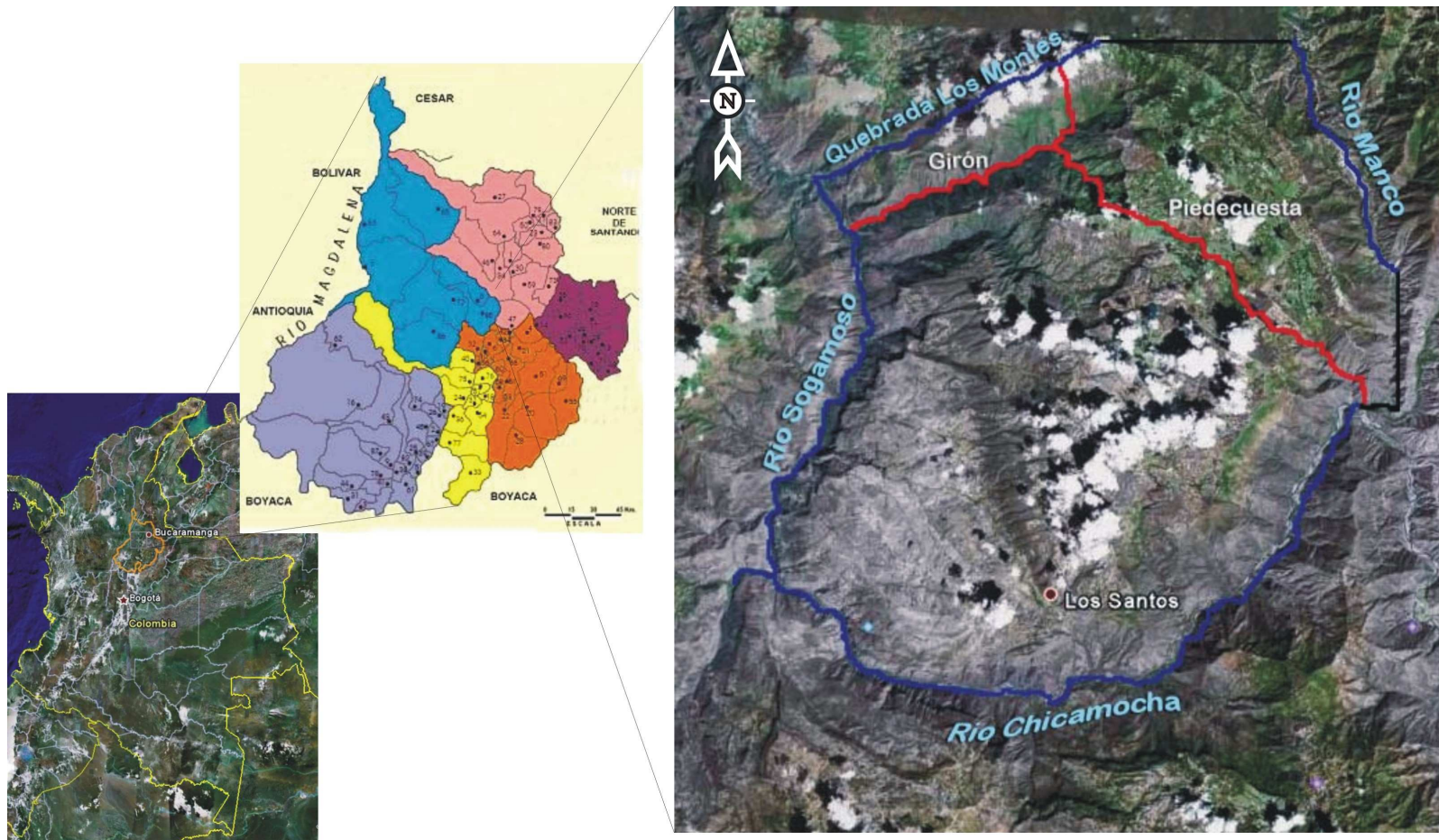


FIGURA 1 Localización geográfica del área de estudio.

Modificado de GOOGLE EARTH, 2008; 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.

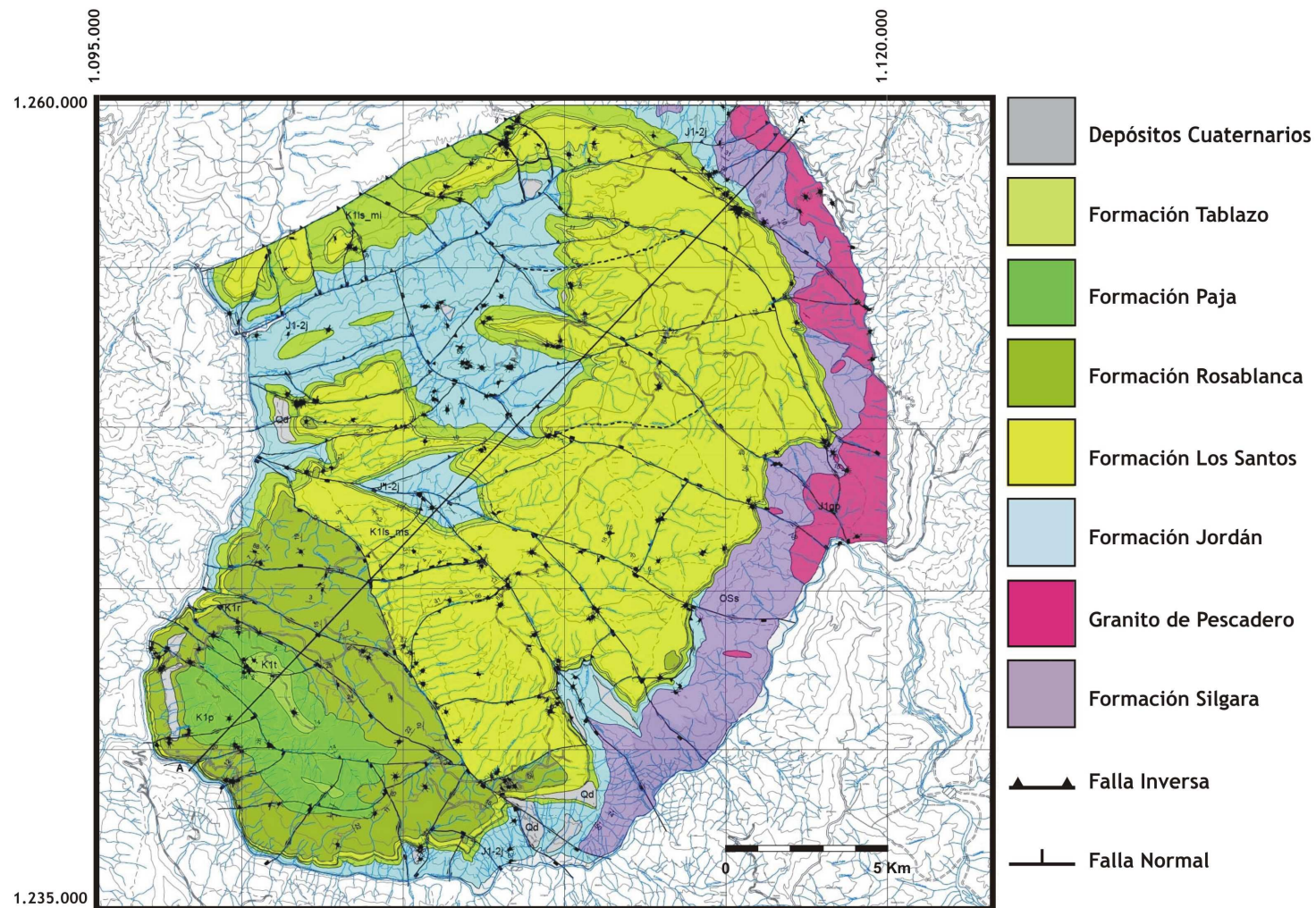


FIGURA 2. Mapa geológico de la Mesa de Los Santos. Departamento de Santander

Modificado de INGEOMINAS-UIS, 2008.

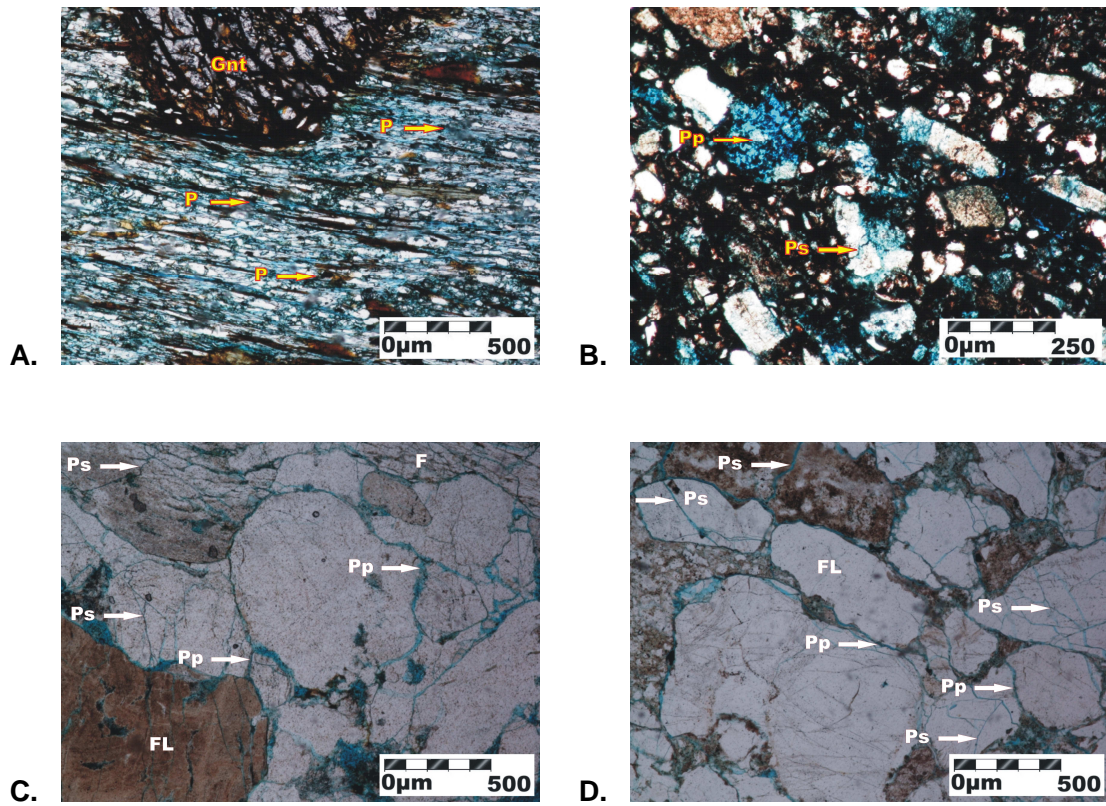


FIGURA 3. A) Esquisto biotítico granatífero, porosidad asociada a planos de esquistosidad (NII). B) Subarcosa de grano muy fino con alto contenido de matriz arcillosa. Presenta porosidad primaria asociada a microporosidad y porosidad secundaria por microfracturas (NII). C) Sublitarenisca de grano grueso ligeramente granular con matriz limo arcillosa donde se observa FL, Pp intergranular y Ps asociada a microfracturas (NII). D) Sublitarenisca de grano grueso con matriz limo arcillosa y porosidad primaria intergranular y microporosidad, aumento de porosidad secundaria asociada a microfracturas (NII).

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

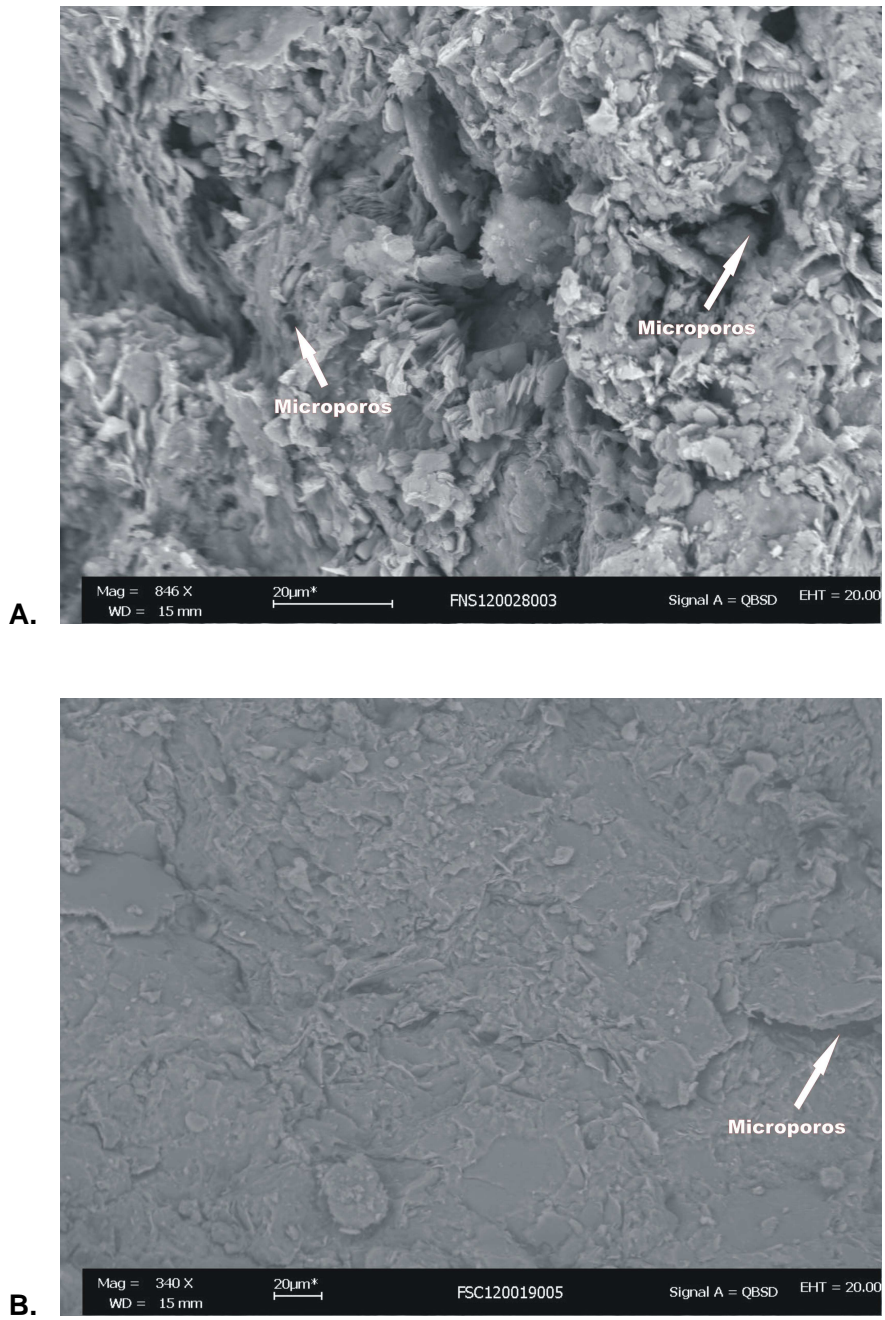


FIGURA 4. Microfotografías para el Miembro Medio de la Formación Los Santos en la sección La Despulpadora y Calicho respectivamente. A) Microfotografía a 846X de una arcillolita de composición ilitica y porosidad total de 8%. Con porosidad de 6% asociado a microporos y 2% a ultraporos sin conexión entre ellos. B) Microfotografía a 340X de una limolita de composición ilitica y 1% de porosidad total, asociada a microporos sin conexión.

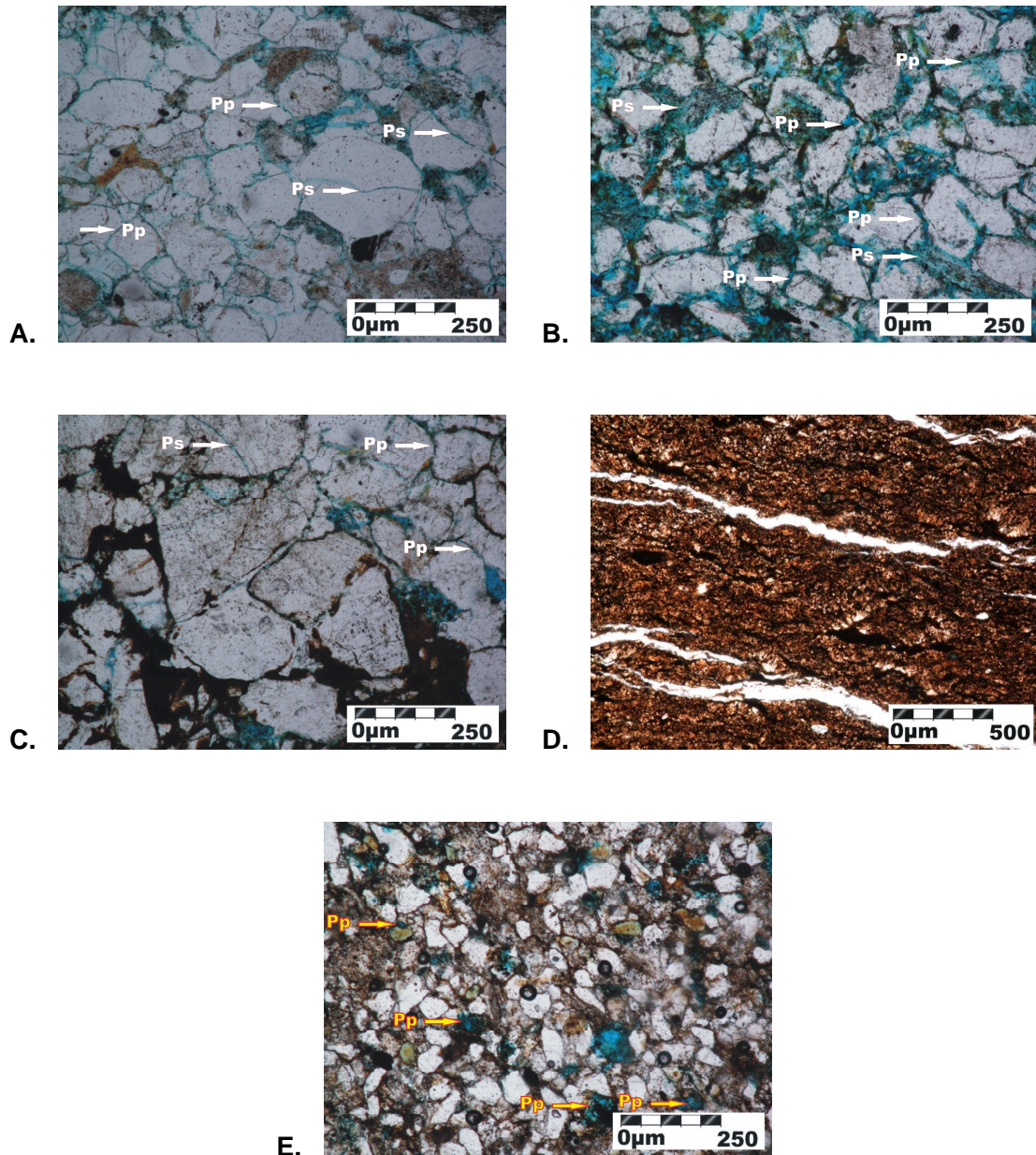


FIGURA 5. A) Sublitasca de grano medio con matriz limo arcillosa producto de alteración, con porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a microfracturas y reemplazamiento (NII). B) Cuarzoarenisca ligeramente limosa con bajo grado de cementación, porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria asociada a disolución de matriz y líticas (NII). C) Arenisca de grano fino a medio con matriz arcillosa. La porosidad total esta asociada a porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria por fracturamiento de los granos y disolución de la matriz (NII). D) Arcillolita. No se observan poros, posiblemente se presente microporosidades asociadas a la matriz no apreciables a esta escala. (NII). E) Arenisca limosa de grano muy fino y matriz arcillosa. La porosidad esta asociada a porosidad primaria principalmente (NII).

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