

**CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN DE LAS ROCAS
CRISTALINAS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LATO Y SUS
IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS, PIEDECUESTA SANTANDER.**

JORGE ALEXANDER LOZANO PARRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

**CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN DE LAS ROCAS
CRISTALINAS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LATO Y SUS
IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS, PIEDECUESTA SANTANDER.**

JORGE ALEXANDER LOZANO PARRA

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de:
Geólogo**

Director:

JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIÉRREZ

Geólogo PH. D

Codirectora:

SULLY GOMEZ ISIDRO

Ingeniera Civil M.SC, PH.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de pregrado fue realizada gracias al apoyo de:

Juan Diego Colegial Gutiérrez Geólogo Ph. D decano de la facultad de ingenierías físico – Químicas y director del proyecto. Gracias por brindar sus conocimientos y apoyo durante el desarrollo de la tesis que Dios siga llenado de éxitos su vida.

Agradecimiento especial a la profesora Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil M.Sc, Ph.D codirectora del proyecto, por todo y por muchas cosas que me ayudaron cuando estuve en el Grupo de Investigación, que su camino siga trazando éxitos para ella y su familia. GRACIAS PROFE SULLY SIN USTED EL GRADO NO HUBIERA SIDO POSIBLE.

A mi madre que es el motor de mi vida y la luz de todas las mañanas al despertar, Madre gracias por hacerme la persona que soy ahora, a mis sobrinos JUAN DANIEL, JHOAN SEBASTIAN, a mi hermana SANDRA mujer luchadora y dedicada a sus hijos, a mi hermano MILLER, mi abuelo RODRIGO, familia y Luna, todo lo que pase y los logros que he alcanzado han sido por ustedes....GRACIAS.

A Edgar Sanmiguel y Carlos Andrés por mis mejores amigos y compañeros de aventuras y de infancia, gracias a ustedes la Geología es un modo de vida.

Mis compañeros de universidad y de lucha, gracias a aquellos que en las horas de discusión y de debate contribuyeron a que fuera una persona política y dedicada a la sociedad.

Adriana Gracias por todo...

"El hombre debe transformarse al mismo tiempo que la producción progresa; no realizaríamos una tarea adecuada si fuéramos tan sólo productores de artículos, de materias primas y no fuéramos al mismo tiempo productores de hombres.".....Che...

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.4 MARCO TEORICO	17
1.4.1 Fases del Ciclo Hidrológico	19
1.4.2 Movimiento del agua en el suelo	22
1.4.3 Geología de los acuíferos en rocas cristalinas	24
1.4.4 Acuífero	28
1.4.5 Cuantificación de elementos químicos presentes en la roca	29
2. METODOLOGÍA	31
2.1 FASE I FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO	31
2.2 FASE II. DESARROLLO Y EJECUCIÓN.	31
2.3 FASE III CONCLUSIONES.	33
2.4 FASE IV REDACCIÓN Y EDICIÓN DEL PROYECTO	33
2.5 FASE V DEFENSA DEL TRABAJO	34
2.6 ESQUEMAS DE FASES EJECUCIÓN DEL PROYECTO	34
2.7 GENERALIDADES DE LA ZONA	36
2.7.1 Localización	36
2.7.2 Cuenca del Rio Lato	37
2.7.3 Cuenca Rio de Oro	38

2.7.4 VÍAS DE ACCESO	38
2.7.5 Clima y vegetación	39
2.7.6 Hidrología	39
2.7.7 Geología	40
3. RESULTADOS	54
3.1 PETROGRAFÍA	54
3.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	57
3.2.1 Formulación	57
3.2.2 Localización de los perfiles	58
3.2.3 Resultados	59
4. RESULTADOS	70
4.1 ADSORCIÓN ATÓMICA	70
4.1.1 Localización	70
4.1.2 Desarrollo AA	70
4.1.3 Análisis fisicoquímico	74
4.2 PERFIL DE METEORIZACIÓN	77
4.2.1 Perfil cuarzo monzonita de la corcova	79
4.2.2 Perfil neis de Bucaramanga	84
5. CONCLUSIONES	87
6. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 fases del ciclo hidrogeológico	21
Figura 2. Movimiento de agua en el suelo.	22
Figura 3 Localización de la Cuenca Superior del Rio Lato y Rio de Oro.	37
Figura 4. Localización láminas delgadas	56
Figura 5. Localización de los perfiles estudiados	58
Figura 6 Humedad roca Metamórfica	60
Figura 7 Perfil roca Ígnea	62
Figura 8 Perfil roca metamórfica	64
Figura 9 Perfil roca ígnea	66
Figura 10. Proceso de meteorización	78
Figura 11. Descomposición de un bloque de roca	79
Figura 12 Perfil de meteorización cuarzomonzonita de la corcova	83
Figura 13. Cambio en los minerales de la roca madre	84
Figura 14. Perfil de meteorización cuarzomonzonita de la corcova	86

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Perfil 1 Roca Metamórfica.	61
Foto 2. Perfil 2 Roca Ígnea	63
Foto 3. Perfil 3 Roca Metamórfica	65
Foto 4. Perfil 3 Lugar de muestreo	65
Foto 5. Perfil 4 Roca Ígnea	67
Foto 6. Perfil de Roca Ígnea-Cuarzomonzonita de la Corcova, lugar donde se recolectaron las muestras	72
Foto 7. Lugar de muestreo sección 2 Cuarzomonzonita de la corcova	72
Foto 8. Lugar de muestreo sección 3 Neis de Bucaramanga	73
Foto 9 Lugar de muestreo sección 4 Neis de Bucaramanga	73
Foto 10. Meteorización esferoidal-cuarzo monzonita de la corcova	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización Láminas delgadas	54
Tabla 2 Porcentaje de porosidad relativa laminas delgadas.	55
Tabla 3 Grados de Meteorización Dearmann 1979-1991	59
Tabla 4 Perfil 1 Roca Metamórfica	60
Tabla 5 Perfil 2 Roca Ígnea	62
Tabla 6 Perfil 3 Roca Metamórfica	64
Tabla 7 Perfil 4 Roca Ígnea	66
Tabla 8. Porcentajes de humedad por perfiles	68
Tabla 9. Roca Ígnea-Cuarzo monzonita Sección 2	74
Tabla 10. Roca Ígnea-Cuarzomonzonita Sección 3	74
Tabla 11. Roca Metamórfica-Neis de Bucaramanga Sección 3	75
Tabla 12. Roca Metamórfica-Neis de Bucaramanga Sección 4	75
Tabla 13. Comportamiento y Distribución de los elementos en el perfil de meteorización (Aydin, 2005).	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Láminas delgadas	94

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN DE LAS ROCAS CRISTALINAS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LATO Y SUS IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS, PIEDECUESTA SANTANDER.

AUTOR: JORGE ALEXANDER LOZANO**

PALABRAS CLAVES: Hidrogeología, Meteorización, Fracturas, Petrofísicas, Absorción Atómica, Petrografía, Rocas Cristalinas, Macizo de Santander, Humedad, Porosidad Secundaria.

DESCRIPCIÓN

El área de estudio hace parte del macizo de Santander donde afloran rocas metamórficas como el Neis de Bucaramanga de edad Predevonica y rocas ígneas como la Cuarzomonzonita de la corcova de edad Triásico-Jurásico. Estas rocas presentan un alto grado de fracturamiento representado por fallas y diaclasas motivadas por la cercanía al sistema de fallas de Bucaramanga, en otros sectores presentan alto grado de meteorización, las anteriores características otorgan a estas rocas grandes posibilidades de almacenar y transmitir agua.

Para el estudio de la meteorización las rocas Cristalinas pertenecientes a la Cuenca superior del Río Lebrija, se utilizaron técnicas químicas y petrográficas, que permiten producir y tipificar el perfil de meteorización, que se observa en las zonas donde se encuentran las rocas, ígnea y metamórfica pertenecientes al macizo de Santander, de las cuales se describieron características petrográficas como porosidad y se definieron estructuras y texturas.

Se elaboró un perfil de meteorización para entender y comprender el estado de cada unidad de meteorización presente en este tipo de litología, ya que poco se conoce de los acuíferos en rocas cristalinas.

En la utilización de las técnicas presentadas en este trabajo se distinguen patrones de meteorización basado en la escala de Dearmann 1979-1991, en la cual se presentan 6 estados de la roca para describir propiedades a medida que los factores climáticos afectan el macizo rocoso.

* Proyecto de grado, Modalidad de investigación.

** Facultad De Ingenierías Físico-Químicas, Escuela De Geología Director Juan Diego Colegial Gutiérrez Geólogo PH.D. Co-Directora Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil M.SC, PH.D

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF WEATHERING PROFILE OF THE CRYSTALLINE ROCKS IN THE UPPER BASIN OF THE RIVER AND ITS IMPLICATIONS LATO HYDROGEOLOGISTS, PIEDECUESTA SANTANDER .

AUTHOR: JORGE ALEXANDER LOZANO PARRA**

KEY WORDS: Hydrogeology, weathering, fractures, petrophysical, Atomic Absorption, petrography, Rock Crystal, Santander Massif, Humidity, High Porosity.

DESCRIPTION

The study area is part of the Santander Massif where metamorphic rocks crop out as the old Bucaramanga Gneiss Predevonica and igneous rocks such as quartz monzonite of the hump of Triassic-Jurassic age. These rocks have a high degree of fracturing represented by faults and joints driven by the proximity of the Bucaramanga fault system, in other sectors present a high degree of weathering, the above features these rocks give great possibilities to store and transmit water.

To study the weathering of rocks belonging to Crystal River Basin above Lebrija, were used petrographic and chemical techniques, which allow to produce and characterize the weathering profile, which is observed in areas where the rocks, igneous and metamorphic belonging to the Santander massif, which were described as porosity and petrographic characteristics defined structures and textures.

Developed a weathering profile to understand and comprehend the state of each unit of weathering present in this type of lithology, as since little is known of aquifers in crystalline rocks.

In using the techniques presented in this work are indicated weathering patterns based on the scale of Dearmann 1979-1991, which are presented in six states to describe rock properties as climatic factors affecting the rock mass.

* Draft grade, mode of research.

** Faculty of Physical-Chemical Engineering, School of geology Director Juan Diego Colegial Geólogo PH.D Co-Directora Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil M.SC, PH.D

INTRODUCCIÓN

En el Macizo de Santander, ESPECIFICAMENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO, afloran rocas pertenecientes al Proterozoico y Triásico-Jurásico, dentro de las cuales se encuentran el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova respectivamente, las cuales han sido afectadas por diferentes procesos de carácter constante, donde la humedad y la meteorización juegan un papel importante.

En el presente trabajo se analizan aspectos relacionados con la meteorización de rocas cristalinas y como por medio de este proceso se han llegado a creado condiciones de flujo de agua y almacenamiento, ya que en estas rocas el recurso subterráneo es considerado inexplotable. En el ambiente de este tipo de rocas, los estudios hidrogeológicos han ido evolucionando en el concepto, referente a los acuíferos discontinuos a acuíferos continuos y acuíferos estratiformes debido a la meteorización presente.

El estudio aquí presentado se realizó en la cuenca superior del Rio Lato afluente de rio Lebrija y en la cuenca del Rio de Oro en el sector conocido como Oro Alto, en el municipio de Piedecuesta, Santander; Esta zona es de gran importancia a nivel departamental, considerando posiblemente, dentro de unos años esta zona sea potencial abastecimiento de agua a las personas del área metropolitana de Bucaramanga, asumiendo que estamos atravesando un periodo interglaciar pasando por un calentamiento global, el cual puede llegar a afectar gran parte de la población que habita esta área.

Para el desarrollo de esta investigación, se hizo una revisión de los estudios Geológicos e Hidrogeológicos, se recopiló la información de la zona, para poder realizar el muestreo y las pruebas correspondientes, la caracterización petrográfica que se plantea en este estudio se realizó en el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova, las dos rocas pertenecientes al macizo de Santander, donde de las cuales se determinó la porosidad relativa de la zona de cada muestra recolectada, así como el contenido de humedad natural para cuatro perfiles dos de cada tipo de roca, donde van a ser correlacionadas con pruebas de adsorción atómica de cada muestra, para generar porcentajes de desgaste de cada mineral, con el fin de realizar una caracterización más detallada del proceso de meteorización, que es el responsable de generar cambios físicos en la roca. Con base en los datos obtenidos de los diferentes procesos, se presenta una relación entre los diferentes métodos, guiados por los criterios propuestos por Dearman (1978), en su perfil de meteorización y los propuestos por P. Lachassagne (2008), para generar un modelo del perfil de meteorización en la cuenca del Rio Lato y Rio de Oro Alto, el cual puede llevar a un mayor entendimiento de los procesos que afectan estas dos litologías.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización del perfil de meteorización en la cuenca superior del río Lato, estableciendo los componentes de la meteorización para determinar propiedades físicas y mineralógicas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica completa y bien documentada del tema.
- Identificar los diferentes grados de meteorización que presentan las rocas de la zona de estudio, mediante análisis petrográficos, químico y de laboratorio.
- Realizar una comparación entre los diferentes perfiles de meteorización, con base en las características físicas y químicas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El área de estudio del presente proyecto hace parte del Macizo de Santander, donde afloran rocas metamórficas del Gneis de Bucaramanga y rocas ígneas, las cuales presentan alto grado de fracturamiento, fallamiento, diaclasamiento y en algunos sectores altos niveles de meteorización, lo cual hace que este tipo de rocas con esas características posean la capacidad de almacenar y transmitir agua, por lo tanto por medio de la caracterización del perfil de meteorización se pretende establecer un mapa de la zona de estudio con el fin de determinar

posibles áreas de interés hidrogeológico, con el fin de estimar un futuro abastecimiento para la ciudad de Bucaramanga y el área metropolitana.

El estudio brinda la información de tipo hidrogeológico, la cual se hace indispensable en cualquier zona del país, especialmente en climas cálidos y en zonas donde el recurso hídrico es muy escaso en veranos extensos, este sector del macizo de Santander, posiblemente pueda ser la fuente de abastecimiento para el área metropolitana de Bucaramanga, ya que en pocos años nos veremos afectados por la falta del apreciado recurso.

1.4 MARCO TEORICO

1.4.1 Meteorización

Es la transformación de las rocas y los minerales en la superficie de la Tierra o a escasa profundidad mediante dos procesos esenciales: la desintegración que es un proceso físico o mecánico, y la descomposición que es un proceso de alteración química.

Muchas rocas y minerales se forman en profundidad, dentro de la corteza terrestre, donde la temperatura y presión son notablemente diferentes a las que se registran en la superficie. Así, los materiales formados en el interior de la corteza se encuentran en desequilibrio con respecto a las condiciones superficiales. La meteorización involucra entonces a todos los procesos que tienden a poner a las rocas y a los minerales en equilibrio con los ambientes que se encuentran en o cerca de la superficie de la Tierra.

La meteorización es el primero de los procesos que opera en un ciclo sedimentario. Sus productos sólidos o detríticos y iónicos son la fuente principal de los materiales que –como consecuencia de la erosión, transporte y depositación, precipitación- pasarán a formar parte de las rocas sedimentarias, tanto clásticas o mecánicas como químicas. Los productos de la meteorización contribuyen también a la formación de los suelos, proveen los componentes detríticos de los mismos y muchos de los nutrientes asimilados por las plantas.

METEORIZACIÓN QUÍMICA

La meteorización química es el conjunto de los procesos llevados a cabo por medio del agua o por los agentes gaseosos de la atmósfera como el oxígeno y el dióxido de carbono.

Las rocas se disgregan más fácilmente gracias a este tipo de meteorización, ya que los granos de minerales pierden adherencia y se disuelven o desprenden mejor ante la acción de los agentes físicos.

Disolución: Consiste en la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como es el agua. Mediante este sistema se disuelven muchas rocas sedimentarias compuestas por las sales que quedaron al evaporarse el agua que las contenía en solución.

Hidratación: Es el proceso por el cual el agua se combina químicamente con un compuesto. Cuando las moléculas de agua se introducen a través de las redes cristalinas de las rocas se produce una presión que causa un aumento de volumen, que en algunos casos puede llegar al 50%. Cuando estos materiales transformados se secan se produce el efecto contrario, se genera una contracción y se resquebrajan.

Oxidación: La oxidación se produce por la acción del oxígeno, generalmente cuando es liberado en el agua. En la oxidación existe una reducción simultánea, ya que la sustancia oxidante se reduce al adueñarse de los electrones que pierde la que se oxida. Los sustratos rocosos de tonalidades rojizas, ocre o parduzcas, tan abundantes, se producen por la oxidación del hierro contenido en las rocas.

Hidrólisis: Es la descomposición química de una sustancia por el agua, que a su vez también se descompone. En este proceso el agua se transforma en iones que

pueden reaccionar con determinados minerales, a los cuales rompen sus redes cristalinas. Este es el proceso que ha originado la mayoría de materiales arcillosos que conocemos.

Carbonatación: Consiste en la capacidad del dióxido de carbono para actuar por si mismo, o para disolverse en el agua y formar ácido carbónico en pequeñas cantidades. El agua carbonatada reacciona con rocas cuyos minerales predominantes sean calcio, magnesio, sodio o potasio, dando lugar a los carbonatos y bicarbonatos.

Acción biológica: Los componentes minerales de las rocas pueden ser descompuestos por la acción de sustancias liberadas por organismos vivos, tales como ácidos nítricos, amoniacos y dióxido de carbono, que potencian la acción erosionadora del agua.

1.4.1 Fases del Ciclo Hidrológico

Evaporación: El ciclo se inicia sobre todo en las grandes superficies líquidas (lagos, mares y océanos) donde la radiación solar favorece que continuamente se forme vapor de agua. El vapor de agua, menos denso que el aire, asciende a capas más altas de la atmósfera, donde se enfría y se condensa formando nubes.

Precipitación: Cuando por condensación las partículas de agua que forman las nubes alcanzan un tamaño superior a 0,1 mm comienza a formarse gotas, gotas que caen por gravedad dando lugar a las precipitaciones (en forma de lluvia, granizo o nieve).

Retención: Pero no toda el agua que precipita llega a alcanzar la superficie del terreno. Una parte del agua de precipitación vuelve a evaporarse en su caída y otra parte es retenida (agua de intercepción) por la vegetación, edificios,

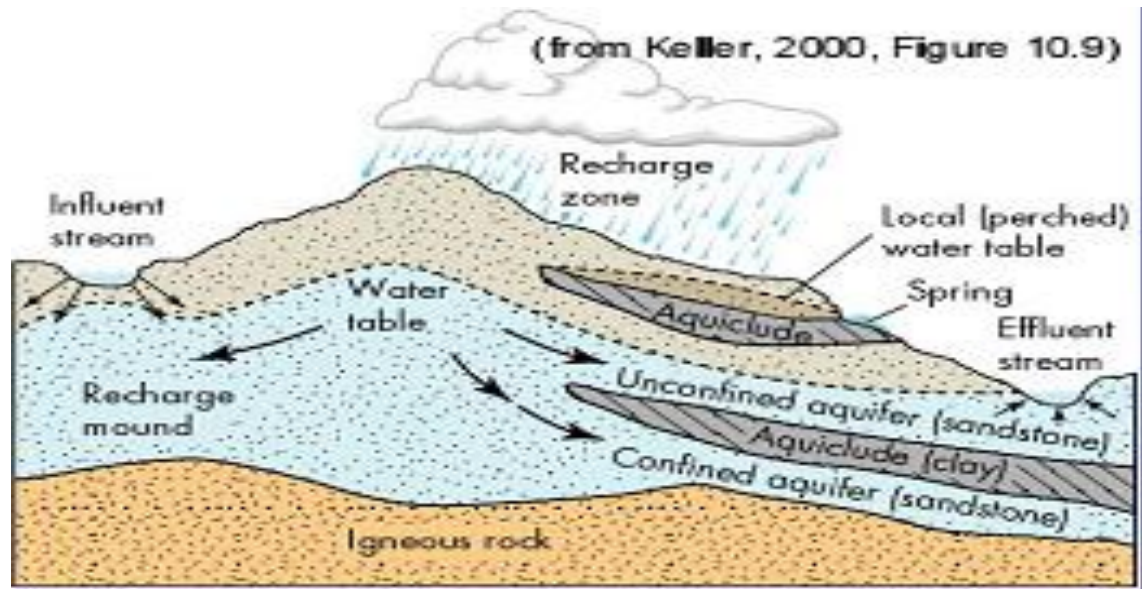
carreteras, etc., y luego se evapora. Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en charcas, lagos y embalses (almacenamiento superficial) volviendo una gran parte de nuevo a la atmósfera en forma de vapor.

Escorrentía superficial: Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeños cursos de agua, que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos (escorrentía superficial). Esta agua que circula superficialmente irá a parar a lagos o al mar, donde una parte se evaporará y otra se infiltrará en el terreno.

Infiltración: Pero también una parte de la precipitación llega a penetrar la superficie del terreno (infiltración) a través de los poros y fisuras del suelo o las rocas, rellenando de agua el medio poroso.

Evapotranspiración: En casi todas las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están saturados en agua, que se denomina zona no saturada, y una parte inferior saturada en agua, y denominada zona saturada. Una buena parte del agua infiltrada nunca llega a la zona saturada sino que es interceptada en la zona no saturada. En la zona no saturada una parte de esta agua se evapora y vuelve a la atmósfera en forma de vapor, y otra parte, mucho más importante cuantitativamente, se consume en la transpiración de las plantas. Los fenómenos de evaporación y transpiración en la zona no saturada son difíciles de separar, y es por ello por lo que se utiliza el término evapotranspiración para englobar ambos términos.

Figura 1 fases del ciclo hidrogeológico



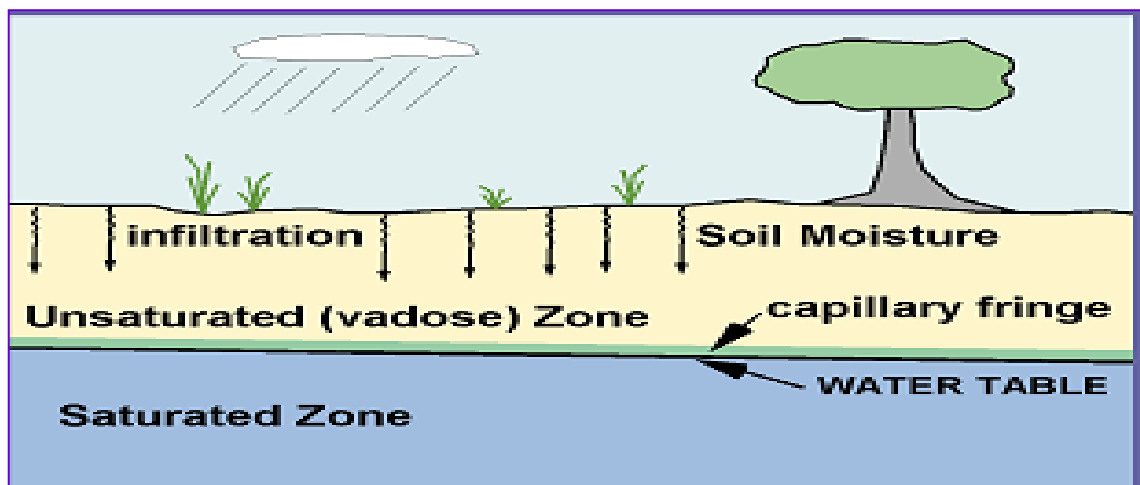
Fuente: Tomado de Keller, 2000

Escorrentía subterránea: El agua que desciende, por gravedad-percolación y alcanza la zona saturada constituye la recarga de agua subterránea. El agua subterránea puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando el nivel saturado queda próximo a la superficie del terreno. Otras veces, se produce la descarga de las aguas subterráneas, la cual pasará a engrosar el caudal de los ríos, rezumando directamente en el cauce o a través de manantiales, o descarga directamente en el mar, u otras grandes superficies de agua, cerrándose así el ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico es un proceso continuo pero irregular en el espacio y en el tiempo. Una gota de lluvia puede recorrer todo el ciclo o una parte de él. Cualquier acción del hombre en una parte del ciclo, alterará el ciclo entero para una determinada región. El hombre actúa introduciendo cambios importantes en el ciclo hidrológico de algunas regiones de manera progresiva al desecar zonas pantanosas, modificar el régimen de los ríos, construir embalses, etc. El ciclo hidrológico no sólo transfiere vapor de agua desde la superficie de la Tierra a la atmósfera sino que colabora a mantener la superficie de la Tierra más fría y la atmósfera más caliente. Además juega un papel de vital importancia: permite

dulcificar las temperaturas y precipitaciones de diferentes zonas del planeta, intercambiando calor y humedad entre puntos en ocasiones muy alejados.

1.4.2 Movimiento del agua en el suelo. Las estructuras hidrogeológicas de las regiones cristalinas (rocas plutónicas y metamórficas) se caracterizan por presentar una circulación de agua subterránea poco profunda en la zona de meteorización y fisuración, que alcanza una profundidad de unos metros. Se supone que estos flujos subterráneos poco profundos son reservorios perfectamente mezclados. En el área de descarga se crean un gran número de pequeños manantiales y lugares húmedos a lo largo de fallas y líneas tectónicas. Su distribución espacial refleja la estructura geológica y la morfología siempre que las zonas tectónicas y las fallas actúen como sistemas de drenaje de agua subterránea. Cualquier circulación de agua subterránea profunda que se encuentre separada del sistema de flujo superficial local presenta tiempos de residencia largos (por ejemplo, el agua subterránea termal)¹.

Figura 2. Movimiento de agua en el suelo.



Fuente: Tomado de Keller 200

¹ Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico IGME. Temas: Guías y manuales. ISBN: 84-7840-465-1.

Debido al flujo del agua en el suelo las transformaciones físicas que sufre el macizo rocoso se debe a acciones mecánicas que generan desagregación o fragmentación de las mismas que se deben a:

- Tensiones por cambios de volumen (expansión y contracción) acuñamientos (empapamiento-desección, crecimiento de cristales, termoclastia, crecimiento de raíces).

Las transformaciones químicas: procesos de alteración que generan descomposición y corrosión de las rocas, se deben a:

- Reacciones de hidrólisis, hidratación, disolución, oxidación reducción, carbonatación y quelación.
- Desgaste por disolución.

Las diferentes formas en el movimiento del agua en el suelo están sujetas a actividades producidas por diferentes fuerzas. En efecto el nombre de varias formas es asociado con el tipo de movimiento o la fuerza con la cual el agua es retenida en el suelo.

Movimiento del agua capilar. El agua capilar interior, la cual ocupa un estado transitorio entre el agua higroscópica ya la externa se mueve lentamente por difusión de la materia coloidal. Esta película húmeda es mucho más gruesa que la que la humedad higroscópica pero, sin embargo, es también delgada por el movimiento capilar ordinario. El movimiento del agua capilar de salida es influenciado por el tamaño de las partículas del suelo, la estructura de los suelos pesados, y su contenido de materia orgánica. Este movimiento es causado alrededor por la tensión superficial del agua.

Efecto del tamaño de las partículas del suelo. En suelos de los grados gruesos, tal como arenas y margas arenosas y gravillosas, el espacio poroso son tan grandes que, la salida del agua capilar es detenida solamente en ángulos agudos entre las partículas. La película del agua probablemente no es continuada sobre la superficie de esas partículas grandes excepto, por ejemplo, cerca al punto de máxima capacidad capilar. Pero de los grandes espacios porosos el movimiento capilar es apreciable dentro de una variedad corta distancia alrededor de la superficie del agua libre. Como condiciones ordinarias este punto esta a alguna distancia debajo de las superficies de los suelos arables, el movimiento capilar puede ser observado para todos los propósitos practicados como empleado en los suelos gruesos.

1.4.3 Geología de los acuíferos en rocas cristalinas. La meteorización de las rocas cristalinas forma acuíferos que son de interés primordial para el suministro del agua donde se encuentran este tipo de rocas duras; El perfil de meteorización se desarrolla bajo condiciones geodinámicas estables (tasa de meteorización, tasa de erosión). Los acuíferos de roca dura generalmente ocupan las primeras decenas de metros bajo la superficie del suelo (Detay et al., 1989). Las características hidrogeológicas (por ejemplo, la conductividad hidráulica y almacenamiento) de la cubierta de la capa meteorizada y el lecho de roca subyacente se derivan principalmente de la procesos geodinámicas profunde de meteorización (Wyns et al, 1999, 2004. Taylor y Howard, 2000, etc.). Este proceso implica la hidrólisis biogeoquímica de los componentes minerales de las rocas y sus transformaciones minerales en nuevas condiciones de la superficie, principalmente en materiales ricos en arcilla (1971 Tardy, 1993, 1998; Nahon, 1991). De los resultados de los últimos (Chilton y Smith-Carington, 1984;. Chilton y Foster, 1995, Wyns et al, 2004, y de otro tipo), un perfil típico de la meteorización comprende las siguientes capas que tienen determinadas propiedades hidrodinámicas:

Laterita (de hierro o de la corteza bauxítica) que puede estar ausente, debido a la erosión o la rehidratación de hematita, o recristalización de gibbsita / hematita en caolinita (por costras bauxíticas).

Saprolito o alterite, o regolito, es un material rico en arcilla, derivados de la prolongada descomposición in situ de la roca, de unas pocas decenas de metros de espesor (cuando esta capa no ha sido erosionado). La capa del saprolito puede dividirse en dos sub-unidades (Wyns et al, 1999): El alloterite y la isalterite. El alloterite es un horizonte arcilloso donde, debido a la reducción de volumen en relación con mineralógica y el proceso de meteorización, la estructura de la roca madre se ha perdido (Jones, 1985;. White et al, 2001). En el que subyace al isalterite, los procesos de meteorización suelen inducir un ligero cambio en el volumen y preservan la estructura de la roca original (Gardner, 1980; Cleaves, 1993; White et al, 2001);. En la mayoría de los casos, esta capa se lleva hasta la mitad a dos tercios de la capa del saprolito entero. En rocas plutónicas, tales como granitos, la base isalterite es una capa laminada. Esta capa está constituida por una roca madre altamente erosionada con una textura arenosa (Eswaran y Bin, 1978; Acworth, 1987; Sharma y Rajamani, 2000; Chigira, 2001) y de escala milimétrica y laminación paralela, y conserva la estructura de la roca madre.

La capa fisurada se caracteriza generalmente por una barra horizontal densa con formación de fisuras en los primeros metros y una densidad de fisuras de profundidad decreciente, subhorizontales y subverticales (Houston y Lewis, 1988; Howard et al, 1992;. Cho et al, 2003;. Mare'chal et al, 2003a;. Mare'chal et al, 2004;.. Wyns et al, 2004). Varios procesos, tales como tensiones de enfriamiento en el magma, la actividad tectónica posterior (Houston y Lewis, 1988) o los procesos de descompresión litostática (Davis y Turk, 1964; Acworth, 1987; Wright, 1992; Taylor y Howard, 2000) se involucran para explicar el origen de estas fisuras. Sin embargo, se ha demostrado que la formación de fisuras es el resultado

del proceso de desgaste en sí mismo (Acworth, 1987; Wyns et al, 1999, 2004, Cho et al, 2003.).

El aumento de volumen de los minerales es un modelo conceptual generalizado geológico e hidrogeológico de los acuíferos en granitos, lo que favorece el aumento en las fisuras y grietas. En rocas graníticas, el mineral más sensible a la inflamación es la biotita (Eggler et al, 1969; Ledger y Rowe, 1980). Cuando la textura de la roca es relativamente isotrópica, las fisuras generadas son ortogonales al vector restricción inferior (R3), y por lo tanto subparalela a la superficie topográfica contemporánea con el proceso de desgaste. En rocas altamente foliadas (es decir, gneises o esquistos) la orientación de las fisuras pueden ser también controlada por la estructura de la roca (Pye, 1986; Sharma y Rajamani, 2000). La intensificación de las fisuras horizontales en la parte superior de la capa, constituye la capa laminada. Esta capa principalmente asume la función transmisora del acuífero (Uhl y Sharma, 1978; White et al, 1988; Acworth, 1987, Houston y Lewis, 1988; Barker et al, 1992; Briz-Kishore, 1993; Drew et al, 2001; Gustafson y Kra'sny ', 1994). Sin embargo, la capa que cubre el saprolito puede haber sido parcial o totalmente erosionado, o insaturado. En estos casos, la capa fisurada asume también la función capacitiva del acuífero compuesto, por ejemplo, en la Bretaña francesa el 80-90% de los recursos de agua subterránea se encuentra en la capa fisurada (Wyns et al, 2004.).

El basamento fresco es permeable sólo a nivel local, donde las fracturas tectónicas están presentes. Las propiedades hidráulicas de las fracturas que se han investigado en diversos estudios (Pickens y otros, 1987; Blomqvist, 1990; Walker et al, 2001; Kuusela-Lahtinen et al, 2003; Cho et al, 2003, etc) . Incluso si estas fracturas tectónicas puede ser tan permeable como las fisuras inducidas por los procesos de meteorización descrito aquí anteriormente, en la mayoría de los contextos geológicos, su densidad con la profundidad es mucho más inferior dentro de la capa fisurada. A escala de la cuenca, y para aplicaciones de los

recursos hídricos, el basamento fresco puede ser considerada como impermeable y de muy bajo coeficiente de almacenamiento (Mare'chal et al., 2004).

La mineralogía de la roca en el desarrollo del perfil, es necesario que el espesor deba encontrarse a la intemperie y estar en condiciones climáticas específicas (Peltier, 1950; Ollier, 1984; Tardy, 1971, 1993, 1998), y precipitación significativa, con el fin de asegurar la hidrólisis del mineral, en segundo orden, las altas temperaturas favorecen la cinética del proceso. Por último, pero no por lo menos, su desarrollo requiere largos períodos de tiempo bajo unas condiciones tectónicas, unos cuantos millones a unas pocas decenas de millones de años, la última de duración que conduce a los perfiles de unos pocos decenas de metros de espesor (Wyns, 1991). Topográficamente dichos perfiles no se puede desarrollar en las regiones de terrenos quebrados, donde la tasa de erosión es superior al de la intemperie. Una consecuencia importante de esta proceso de meteorización es que, a escala regional, estas capas son paralelas a las superficies de paleo-intemperie (paleo-paisaje) contemporánea con la fase de erosión y aparecen como capas estratificadas (Wyns, 1991; Wyns et al., 1999, 2004; Lachassagne et al, 2001). Dado que saprolito puede ser considerado como un medio poroso, sus propiedades hidráulicas pueden ser bastante fáciles de medir in situ y muchos datos hidrodinámicos disponibles².

ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas (plutónicas y volcánicas) son permeables en las zonas donde las fisuras están abiertas. Normalmente el ancho de las fisuras y por lo tanto la permeabilidad decrecen con la profundidad. Las rocas plutónicas duras (por ejemplo, el granito), que son ricas en cuarzo, son propensas a sufrir fisuración. Mediante meteorización mecánica éstas crean aluviones arenosos que son permeables en la superficie; mientras que las rocas pobres en cuarzo están

² A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering B. Dewandel a*, P. Lachassagne b,1, R. Wyns c, J.C. Mare'chal b,1, N.S. Krishnamurthy d

sujetas a la meteorización química, generando así minerales arcillosos, que son menos permeables y a menudo obturan las fisuras de la roca subyacente. Las rocas volcánicas habitualmente contienen fracturas que se originan a partir del enfriamiento de la lava. Durante el flujo de lava se crean zonas fracturadas permeables que se extienden horizontalmente, tanto en la superficie como en el fondo. Estas se convierten generalmente en acuíferos importantes y se localizan en los extensos sistemas de flujo de lava de las mesetas basálticas.

ROCAS METAMÓRFICAS

Las rocas metamórficas son normalmente permeables en la zona donde las fisuras están abiertas. Éstas se forman por meteorización a una cierta profundidad. Los gneis ácidos que contienen cuarzo están sujetos a meteorización mecánica y desgaste de minerales menos resistentes. La meteorización que afecta esta unidad y actúa más intensamente sobre las bandas de biotitas, desarrollando en general suelos residuales limo arenosos con espesores que varían gradualmente con respecto a la latitud y su cercanía con los drenajes.

Sobre los Ríos Lato y Rio de Oro, se presentan afloramientos de este tipo de roca moderadamente meteorizada, mientras en los intrusivos y las laderas altas el espesor de suelo residual puede ser considerable.

1.4.4 Acuífero. Es indispensable entender los conceptos que enfocan la hidrogeología, por esta razón se deben diferenciar y conocer las distintas categorías antes de hablar de acuíferos. Dentro de estas categorías se encuentran las siguientes:

La cuenca hidrográfica es la definida por la topografía el cual es fácilmente delimitable en un mapa topográfico, referida directamente a la escorrentía superficial.

Cuenca hidrogeológica o hidrológica, es un concepto que engloba también a las aguas subterráneas. Una cuenca hidrográfica constituirá también una cuenca hidrogeológica cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que dividen a la escorrentía superficial constituyen también divisorias de la escorrentía subterránea entre cuencas adyacentes.

Esto se cumple en general para cuencas grandes de más de 1.000 o 2.000 km². Para cuencas pequeñas habría que considerar la hidrogeología de la zona con cuidado.

Los acuíferos se clasifican teniendo en cuenta sus propiedades físicas el cual depende de la génesis y de su rentabilidad económica teniendo en cuenta aquellos criterios que son de interés. Los acuíferos son formaciones de gran porosidad y permeabilidad capaces de almacenar y transmitir agua en forma apreciable.

1.4.5 Cuantificación de elementos químicos presentes en la roca. La espectroscopia de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método instrumental de la Química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos.

Es un método instrumental que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga. La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por una Lámpara de Cátodo hueco construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga de Electrones (EDL). Normalmente las curvas de calibración no cumplen la Ley de Beer-Lambert en su estricto rigor.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En AA la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra. Hoy día se utiliza frecuentemente una mufla de grafito (u horno de grafito) para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla, aumentando la sensibilidad.

Los análisis de AA fueron realizados por el *LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES* adscrito a la Escuela de Química de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

En la caracterización de las propiedades mecánicas e hidráulicas a través de los perfiles de meteorización, se hace necesario entender la naturaleza y la distribución de las condiciones heterogéneas de cada litología, las cuales están sometidas a factores climáticos; Debido a los procesos de meteorización a las cuales están sometidas las rocas del macizo de Santander, se generan cambios en la mineralogía, petrografía y las características geoquímicas.

La meteorización química que se observa en este tipo de rocas cristalinas, está sujeta a diferentes factores como la diversidad del tipo de material y la abundancia del mismo los cuales desempeñan un papel importante en los elementos químicos, también los cambios en la mineralogía al momento de entrar en contacto con los agentes climáticos.

2. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto y alcanzar los objetivos planteados en el trabajo, se establecieron las siguientes fases.

2.1 FASE I FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO

Se realiza una recopilación de la información sobre estudios anteriores realizados en la cuenca del río Lato, se apoya en fuentes como base datos de la Universidad Industrial de Santander, Ingeominas, IGAC, y la Internet, con el fin de hacer una selección y análisis de la información morfo-estructural para identificar criterios y rasgos de correlación desde el punto de vista hidrogeológico en los perfiles de meteorización.

2.2 FASE II. DESARROLLO Y EJECUCIÓN.

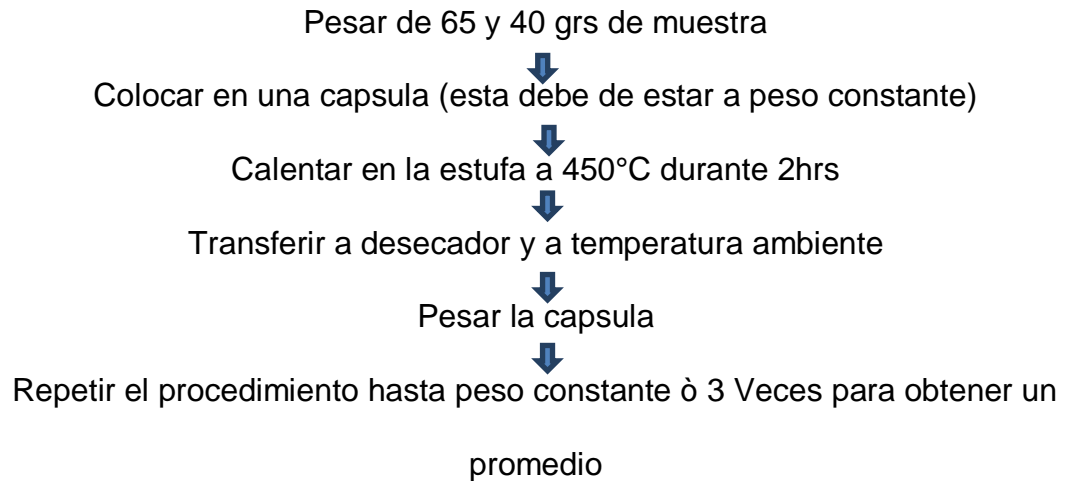
Se realizaran las actividades propuestas, tomando como referencia la bibliografía propuesta para el proyecto, las actividades se describen a continuación:

- Se realiza una salida de 5 días, para determinar las zonas donde se encuentran los afloramientos más óptimos localizando las rocas que presentan alto grado de meteorización, identificando litologías existentes, fallas, donde posteriormente se realiza un muestreo, siguiendo la clasificación de Dearmann (1974, 1991) Y Forero (1999).
- Cartografía Geológica, Para el desarrollo de la cartografía geológica en lo posible a escala 1:10000 o 1:25000 se requiere una síntesis bibliográfica de la cartografía del sector para mayor entendimiento, fotointerpretación por medio de fotografías aéreas donde se identifican fallas, lineamientos, drenajes, donde

se elabora un mapa de fracturas en un programa SIG, la elaboración de un mapa geológico construido a partir de datos tomados en campo, sondeos eléctricos con el fin de realizar una diferenciación de los niveles de meteorización.

- Identificación de los grados de meteorización, se realizara mediante estudios petrográficos, con el fin de determinar las diferentes estructuras en la roca, así como la porosidad, minerales de alteración y texturas asociadas al nivel de meteorización, este se realizara en los microscopios de pertenecientes a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, y su elaboración está a cargo del Grupo de Investigación en Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH). Para el análisis realizado en laboratorio se toma la sección delgada y a continuación se marcan dos líneas (color azul), longitudinal y transversal, a la sección (figura 10), se ajusta la platina y se hace un barrido sobre las dos líneas, posteriormente se hace un conteo sobre las dimensiones de cada cristal, teniendo en cuenta la medida sobre cada lente ocular “lente de 5X=2mm; 10X=1mm”, finalmente se suman todos los valores mineralógicos ya medidos y transformados en cada sección. De la misma manera se hace el cálculo sobre fracturas, y se toman las dimensiones de fracturas libres sobre la línea guía. Una vez se tengan estos valores, se estima un porcentaje promedio de porosidad, como lo muestra la siguiente expresión:
$$\% \text{Porosidad} = (\text{total fracturas} / \text{total mineral}) * 100.$$
- Análisis de Humedad. Se cuantifica el nivel de humedad presente en cada muestra recolectada, realizando pruebas de humedad relativa y natural. La forma de preparar la muestra para este análisis quizá sea la fuente de error potencial más grande, así que se deben tomar precauciones para minimizar las pérdidas o ganancias de agua inadvertidas que ocurren durante estos pasos. Obviamente, cualquier exposición de la muestra a la atmósfera abierta debe ser tan breve como sea posible. Se debe minimizar cualquier probabilidad de calentamiento de la muestra mientras se muele. La pérdida de humedad de la

muestra se manifiesta en forma lineal con respecto a la humedad relativa ambiental.



- Químicas, donde se identificación de las propiedades geoquímicas de la roca meteorizada, basándose en el contenido de minerales asociados a la meteorización, se realizaran pruebas de Absorción Atómica, con el fin de determinar los porcentajes de cada elemento.

2.3 FASE III CONCLUSIONES.

Se darán a conocer las conclusiones después de realizar los análisis correspondientes, por medios físicos al director de la tesis para que sean debatidos conjuntamente, y posteriormente se realicen las correcciones que sean necesarias.

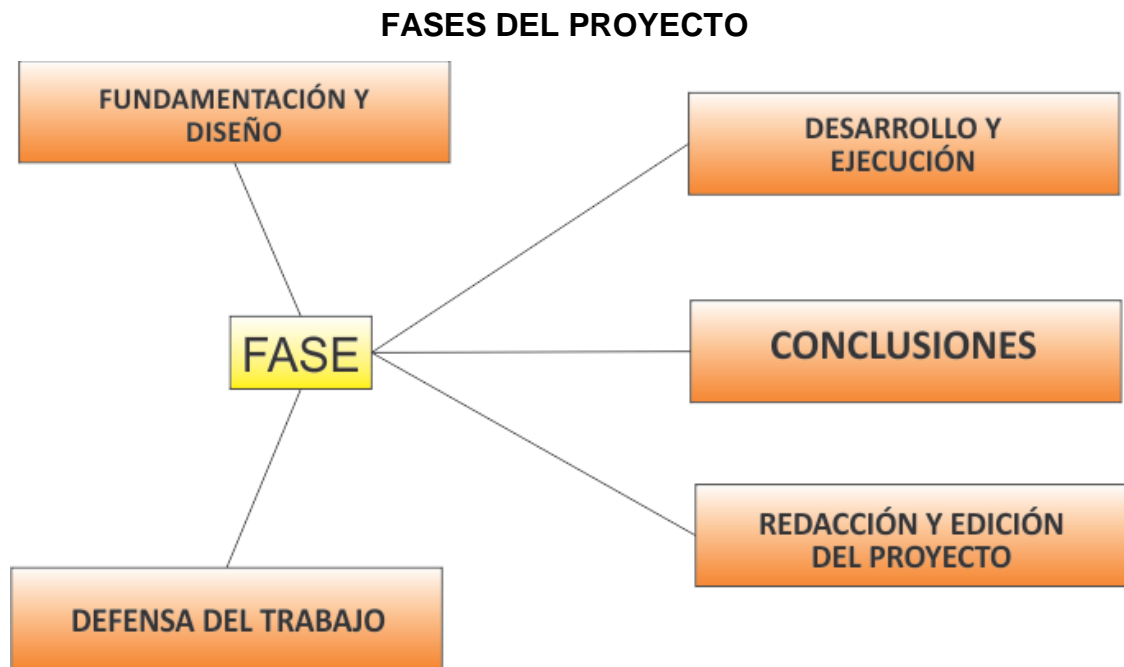
2.4 FASE IV REDACCIÓN Y EDICIÓN DEL PROYECTO

En esta fase se realizara la redacción del proyecto, habiendo hecho las correcciones correspondientes, editando lo realizado durante la elaboración del proyecto.

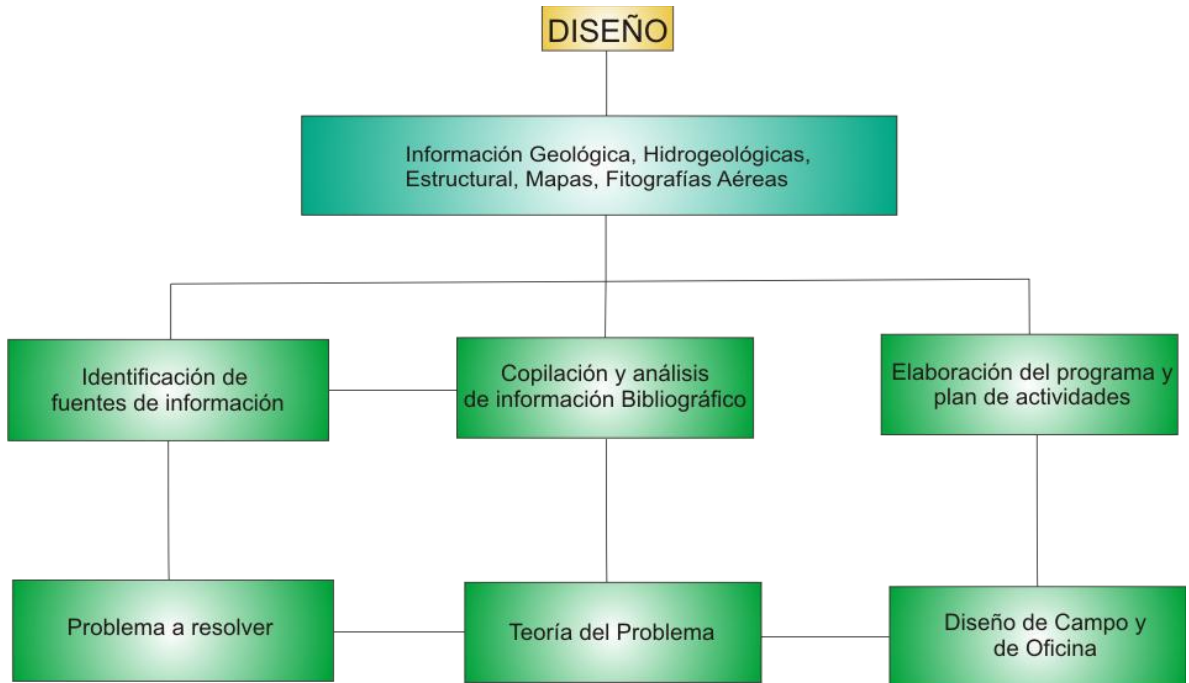
2.5 FASE V DEFENSA DEL TRABAJO

Para la presentación del trabajo se hará en presencia de un grupo de dos calificadores que darán las apreciaciones y puntos de vista correspondientes, para luego dar la calificación al proyecto realizado.

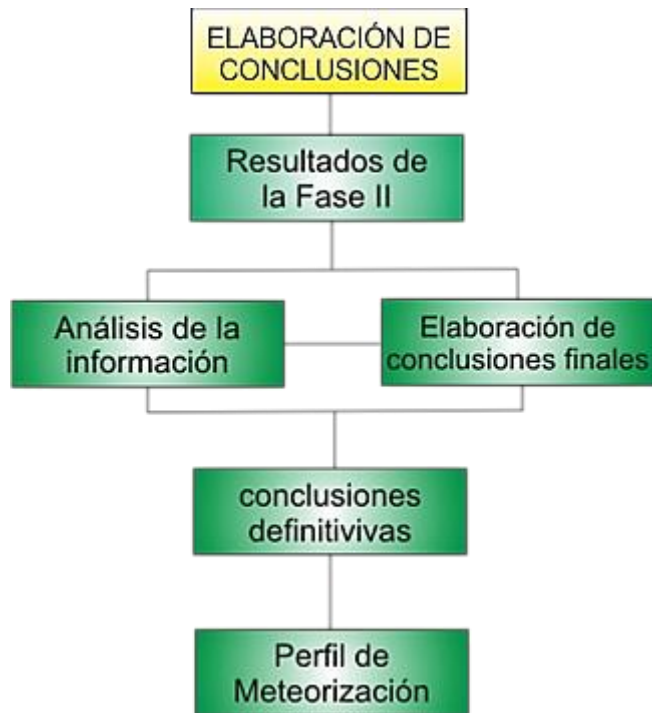
2.6 ESQUEMAS DE FASES EJECUCIÓN DEL PROYECTO



FASE I FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO



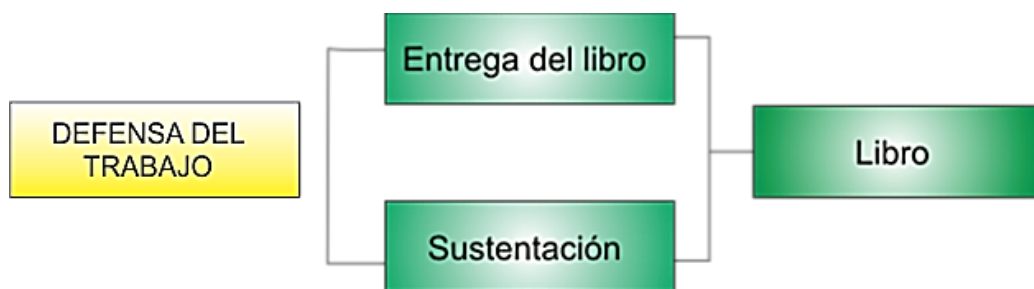
FASE II ELABORACIÓN DE CONCLUSIONES



FASE IV REDACCIÓN Y EDICIÓN DEL TRABAJO



FASE V DEFENSA DEL TRABAJO

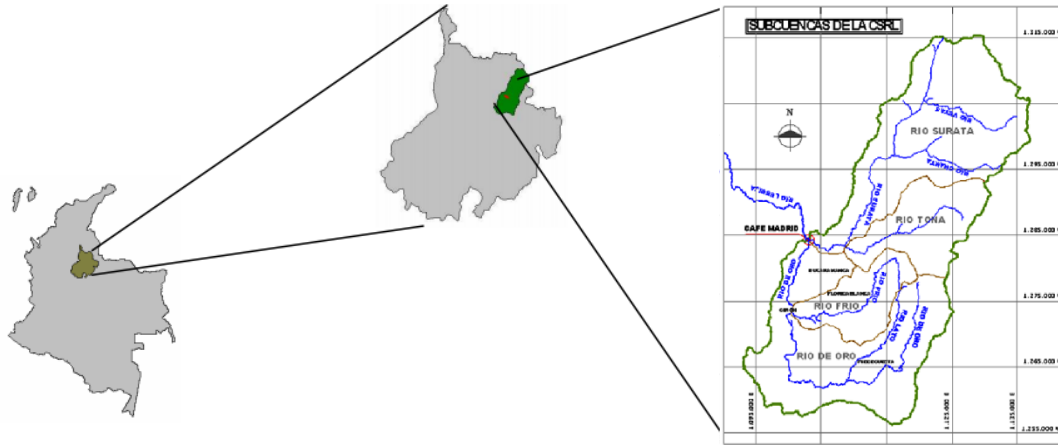


2.7 GENERALIDADES DE LA ZONA

El presente trabajo de investigación se encuentra enmarcado hidrogeológicamente en la cuenca superior del Río Lato y Río de Oro Alto, que a lo largo de este capítulo serán estudiadas y detalladas.

2.7.1 Localización. La cuenca del río Lato está localizada en el municipio de Piedecuesta en el sector sur oriental Entre las coordenadas $X_1= 1'275.000$ $X_2=1'255.000$, $Y_1= 1'113.000$ $Y_2= 1'117.000$ de plancha 120-2B Y 120-2D, del cuadrángulo H-12 del sistema cartográfico del Instituto Geográfico Colombiano Agustín Codazzi.

Figura 3 Localización de la Cuenca Superior del Río Lato y Río de Oro.



Fuente: Tomado de Alexandra M. Ulloa Prof. Sully Gómez I. UIS 2007.

La cuenca tiene una extensión de 72.00 km², de los cuales el 30% se localiza sobre valle de Guatiguará; la cuenca es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la mesa de Ruitoque y el valle de Guatiguará, y una gran fuente potencial de agua subterránea. Posee una población cercana a los 116736 habitantes.

2.7.2 Cuenca del Río Lato. En la cuenca del río Lato se presentan tres tipos de unidades geomorfológicas con materiales y estructuras geológicas diferentes: el valle de Guatiguará- río de Oro, una depresión intramontana de topografía relativamente plana de alturas entre 950 y 1050 msnm, localizada entre la Mesa de Ruitoque, el macizo de Santander y la Mesa de los santos, conformada por depósitos cuaternarios de origen continental, que constituyen la parte baja de la cuenca; también en la parte baja, la Mesa de Ruitoque, con cotas entre 950 y 1350 msnm es una unida compuesta de rocas sedimentarias continentales del jurásico como conglomerados, areniscas y lodolitas bastante duras, y por último el Macizo de Santander es un relieve bastante quebrado, muy abrupto, con laderas de pendiente escarpada a muy escarpada desde la cota 1050 hasta la 3000 msnm en la parte media y alta de la cuenca, compuesto por rocas ígneas y metamórficas

bastante diclasadas y meteorizadas de tipo Neis, esquisto, migmatita y Cuarzomonzonita.

2.7.3 Cuenca Río de Oro. La Subcuenca Río de Oro forma parte de la Cuenca Superior del Río Lebrija y está conformada por las microcuencas Oro Alto, Oro Medio, Río Frío, Río Lato y Oro Bajo. La subcuenca del Río de Oro presenta un área total de 56.942 hectáreas y hace parte de la zona hidrográfica del Magdalena Medio. Se localiza dentro de la Cuenca del Río Lebrija, identificada por el HIMAT (hoy IDEAM) con el código 2319. Altitudinalmente la subcuenca se encuentra en el corredor de alta montaña de la cordillera oriental, entre los 900 msnm y los 3500 msnm, administrativamente hacen parte de ella cinco Municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Tona.

La Subcuenca Río de Oro limita al Norte con la Subcuenca Río Suratá y con la Subcuenca Lebrija alto (Microcuenca El Aburrido), al Oriente con la Subcuenca Río Umpalá (compartida con la CAS), al occidente con la Subcuenca Lebrija alto (Microcuenca Angula – Lajas) y al Sur con la Subcuenca Sogamoso Alto.

2.7.4 VÍAS DE ACCESO

La zona cuenta con algunas vías de acceso en su parte baja; hacia la parte media y alta existen carretables para campero y caminos de herradura y penetración. El área se ubica en la parte del sur del área metropolitana de Bucaramanga del departamento de Santander, la principal vía de acceso a la zona de estudio es la carretera que conduce de Bucaramanga a Cúcuta en el departamento del Norte de Santander. Algunos carretables que se desglosan de la carretera principal han sido utilizados para el estudio de la zona de interés, entre estos se encuentran el carretable de Sevilla, Cristales, Planadas y Cubín. En algunos lugares de las partes montañosas fue necesario utilizar los caminos de herradura, especialmente en zonas primarias y reservas forestales protegidas por la CMB y algunos lugares

de la cuchilla de cristales el cual constituían un difícil acceso. Los carreteables de Sevilla, Planadas, Cristales y Cubín son las principales vías de acceso que comunican las diferentes veredas.

2.7.5 Clima y vegetación. Se presentan dos unidades climáticas dentro de la cuenca según Tricard 1967: Zonas denominadas por Holdridge como Bosque Muy Húmedo Montano alto. Entre los 1500 y 3400 Mts, es relativamente fría pero y alta pluviosidad. Como su nombre lo indica la neblina es muy frecuente y la humedad es alta y constante. Característica de este piso, donde su vegetación es muy densa con un tapiz de musgos y de algas, frena y suprime la acción de la escorrentía”, Tricard et Al, 1967. El régimen pluvial acentuado presenta una disminución en los meses de diciembre, enero y febrero; la alta humedad del piso se manifiesta en la aparición de muchas epifitas. En la parte más alta de este piso comienzan a suceder fenómenos de precipitación horizontal. El piso de Selva Nublada, húmeda, es esencialmente el dominio de los deslizamientos crónicos del terreno. La morfogénesis de este piso está regida por las entalladuras de las corrientes de agua y por la acción de la solifluxión sobre las vertientes.

Bosque premontano Corresponde a las zonas Bajas, las cuales son esencialmente más secas. Esta característica de menor humedad unida a las pendientes moderadas provocan la desaparición total de la solifluxión para dar paso a la erosión por acción de la escorrentía difusa en casi toda el área, con muy pocos sectores donde pasa a cárcavas Tricard 1967.

2.7.6 Hidrología. El área corresponde a la cuenca superior del río Lebrija, esta cuenca se encuentra ubicada en medio de la cuenca del río Frío y río de Oro que corresponde a los municipios de Piedecuesta y parte de Floridablanca. Esta cuenca no cuenta con mediciones sistemáticas de caudales, solamente algunos aforos puntuales realizados por la CDMB y el ICP; por lo tanto, se cuenta con los datos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas para generar caudales

en la cuenca del río Lato. La cuenca cuenta, como valores estimativos, con un registro pluviométrico de veinte años, llevado en forma sistemática y continua por entidades como la CDMB, el HIMAT y el acueducto de Bucaramanga, sobre la cuenca del río de Oro a la cual pertenece (Caballero et al, 1995).

2.7.7 Geología. Para entender los procesos geológicos que se han desarrollado en la cuenca del río Lato se debe conocer de manera muy general el marco tectónico de Colombia y la cordillera oriental, debido a que se encuentra constituido por la interacción entre las tres placas tectónicas de la corteza terrestre, mismas que poseen movimientos muy característicos entre sí; estas placas son: La placa de Nazca con movimiento que va del Este hacia el Oeste de 6.4cm por año, la placa del Caribe que posee movimiento del Sureste NW-SE 1.7cm. por año y la placa Suramericana que va del Noreste hacia el Suroeste NE-SW 1 cm. Por año. El movimiento de estas tres placas es demasiado lento en el año y este ha sido constante a través del tiempo geológico produciendo grandes cambios en la superficie terrestre, formándose plegamientos, fracturamientos y grandes levantamientos que son reflejados en la corteza terrestre y que como producto final originó la tres cordilleras colombianas, entre ellas la cordillera oriental, contenida en una estructura geológica bastante plegada, fracturada y levantada; esto ha sido el producto de la compresión de la interacción de las placas, el cual ocurrió durante la época del Mioceno y el Pleistoceno, pero en algunos estudios realizados se ha encontrado que en el Holoceno siguen ocurriendo levantamientos.

MACIZO DE SANTANDER.

El Macizo de Santander es una estructura regional alargada de dirección NWSE de un 700Km. de longitud y 100 Km. de ancho, atraviesa el departamento de Santander en su extremo oriental y está compuesta de rocas metamórficas ígneas y algunos retazos de rocas sedimentarias. Estas dependen del grado de metamorfismo, agrupadas en las formaciones Neis de Bucaramanga del

Precámbrico, formaciones Silgara del Predevónico y formación Floresta del Devoniano; las rocas ígneas representan el grupo plutónico de Santander con edades que van desde el Predevónico hasta el Triásico - Jurásico.

Proterozoico Neis de Bucaramanga

Constituye la parte basal del Macizo de Santander, se identifican rocas metamórficas de alto grado y origen sedimentario, además estas rocas atestiguan la evolución tectónica del macizo. Las rocas proterozoicas presentes en la zona de estudio constituyen la unidad denominada Neis de Bucaramanga, en la cual se han realizado dataciones K-Ar en hornblenda de 945 ± 40 Ma en un neis hornbléndico (Goldsmith et al., 1971), Rb- Sr en roca total de 680 ± 140 en un neis biotítico (Goldsmith et al., 1971) y $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ en hornblenda de 668 ± 9 Ma y 574 ± 8 Ma en neises hornbléndicos (Restrepo-Pace, 1995) permiten a Ward et al. (1973) y a Restrepo-Pace (1995) interpretar esta rocas como escamas formadas durante el evento Nickeriense y que se mezclaron con basamento metapelítico que sufrió metamorfismo en el Paleozoico Temprano, particularmente en el Ordovícico Temprano a Medio (~ 470 - 480 Ma)” en Maya (2001). Esta unidad se caracteriza por manifestar variaciones en textura y composición, por lo tanto se ha planteado una diferenciación del Neis de Bucaramanga a partir de características físicas encontradas en campo. A continuación se presenta una descripción de los principales aspectos del Neis de Bucaramanga, de las variaciones composicionales y de su distribución areal en la zona de estudio. El nombre Neis de Bucaramanga fue propuesto por Ward y Goldsmith en 1973, consiste en rocas de alto grado de metamorfismo que abarcan fundamentalmente tres tipos composicionales: Neis biotítico, Neis anfibólico, en menor proporción Neis cuarzo feldespático y migmatitas.

Formación Silgará (pDs)

Nombre propuesto por Ward y Goldsmith en 1973, para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorizadas, de estratificación delgada, compuestas por

pizarras, filitas, metalimolitas, cuarcitas, metawacas y esquistos en la facies esquistos verde filitas, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará, afluente del Río Salamanca, al occidente de Cáchira. La formación Silgará, se presenta en la parte central de la zona de estudio, como fajas discontinuas con orientación principalmente en sentido NS. En general, las rocas de la Formación Silgará se distinguen, por presentar una estructura esquistosa bien definida y muy fina, comprenden principalmente, esquistos micáceos de biotita y moscovita, con variaciones a rocas con texturas granoblásticas de composición cuarcítica y marmórea, ubicadas hacia la parte alta de la cuenca del Río Tona, las cuales se caracterizan por mostrarse superficialmente muy oxidadas.

Ortogneis de Berlín (pDo).

Inicialmente definido por Ward y Goldsmith en 1973, como un cuerpo metamórfico de origen ígneo, con estructura neísica, aspecto masivo y composición félsica a intermedia. En este informe se propone, el nombre de Ortoneis de Berlín por encontrarse las secciones mejor expuestas en los alrededores de Berlín donde tiene su mayor extensión (carretera Bucaramanga-Pamplona). El Ortoneis de Berlín está estrechamente relacionado con el Neis de Bucaramanga al igual, que con la Formación Silgará; el conjunto es suprayacido por rocas sedimentarias del Jurásico superior y del Cretácico, como se observa en la Laguna el Alto (parte alta de la cuenca del río Tona). Con base en observaciones y relaciones estratigráficas de campo, esta unidad puede abarcar edades del Proterozoico superior al Paleozoico inferior en Ward y Goldsmith (1973). El Ortoneis de Berlín, se aprecia como un cuerpo alargado dispuesto en dirección NS y se extiende hacia la cuenca del río Tona presentando crestas afiladas de pendientes moderadas a altas. Hacia el altiplano de Berlín, constituye un relieve de colinas redondeadas y pendientes bajas a moderadas.

Composicionalmente, esta unidad se define como un Neis cuarzo feldespático con presencia de cuarzo 30%, plagioclasa 35%, biotita 15%, estaurolita 10%, granate

10%, y presenta la estructura néisica característica. El Ortoneis tiene una textura granoblástica y un color que varía entre blanco hueso y gris. Se observa un alto grado de oxidación en la superficie y desarrolla perfiles de suelo granular, producto de la meteorización. Cerca de la Quebrada la Lúcura (Parte Alta Cuenca del Río Tona) se encuentra con un avanzado nivel de alteración y fracturamiento, generado por procesos mecánicos debidos, a los fuertes cambios de temperatura en la zona de El Alto y Tierra Negra. También aflora en el sector de Pirgúa hacia el W del río Tona.

Tonalita del Plutón de Páramo Rico (TRt).

Es un cuerpo intrusivo tonalítico de color gris, que abarca una extensión en el área de trabajo de alrededor de 3 Km², lo que equivale al 0.5 % del área total; se encuentra distribuido al E de la cuenca del Río Tona en el límite de la zona de estudio. Muestra una composición intermedia, con textura porfirítica y tamaño de grano, medio a grueso, con un contenido importante de máficos 30%, cuarzo 20%, plagioclasa 40%, feldespato potásico 10%. Los componentes máficos están uniformemente diseminados en una matriz de plagioclasa equigranular. Los afloramientos encontrados en el área de estudio muestran la roca fresca y estructuralmente poco afectada (Coronado, Mejia, 2006).

Cuarzomonzonita De La Corcova (TRJc).

Esta unidad tiene variaciones de Cuarzomonzonita gris, Granodiorita y Diorita; se le ha asignado una edad relativa Jurásica y/o Triásico – Jurásica obtenida a partir de relaciones de campo y determinaciones radiométricas. Generalmente la Cuarzomonzonita de La Corcova se caracteriza por estar constituida por una roca equigranular, de grano fino a medio, de textura sacaroide, con biotita uniformemente diseminada de color gris. Se identifica regionalmente como el Plutón de La Corcova y se observa sobre las vías, Bucaramanga-Pamplona y Los Curos-Guaca. Esta unidad se encuentra compuesta de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y moscovita; los accesorios son apatito, óxidos de

hierro y zircón. Como minerales de alteración, esta unidad contiene clorita, epidota y sericita, ver Clavijo y Royero (1995). En el Macizo de Santander la Cuarzomonzonita de La Corcova se observa como dos cuerpos, de forma alargada, con una orientación NS. Estos cuerpos han sido separados por efectos tectónicos y presentan leves variaciones composicionales, las rocas se encuentran en contacto intrusivo con las unidades Neis de Bucaramanga, Ortoneis de Berlín y la Formación Silgará, ocupando cerca del 19% del área total cartografiada. En la zona de estudio, la Cuarzomonzonita de La Córcova, se caracteriza por ser una roca de color gris, de grano medio a fino, de textura fanerítica, con presencia de patinas de oxidación y formación de dendritas de pirolusita en la superficie. Hacia el sector Las Palmas al SW del municipio de Tona, esta unidad presenta un mayor porcentaje de feldespatos potásicos, lo cual genera una variación de cuarzomonzonita a granito (Foto 27). Su composición a partir de descripción de muestra de mano corresponde a cuarzo 35%, plagioclasa 32%, biotita 25%, epidota 5% y óxidos 3% de color gris, claro a blanco, el tamaño de los cristales es, arena de grano fino y estructura masiva. Aflora cerca al río Tona en el lado W, en el sector de Árbol Solo, por la vía que conduce de Bucaramanga a Tona, una roca muy fresca (Foto 27b) en el Cerro Ventanas presenta mayor meteorización y en la Vereda Guarumales presenta algunos sectores que varían su textura de porfírica a equigranular con alto contenido de minerales máficos, los cuales presentan un grado de meteorización medio (Osorio, Salazar 2006). Hacia el sector del Carrizal en la vía Tona – Km 18 se aprecia una roca de composición más granítica, con un mayor contenido de hornblenda equigranular y muy fresca. La Cuarzomonzonita de la Corcova, aflora también en la vereda de Granadillos del municipio de Piedecuesta, donde presenta una topografía de pendientes moderadas. En esta zona se observan afloramientos de roca cuarzofeldespática de colores claros, con un grado alto de meteorización, producto de meteorización mecánica y química, lo que origina la formación de minerales de arcilla (caolinitas principalmente) por la alteración que sufren los feldespatos. Una particularidad en esta zona del Macizo de Santander, es el aumento en el porcentaje de minerales máficos presentes en

la matriz de las rocas cuarzomonzoníticas; localmente se presentan enclaves máficos (Foto 28b) que muestran un mayor contenido de arcilla, en los niveles de meteorización. Mineralógicamente estas rocas poseen cuarzo (35%), plagioclasa (40%), feldespato (20%) y micas (5%). En su textura estas rocas son holocristalinas, faneríticas y presentan una estructura masiva. En este tipo de roca, los perfiles de suelo originados por los procesos de meteorización, presentan una textura de tipo arenosa.

Cuarzo monzonita de Santa Bárbara (Jcs).

Esta unidad fue definida por Ward y Goldsmith (1973) dentro del denominado Grupo Plutónico de Santander, el cual es un término que incluye los batolitos mayores del Macizo de Santander y puede dividirse en dos series, una de Granito rosado y otra Cuarzomonzonítica. Se sugiere una edad relativa, asignada al Jurásico y/o Triásico-Jurásico, con base en relaciones de campo y determinaciones radiométricas. Estas rocas conforman el Batolito de Santa Bárbara y afloran al oriente del departamento, en los sectores de Los Curos, Santa Bárbara, Baraya y en los alrededores de Berlín. La cuarzomonzonita es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, equigranular, compuesta por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. También se encuentran, fenocristales de feldespato potásico (2 cm.), plagioclasa, cuarzo y localmente hornblenda.

Aflora hacia el Páramo de Berlín sobre el costado sur de la vía Bucaramanga - Pamplona y llega hasta el sector de Arenales. El área presenta una morfología de colinas redondeadas y se encuentra en contacto intrusivo con el cuerpo tonalítico en el sector Cruz de Lata en la vía Berlín – Vetas, extendiéndose en forma alargada, con una orientación NS e intruyendo al Ortoneis de Berlín. Hacia la Vereda El Tembladal (Parte Alta Cuenca Río Tona) se encuentra en contacto fallado con la Formación Los Santos e inconforme con la Formación Girón, distinguiéndose como un cuerpo alargado y aislado. La totalidad de este cuerpo en superficie ocupa cerca del 12% de la zona de estudio. Composicionalmente

presenta feldespato potásico 35%, cuarzo 40%, hornblenda 5% y biotita 20%, en muestra de mano, aunque su composición varía localmente, al igual que el tamaño de grano de los cristales que la constituyen. Estas rocas presentan un alto grado de meteorización en la zona de estudio, los feldespatos son los minerales que evidencian el mayor grado de alteración y a partir de ellos se genera la aparición de arcillas. El perfil de meteorización que se observa es de carácter arenoso y de color crema, se evidencian fácilmente los cristales de cuarzo los cuales son muy resistentes a la alteración.

Formación Girón. (Jg).

Langenheim (1954) fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m.), uno intermedio lodoso (1.250 m.) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m. En Clavijo y Royero (2001) se nombra el estudio más detallado y completo de la Formación Girón realizado por Cediel (1968), quien en la sección tipo del Río Lebrija, describió y midió un total de 4.650 m y lo dividió en ocho conjuntos litológicos (A-H), que corresponden a las formaciones Girón (Conjuntos A-G) y Los Santos (H). Este espesor fue recientemente discutido por el mismo Cediel (2001) en el Coloquio sobre el Triásico – Jurásico en Colombia, donde se define el espesor “verdadero” acumulado en la estructura en que se desarrolla la sección tipo de la Formación Girón, este espesor puede ser la mitad del valor publicado anteriormente. En la zona de estudio se pueden distinguir dos sectores en los cuales aflora esta unidad. El primer sector se ubica hacia la zona del Alto (Divisoria Cuenca Río Tona – Altiplano de Berlín), donde se diferencia de la suprayacente Formación Los Santos por ser un paquete de areniscas conglomeráticas violáceas de grano medio a fino, con una matriz arenosa, granos subredondeados, moderadamente calibrada, mal cementada, que reposa discordantemente sobre el Ortoneis de Berlín.

El segundo sector donde se encuentra la Formación Girón, se localiza hacia la parte alta de la cuenca del Río de Oro, específicamente en El Picacho, sobre la vía que conduce hacia Bucaramanga. Esta formación se describe y define por rasgos geomorfológicos y estratigráficos, debido a que en la zona no se presentan afloramientos que permitan definir mejor esta unidad. La formación Girón se encuentra constituida por areniscas de grano medio intercalado con limolitas violáceas, las cuales presentan una composición: cuarzo 50%, plagioclasa 30%, fragmentos de roca 18%, micas 2%. Texturalmente se distingue por ser una arenisca mal calibrada, de granos subangulares a redondeadas, muy compacta y con baja porosidad. La Formación Girón reposa discordante sobre la Formación Silgará y Cuarzomonzonita de Santa Bárbara en este sector.

Formación Los Santos (Kils).

Según Morales et al. (1958) este nombre fue dado por Hedberg (1931) a una sucesión de areniscas que aflora en el Cañón del Río Lebrija a lo largo del ferrocarril de Bucaramanga a Puerto Wilches, entre los km. 92 y 93, cerca del caserío de El Tambor. Cediell (1968) revisa el término Formación Tambor, prefiriendo como localidad tipo, la Mesa de los Santos, donde los estratos de esta formación están bien expuestos y propone se denomine “Formación Los Santos”. La Formación Tambor en la Mesa de Los Santos y zonas vecinas está constituida por tres niveles: uno inferior, de areniscas, principalmente arcosas de colores frecuentemente rojizos; otro medio, arcilloso con intercalaciones de areniscas, también rojizo o rosado; y otro superior de areniscas blancas, mejor estratificadas que el nivel inferior. El espesor total es de más de 200 m en el borde W de la Mesa de Los Santos y de 120 m en el borde E, es decir que se adelgaza hacia el Macizo de Santander. En el Macizo de Santander, esta formación se encuentra formando pendientes estructurales en el sector del Alisal, con una extensión de alrededor de 3 km² al NE, hasta el sector del Alto, en contacto fallado con el Ortoneis de Berlín en el área de Río Sucio. Aflora en la carretera que conduce de Berlín al Gramal La Formación los Santos reposa discordantemente sobre la

Formación Silgará en el desvío de la vía Berlín- Vetas hacia la finca el Alisal y en contacto discordante con el Plutón de Páramo Rico y la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, en el sector de Cruz de Lata. Se encuentra en contacto neto con Rosablanca en el sector del Llanito, finca El Alisal; Hacia el NE de la zona de estudio se observan fuertes escarpes, en la cuchilla Morroano, en donde esta formación está por encima de Rosablanca, debido a una falla de cabalgamiento en este sector. Hacia el W se encuentra limitado por la falla La Cristalina, poniéndola en contacto con el Ortoneis (Salazar, Osorio 2006).

Formación Rosa blanca (Kir).

Descrita originalmente por Wheeler (1939), su nombre deriva del Cerro Rosablanca, a unos 5 km. al norte del ángulo Noreste de la Concesión de Mares. La Formación Rosablanca ha sido cartografiada por Julivert (1958) en toda la Región de Mesas y Cuestas, por otro lado, Zamarreño de Julivert (1963) estudió en detalle la estratigrafía de la Formación Rosablanca en una sucesión, ubicada en el cañón del Río Sogamoso al W de La Mesa de Los Santos. También ha sido estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva (Boyacá) y Gámbita (Santander). Está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior se encuentra constituida por areniscas y lodolitas calcáreas. En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos, como yeso y polihalita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El espesor de la formación varía entre 150 y 425 m. El rasgo geomorfológico más representativo de la Formación Rosablanca son los escarpes ubicados en la zona oriental del área de estudio, que muestran grandes paquetes de calizas micríticas de color gris, en los sectores de Alto el Peñón Alto Peña Alta, Alto las Cruces y Alto El Picacho, sector Llano Adentro. Esta formación ocupa aproximadamente un 3,2% del porcentaje total del área cartografiada en el Macizo de Santander.

Formación Paja (Kip).

El nombre deriva de la Quebrada La Paja, afluente del Río Sogamoso, entre Bucaramanga y San Vicente según Julivert (1958); se trata de una sucesión de shales negros, fosilíferos, ligeramente calcáreos y micáceos, el segmento inferior de esta formación contiene concreciones calcáreas, septarias y venas de calcita. El espesor de esta formación varía entre un mínimo de 125 m y un máximo de 625 m. La Formación Paja ha sido cartografiada por Jimeno y Yepes (1963), por toda la Región de Mesas y Cuestas, donde frecuentemente presenta niveles de yeso; este carácter yesífero constituye un rasgo particular del ambiente de sedimentación propio de esta zona. En la zona del Macizo de Santander, se caracteriza por definir unas pendientes suaves, ocupa un 0.16% del área total de estudio, y se encuentra constituida por niveles delgados de limolitas, lodolitas y arcillolitas negras, con presencia de impresiones de fósiles, restos de pequeñas conchas, concreciones y nódulos calcáreos; presentan como mineral accesorio la moscovita y pirita. Los shales negros se hacen ligeramente carbonáceos y se encuentran intercalados con areniscas de grano muy fino, silíceas (Foto 38). La Formación Paja se presenta en contacto neto y fallado con la formación Rosablanca, y en algunos sectores con la Formación Tablazo.

Formación Tablazo (Kit).

Descrita por Wheeler (1958) quien describe la secuencia de esta unidad, como una sucesión de calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m. La Formación Tablazo se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. En el área del Macizo de Santander La Formación Tablazo, se encuentra distribuida en la parte alta de la cuenca del Río Tona,

constituyendo escarpes y plegamientos amplios, ocupa aproximadamente un 0.8% del área total de trabajo. Composicionalmente, se caracteriza por la presencia de niveles de cuarzoarenitas, limolitas físilas, silíceas y calizas. Los niveles arenosos están constituido por areniscas de grano fino a medio, con oxidación en la superficie, se presentan compactas con grado bajo a moderado y se disgregan fácilmente. Estos niveles arenosos de la Formación Tablazo presentan un porcentaje considerable de porosidad.

Falla de Bucaramanga.

Es una falla regional que se traza partiendo del extremo Sur del Macizo de Santander con una longitud de más de 600Km, hasta el Oeste de Santa Marta. Su configuración rectilínea y su gran longitud comprueban que es una falla de rumbo sinistral de grandes proporciones (WARD 1993); sin embargo, Julievrt1961 la define como una falla inversa por observaciones realizadas en inmediaciones de Bucaramanga, donde la falla muestra desplazamientos verticales con movimientos inversos y ascendentes del bloque oriental, correspondientes al Macizo de Santander. Algunas investigaciones históricas, realizadas recientemente, concluyen que buena parte de la sismicidad que se presenta en la ciudad de Bucaramanga está asociada a la actividad reciente de la Falla De Bucaramanga; Castro y Bernal 1992. Evidencias morfológicas y estructuras como el basculamiento dela Formación meseta de Bucaramanga, la presencia de cerros alineados, lagos de falla y otros han confirmado su actividad León 1992.

Todas estas fallas geológicas asociadas al margen oriental de la falla de Bucaramanga han afectado la masa rocosa del área y se puede ver su influencia en la configuración de la red de drenaje, cuya característica importante es la orientación de los cursos de los principales drenajes en la dirección de las fracturas existentes y el encajonamiento de sus valles erosiónales, río Surata y río Lato, bastante angostos y alargados. Las estructuras mayores y menores convierten las unidades geológicas en frágiles, permitiendo el plegamiento, el

fracturamiento y, por ende, el levantamiento, haciendo favorable a la meteorización y en otras zonas origina grandes rocas fracturadas.

La falla de Bucaramanga presenta una amplia zona de roca triturada y cizallada que se puede observar en los taludes de la que la cruzan. o El Gneis de Bucaramanga se caracteriza por ser una secuencia estratificada de rocas meta sedimentaria, de alto grado de metamorfismo, de edad Precámbrica y Ortogneis de edad predevónica (Ward et al1993). Está conformado por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo; esquistos, ortogneis y migmatitas, materiales de diferentes grados de metamorfismo delos que depende la asociación mineral componente que puede incluir: Silimanita-cordierita: biotita-feldespatos-cuarzo con o sin moscovita y Silimanita: epidota-anfíbol; neis cuarzomonzonítico con biotitas: cordieritafeldespato-cuarzo. Los feldespatos incluyen un gran porcentaje de Plagioclasa, Calcita y junto a las Micas, Anfíboles y Piroxenos son los más inestables en las condiciones del clima de la zona.

La textura general de las rocas es de carácter fanerítico, variando desde equigranular, inequigranular a pegmatita; pero también se pueden en contraridiques de roca ígnea máfica de grano muy fino, reflejando una gran heterogeneidad de materiales expuestos en un mismo afloramiento que presentan, además, un alto diaclasamiento con espaciamiento centimétrico, especialmente desarrollado sobre el área de la zona de la falla de Bucaramanga, donde el macizo rocoso está prácticamente cizallado y completamente brechado.

Los rasgos geomorfológicos característicos de esta unidad resaltan en la zona por su topografía abrupta, pendientes que varían entre 24 y 66 grados con un patrón de drenaje dendrítico a subdendritico. En la interpretación de fotografías aéreas, estas unidades litológicas se presentan con tonos de color gris, que varían entre claro y medio.

Falla del Río Lato.

Es una falla normal cuya componente de rumbo es dextral, con una longitud aproximada de 20 Km., que se desprende de la Falla de Bucaramanga al noreste de Piedecuesta; sigue el curso del Río Lato en su parte alta y continúa con dirección norte en el curso de Río Frío para unirse con la Falla Río Frío en cercanías al corregimiento de La Corcova. De sur a norte esta falla atraviesa el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de La Corcova, formando un contacto fallado entre estas dos unidades sobre el cauce de río Frío. Esta falla se puede evidenciar en campo gracias a facetas triangulares, lineamiento del Río Lato, contraste litológico y presencia de estrías, la falla tiene una dirección N50E.

Falla Río Frío

Es una estructura normal, de más de 25 Km. de longitud, que se desprende de la falla de Bucaramanga al este del municipio de Floridablanca. Tiene dirección N40E, sigue el curso del río Frío en su parte media hasta los alrededores del corregimiento de La Corcova, donde se une a la falla Río Lato y continua con dirección N20E hasta la Microcuenca del río Charta. Esta falla atraviesa rocas del Neis de Bucaramanga y de la Cuarzomonzonita de La Corcova. Esta falla se aprecia hacia el SW de la zona de estudio en cercanías de la vereda El Cubin, es una falla de tipo normal con el plano de falla inclinado al E que tiene una componente de rumbo dextral. Esta falla define el contacto entre el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova. La falla se reconoce principalmente por el lineamiento del Río Frío.

Falla Mensulí

Esta falla es de tipo normal con plano de falla inclinado hacia el oeste, con una componente de rumbo sinextral, la cual presenta una continuidad 42 hacia el este, definiéndose de esta forma una segunda falla llamada Granadillos.

Falla Granadillos

Esta falla se define como una falla de rumbo de tiposinestral. Fue definida gracias a rasgos en la geomorfología como lo son facetastriangulares y la presencia de una silla de falla; también se observaron cambios en las direcciones de foliación de las rocas adyacentes a la zona de influencia de la falla. La falla se observa hacia la vereda Granadillos sobre el sector de la cancha de futbol, esta falla corta las unidades del Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova.

3. RESULTADOS

3.1 PETROGRAFÍA

Para el análisis petrográfico se recolectaron en campo un número de nueve muestras, usando un tubo de seis pulgadas, el cual fue introducido 40 cm en el afloramiento, para que se mantuvieran las propiedades como la textura y las condiciones de estabilidad, ya que el terreno donde se extrajeron las muestras pertenece partes meteorizadas; Estas muestras fueron tratadas para la realización de láminas delgadas con fondo azul, para la respectiva determinación del porcentaje porosidad y observar la mineralogía, la cual será descrita a lo largo de este capítulo e incluida en los anexos.

Tabla 1. Localización Láminas delgadas

MUESTRA	COORDENADAS		FORMATO	LITOLOGÍA
	N	S		
Lamina A-1	1'119.036	1'121.870	1	Metamórfica Neis-Biotítico
Lamina A-4	1'115.283	1'266.982	2	METAMÓRFICA NEIS-BIOTITICO
Lamina A-11	1'113.067	1'268.691	3	METAMÓRFICA NEIS-BIOTITICO
Lamina A-6	1'114.249	1'278.759	4	ÍGNEA CUARZOMONZONITA
Lamina A-7	1'119.086	1'276.541	5	ÍGNEA CUARZOMONZONITA
Lamina A-8	1'118.748	1'270.837	6	METAMÓRFICA NEIS-BIOTITICO
Lamina A-9	1'117.369	1'267.501	7	ÍGNEA CUARZOMONZONITA
Lamina A-10	1'114.224	1'270.105	8	ÍGNEA CUARZOMONZONITA
Lamina A-13	1'117.117	1'267.533	9	ÍGNEA CUARZOMONZONITA

Fuente Por el Autor del Proyecto

Tabla 2 Porcentaje de porosidad relativa laminas delgadas.

Laminas	Porcentaje de Porosidad Relativa
Lamina A-1	8.22%
Lamina A-4	1.12%
LaminaA-11	2.11%
Lamina A-6	10.15%
Lamina A-7	11.24%
Lamina A-8	5.14%
Lamina A-9	7.84%
LaminaA-10	4.51%
LaminaA-13	6.71%

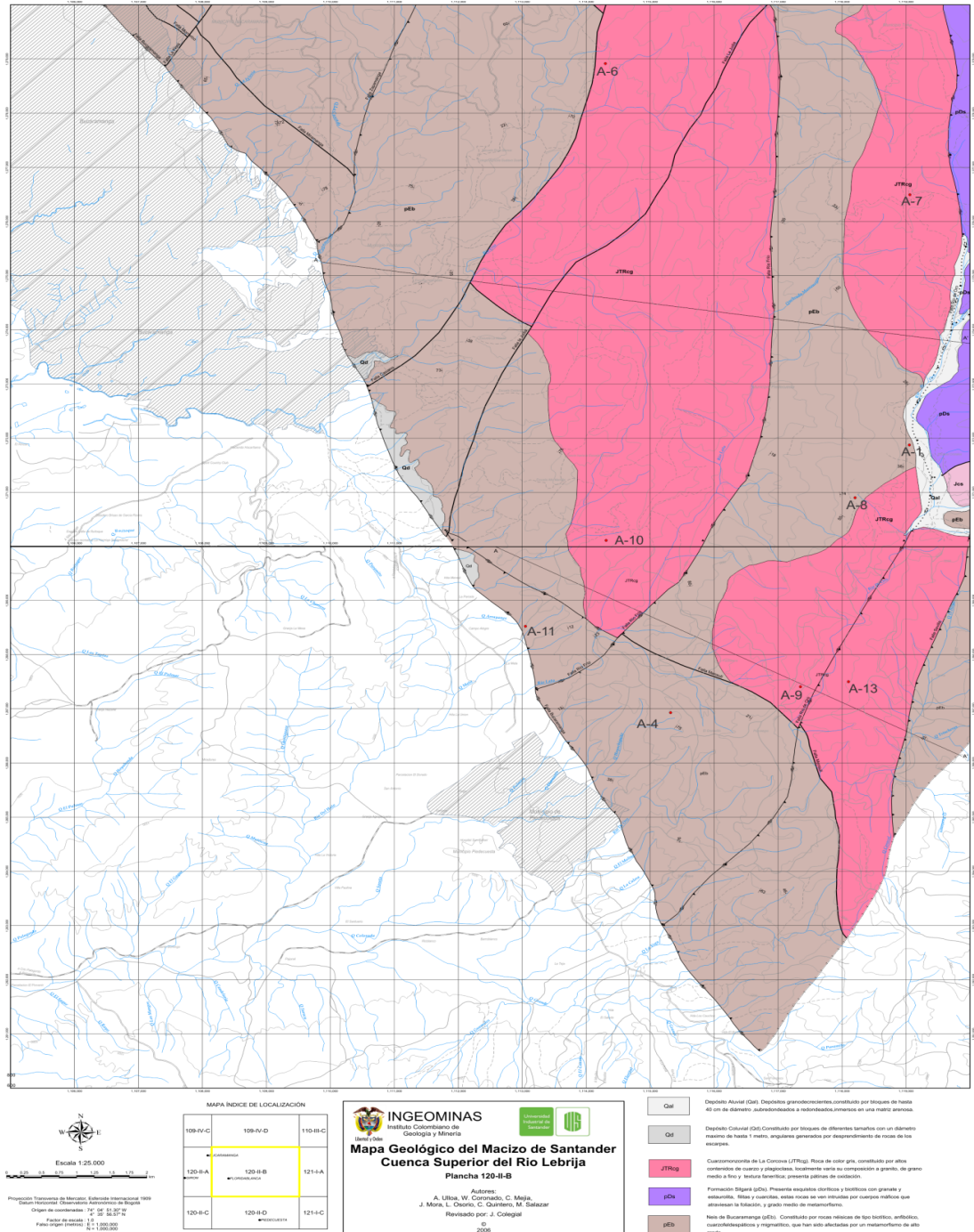
Fuente elaborado por el Autor

Las rocas consideradas como meteorizadas presentan heterogéneamente ligeras modificaciones mineralógicas. Estas modificaciones son la cloritización parcial o total de las Biotitas, la sericitización parcial de las plagioclasas y la alteración de la cordierita. Estas alteraciones o bien son debidas a una actividad deutérica o bien a la misma meteorización, ya que estos procesos pueden darse tanto a bajas como a moderadas temperaturas. Los principales componentes de las rocas que se ven afectados por la meteorización son, en orden de alteración, plagioclasas, cordierita, clorita, biotita, feldespato potásico, moscovita y El Cuarzo.

Las diferencias en la meteorización se dan dependiendo el nivel donde se encuentren, como por ejemplo los primeros niveles de motorización van a presentar porosidad alta así como la lámina A-6 y otras como la lámina A-4 que se tomó de una roca con un nivel de meteorización menor.

Ver anexos para la descripción mineral.

Figura 4. Localización láminas delgadas



Fuente: Tomado M. Ulloa, Prof. Sully Gómez I. – UIS, proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en la región central del departamento de Santander

3.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Las rocas, desde el punto de vista hidrológico, son un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas como Textura del suelo, estructura del suelo, densidad real o peso específico real, porosidad y permeabilidad.

La determinación de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en el perfil de meteorización, sin embargo, puede ser el análisis del que es más difícil obtener resultados exactos y precisos. La materia seca que permanece en la roca posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales. Este valor analítico es de gran importancia ya que con este valor se demuestra cuánta agua está almacenada y cuánta agua está presente en cada nivel de meteorización.

El contenido de humedad es un factor en la conservación de algunos productos, ya que afecta la estabilidad de la mineralogía y el cambio en algunos minerales que son reemplazados por otros; Los datos sobre contenido de humedad se utilizan para expresar los resultados de otras determinaciones analíticas en una base uniforme (por ejemplo, con base en el peso seco).

El contenido de humedad de las rocas varía enormemente, según el tipo de roca, las rocas cristalinas tienen una menor capacidad de almacenar.

3.2.1 Formulación

La humedad del producto expresada en porcentaje:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Dónde:

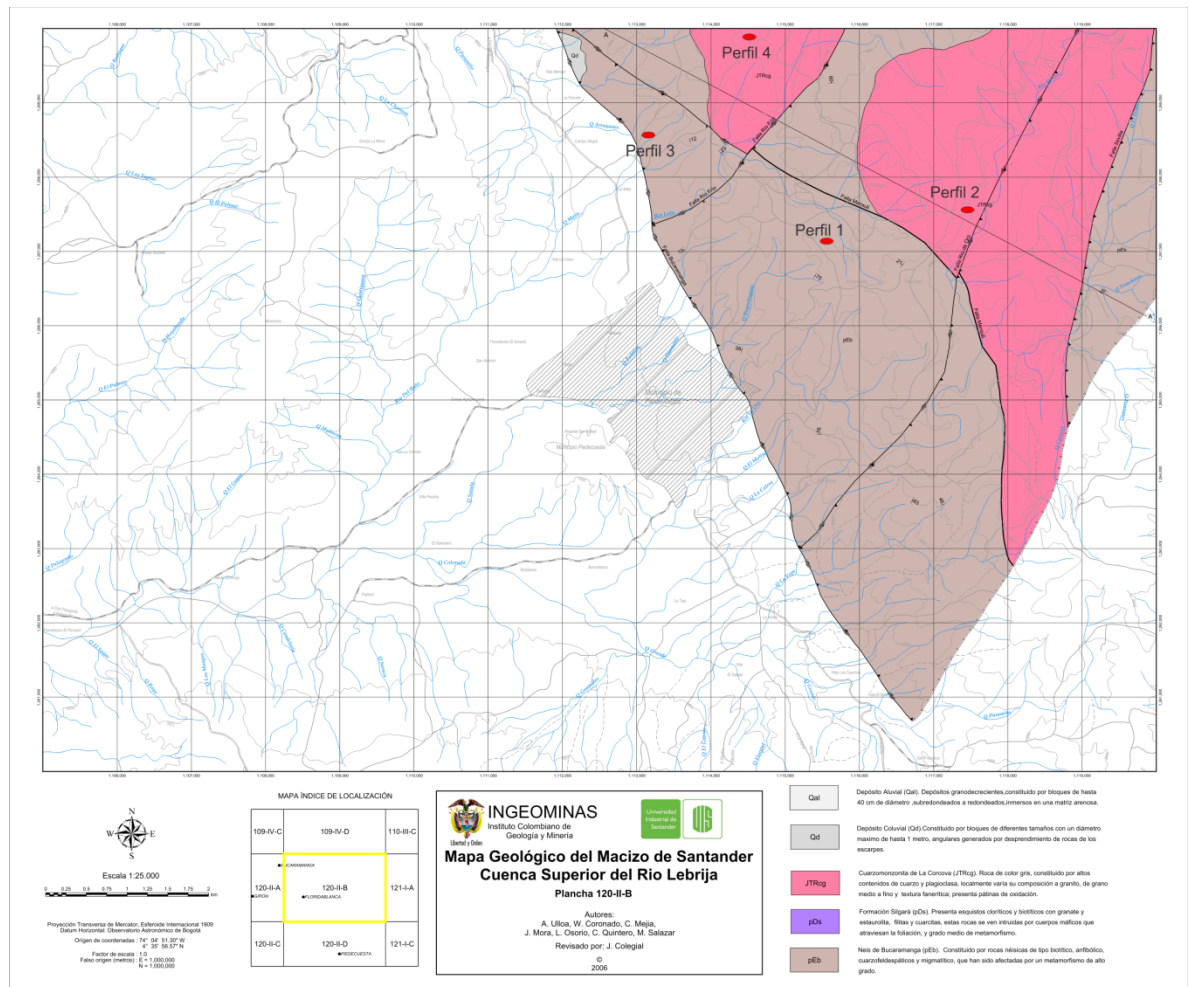
m1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos.

m2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos.

m3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos

3.2.2 Localización de los perfiles

Figura 5. Localización de los perfiles estudiados



Fuente: Tomado M. Ulloa, Prof. Sully Gómez I. – UIS, proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en la región central del departamento de Santander

3.2.3 Resultados. Para la determinación de humedad de cada perfil, se recolectaron muestras de los diferentes estados, basados en la escala de meteorización de Dearmann 1979-1991, el cual plantea seis estados para el perfil.

Tabla 3 Grados de Meteorización Dearmann 1979-1991

GRADE	DESCRIPTION	TYPICAL DISTINCTIVE CHARACTERISTIC
VI	Residual Soil	A soil formed by weathering in place but with original texture of rock completely destroyed.
V	Completely weathered rock	Rock wholly weathered but rock texture preserved No rebound from N Schmidt hammer Slake readily in water Geological pick easily indents surface when pushed
IV	Highly weathered rock	Rock weakened so that large pieces can be broken by hand Positive N Schmidt rebound value up to 25 Does not slake readily in water Geological pick cannot be pushed into surface Hand penetrometer strength index greater than 250 kPa Individual grain may be plucked from surface
III	Moderately weathered rock	Completely discolored Considerably weathered but possessing strength such that pieces 55mm diameter cannot be broken by hand N Schmidt rebound value of 25 to 45 Rock material not friable
II	Slightly weathered rock	Discolored along discontinuities Strength approaches that of fresh rock N Schmidt rebound value greater than 45 More than one blow of geological hammer to break specimen
I	Fresh rock	No visible signs of weathering or discolored

Fuente: Tomado de <http://www.ejge.com/2009/Ppr0935/Ppr0935rr.pdf>

RESULTADOS ENSAYOS DE HUMEDAD

Tabla 4 Perfil 1 Roca Metamórfica

Perfil 1	Peso de la Muestra húmeda	Peso Muestra seca	Peso agua	% Humedad
Sección 1	44.3	40.5	3.8	11.90
Sección 2	49.9	45.4	4.5	11.48
Sección 3	60.7	48.3	12.4	29.95
Sección 4	49.3	48.4	0.9	2.17
			Porcentaje total	13.87

Perfil 1: Promedio Humedad Perfil 1: 13.87

Figura 6 Humedad roca Metamórfica

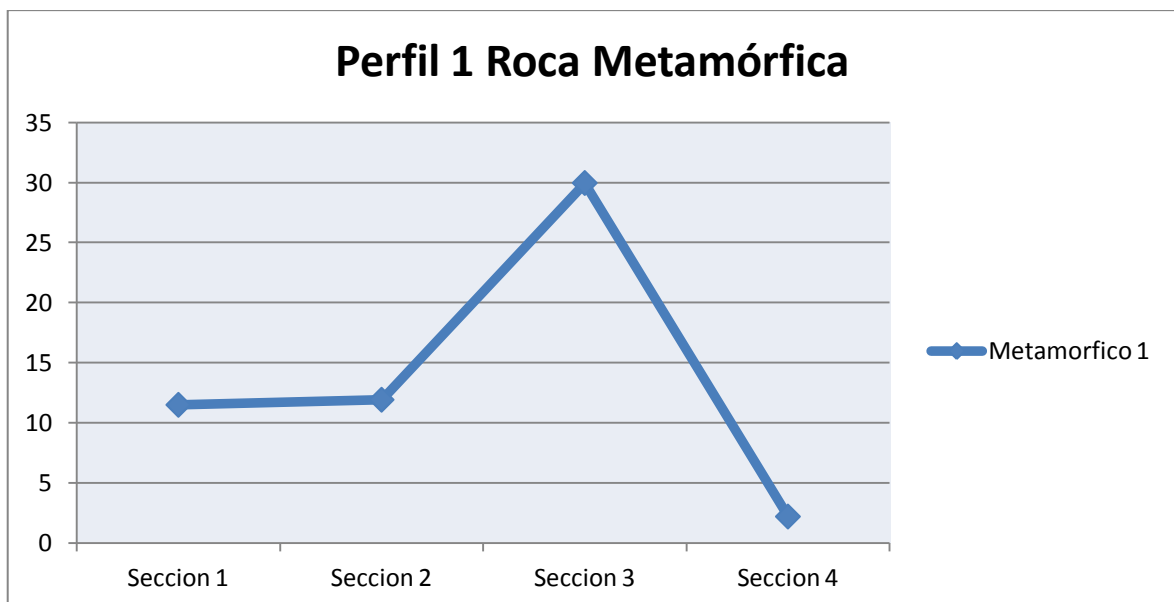
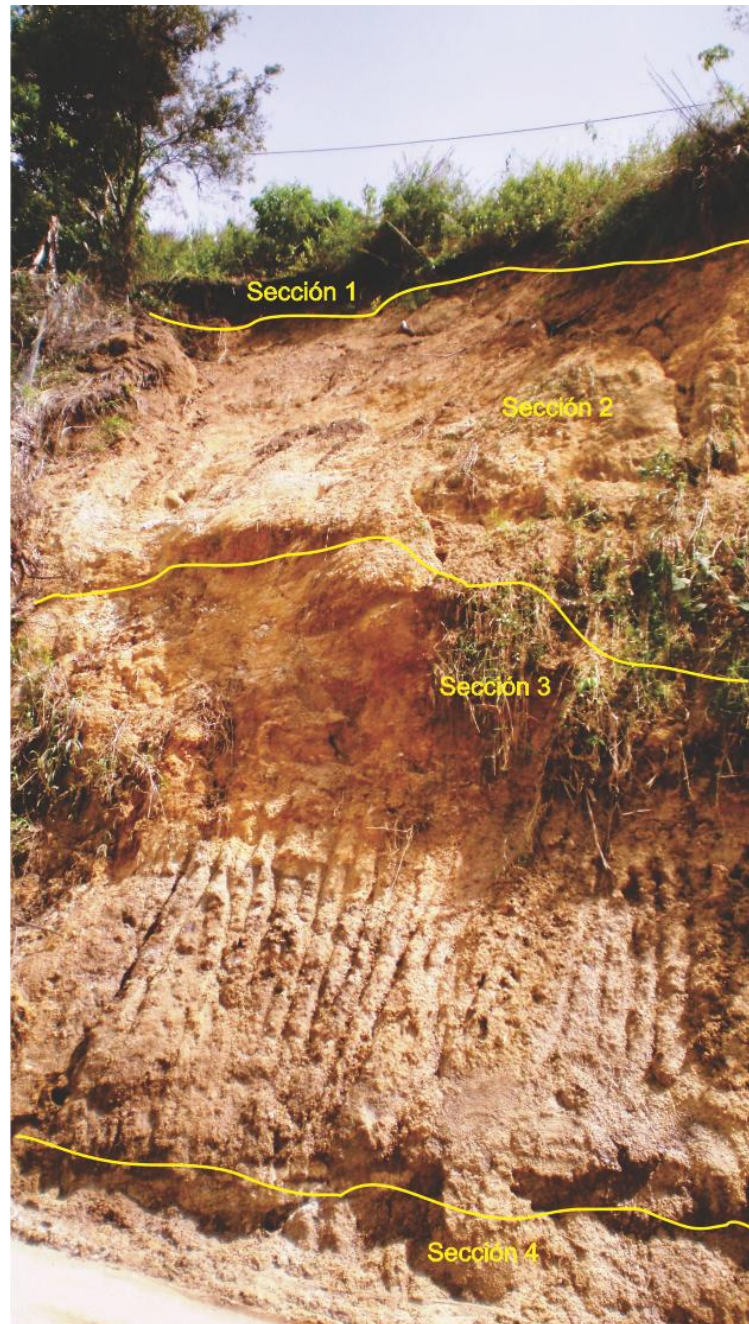


Foto 1. Perfil 1 Roca Metamórfica.



Fuente: Tomada por el Autor

Las secciones de 1, 2, 3 y 4, corresponden al grado de meteorización VI, V, IV y III respectivamente, de *Dearmann 1974-1991*.

Tabla 5 Perfil 2 Roca Ígnea

Perfil 2	Peso de la Muestra húmeda	Peso Muestra seca	Peso agua	% Humedad
Sección 1	43.1	37.4	5.7	18.81
Sección 2	61.3	51.8	9.5	21.39
Sección 3	64.2	57.8	6.4	12.67
Sección 4	50.5	48.6	1.9	4.60
			Porcentaje total	10.958

Promedio de Humedad Perfil: 10.958

Figura 7 Perfil roca Ígnea

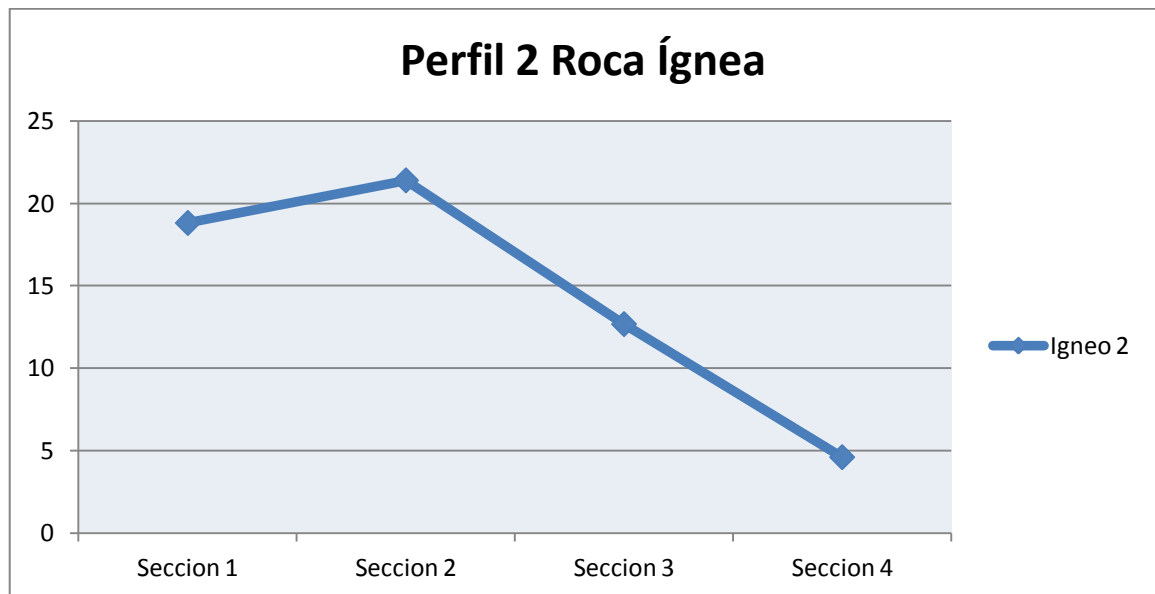
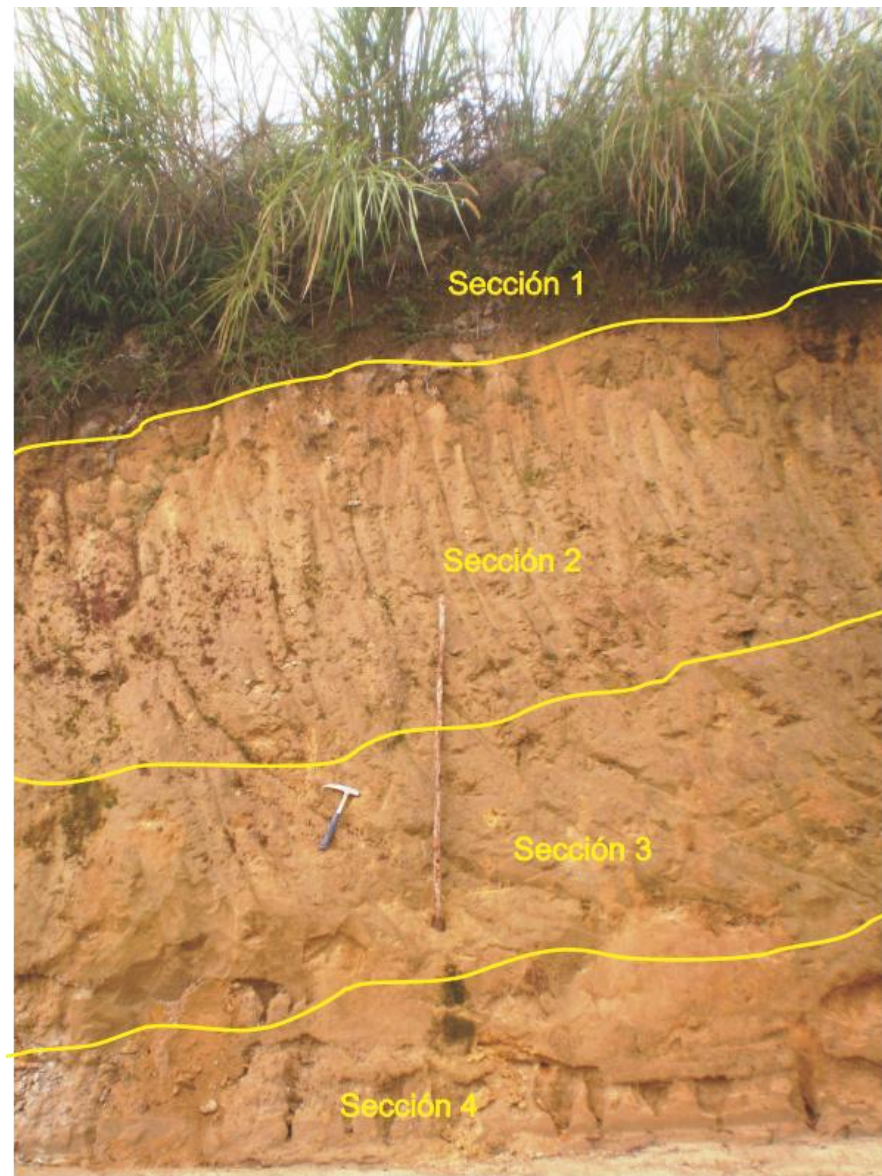


Foto 2. Perfil 2 Roca Ígnea



Fuente: Foto Tomada por el Autor

Las secciones de 1, 2, 3 y 4, corresponden al grado de meteorización VI, V, IV y III respectivamente, de *Dearmann 1974-1991*.

Tabla 6 Perfil 3 Roca Metamórfica

Columna 3	Peso de la Muestra húmeda	Peso Muestra seca	Peso agua	% Humedad
Sección 1	44.2	41.8	2.4	6.93
Sección 2	50.9	42.6	8.3	23.44
Sección 3	53.3	49.9	3.4	7.96
Sección 4	58.5	55.8	2.7	5.48
			Porcentaje total	14.37

Promedio de Humedad Perfil: 14.37

Figura 8 Perfil roca metamórfica

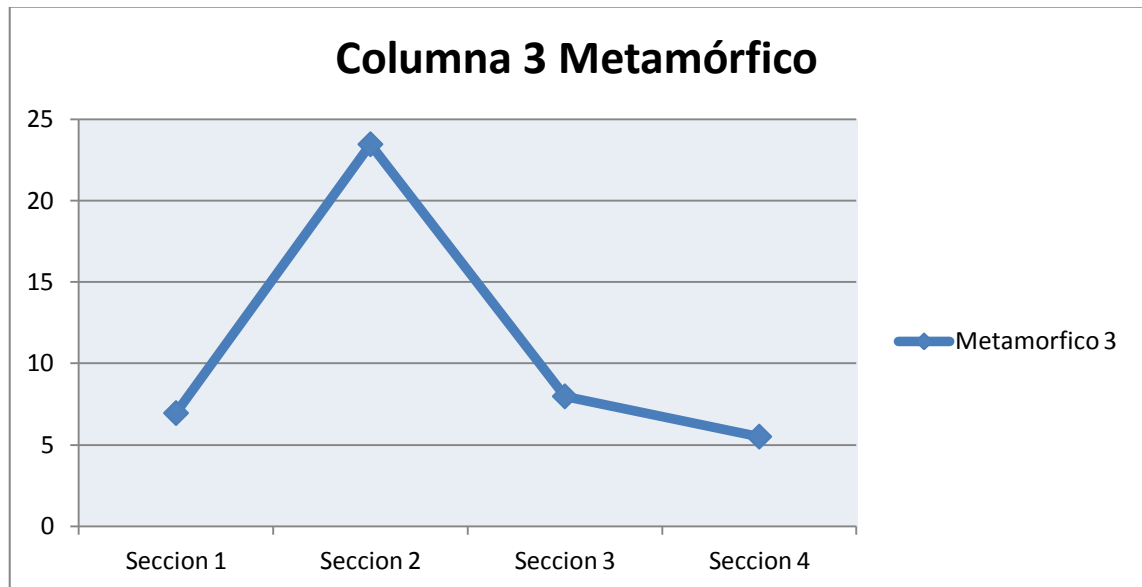


Foto 3. Perfil 3 Roca Metamórfica



Fuente: Foto Tomada por el Autor

Foto 4. Perfil 3 Lugar de muestreo



Fuente: Foto Tomada por el Autor

Tabla 7 Perfil 4 Roca Ígnea

Perfil 4	Peso de la Muestra húmeda	Peso Muestra seca	Peso agua	%
Sección 1	61	50.1	10.9	26.13
Sección 2	64.9	55.4	9.5	19.58
Sección 3	66.7	60	6.7	13.06
Sección 4	49.2	44.2	5	13.66
			Porcentaje total	18.112

Promedio de Humedad Perfil: 18.11

Figura 9 Perfil roca ígnea

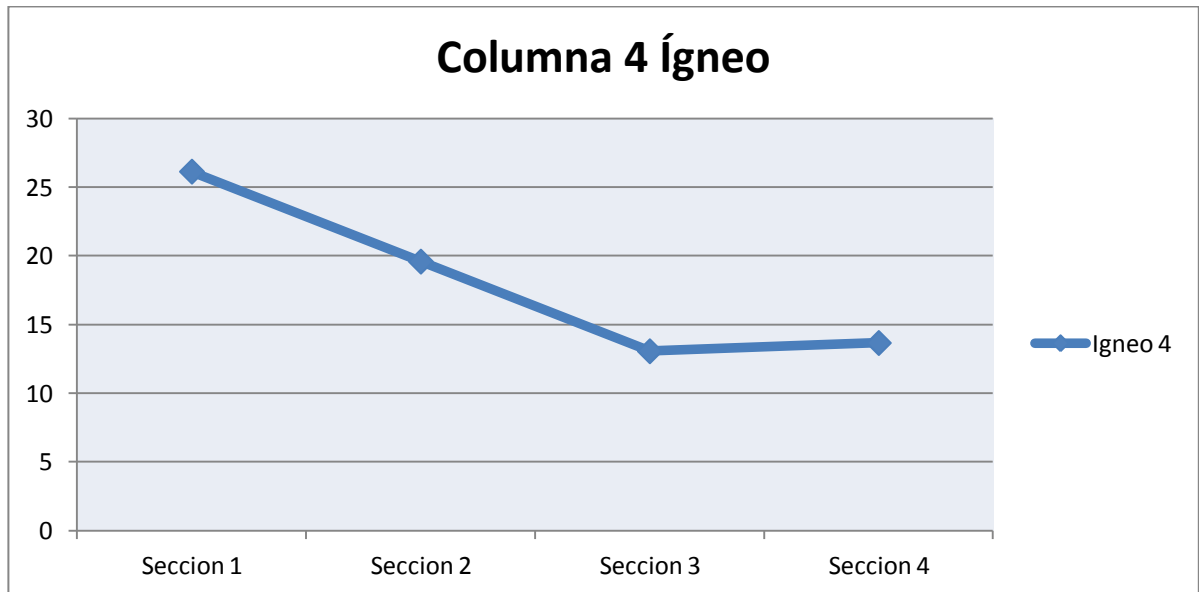
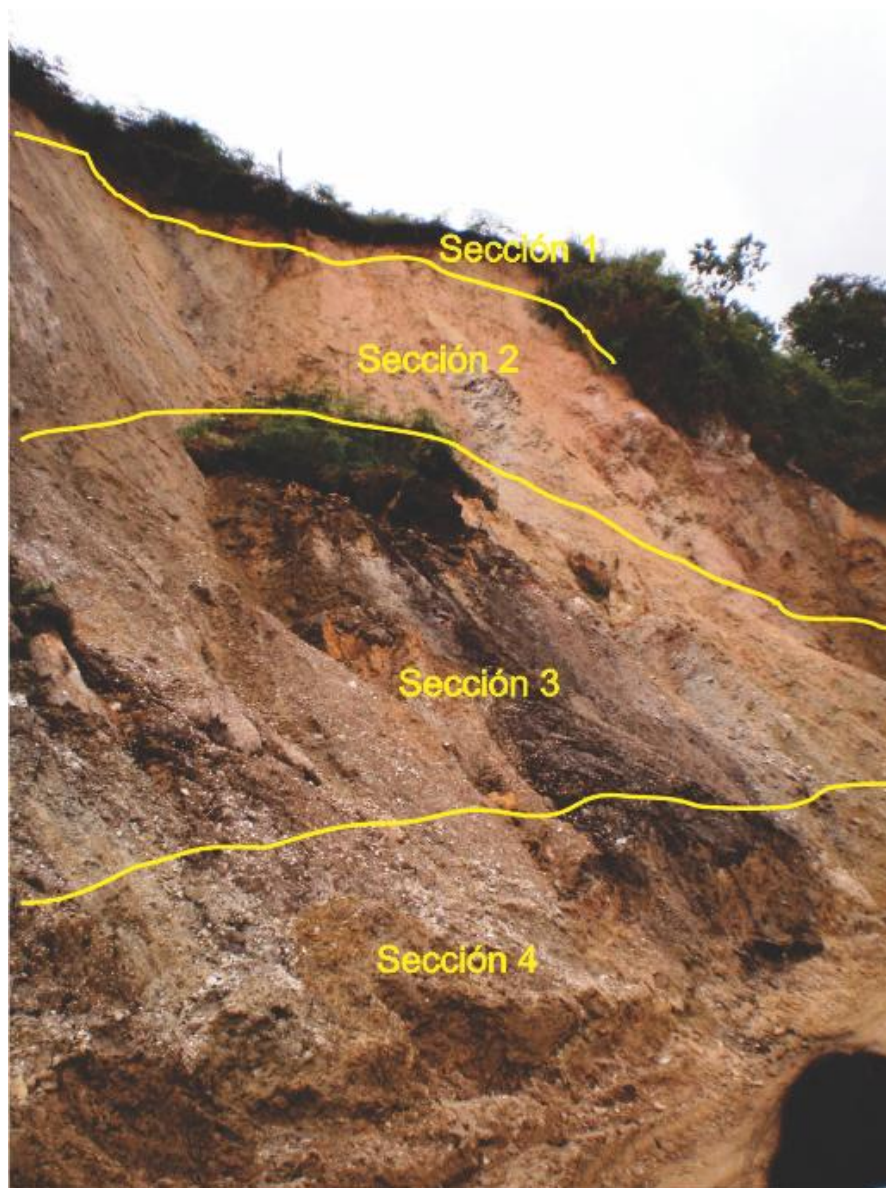


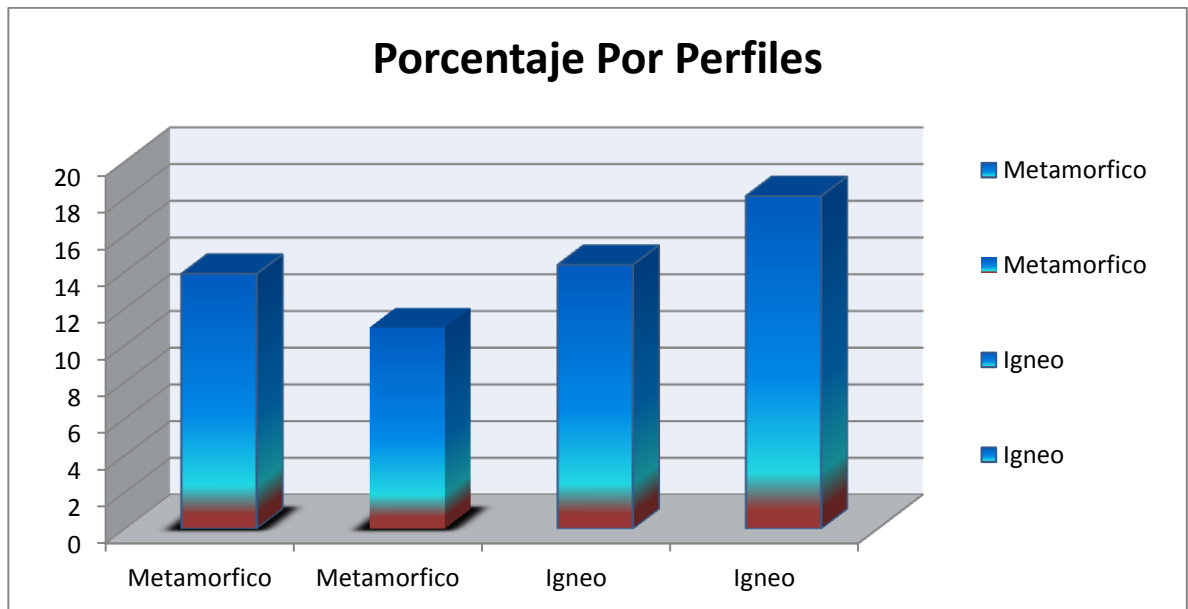
Foto 5. Perfil 4 Roca Ígnea



Fuente: Foto Tomada por el Autor

Las secciones de 1, 2, 3 y 4, corresponden al grado de meteorización VI, V, IV y III respectivamente, de *Dearmann 1974-1991*.

Tabla 8. Porcentajes de humedad por perfiles



El movimiento del agua en las rocas se rige por distintas leyes, según la importancia relativa de las diferentes fuerzas en presencia de la humedad de la roca.

Cuando el contenido de humedad en la roca es superior a la capacidad de retención, es decir, la roca está totalmente saturada de humedad, el movimiento del agua se rige por la gravedad. En esta situación la permeabilidad es la propiedad que define la mayor o menor facilidad con la cual se realiza este movimiento³.

Cuando el contenido de humedad es inferior a la capacidad de retención, el movimiento del agua se rige por difusión capilar hasta llegar al contenido de humedad que señala el punto de marchitez, pasando éste, el desplazamiento del agua está regido por la evaporación. En este caso domina el potencial de fuerzas capilares sobre las restantes¹. La velocidad de circulación dependerá de los

³ RADULOVICH, Ricardo. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía costarricense* 33(1): 121-124. Issn: 0377-9424 / 2009.

límites de humedad del suelo. Si la humedad es uniforme en todos los puntos del suelo, no hay movimiento.

En la correlación de las columnas analizadas se observa que existe un mayor porcentaje de humedad en los perfiles realizados en la roca Ígnea, dependiendo de las consideraciones anteriores donde el contenido de humedad en la roca es superior a la capacidad de retención, el movimiento del agua se rige por la fuerza de la gravedad en este tipo de rocas.

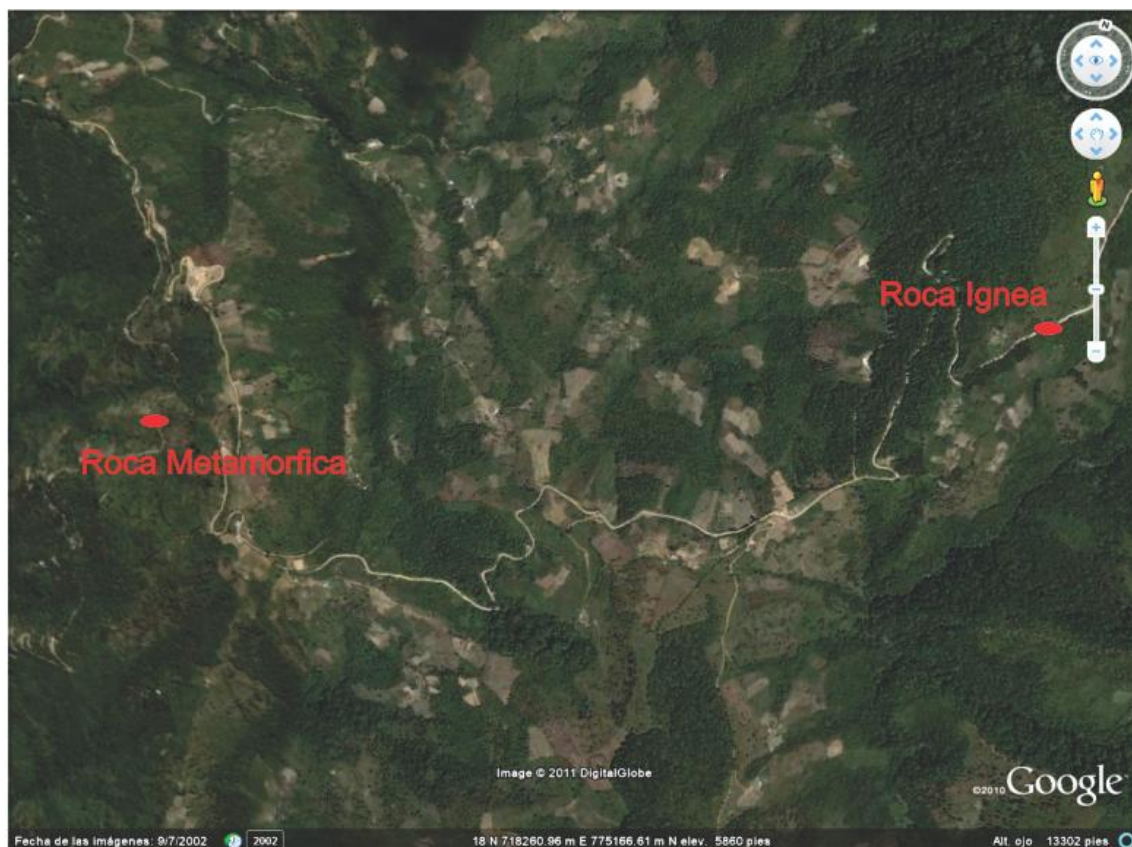
Esto hace suponer que el agua que se encuentra en este tipo de litología se encuentra concentrada en las fracturas que presenta la roca, y es por estas fracturas por donde el agua se infiltra a niveles más bajos. En los perfiles 2 y 4, correspondientes a perfiles en roca ígnea, se observa una simetría en el porcentaje de humedad, de donde se asume que el contenido de agua es aproximadamente igual, ya que la distancia de las dos columnas es distante.

El porcentaje en la roca metamórfica, es más baja que en la roca ígnea, y muestra una simetría en las secciones que se escogieron para la determinación del estudio.

4. RESULTADOS

4.1 ADSORCIÓN ATÓMICA

4.1.1 Localización



Fuente: Tomado Google Earth

4.1.2 Desarrollo AA. Para la caracterización del perfil de meteorización se realizó la técnica de AA, en dos diferentes litologías, de acuerdo a dos perfiles en la Cuarzomonzonita de la Corcova y el Neis de Bucaramanga, de los cuales se tomaron muestras para su respectivo análisis, las muestras recolectadas pertenecen a las secciones donde se observan los cambios más representativos en cada perfil, En el perfil correspondiente a la Cuarzomonzonita de la corcova se

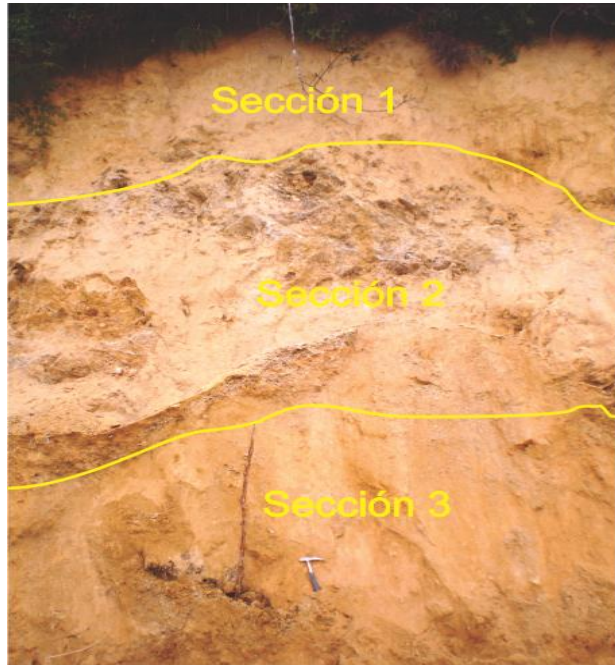
tomaron las secciones dos y tres; Para el análisis del Neis de Bucaramanga se tomaron las secciones tres y cuatro.

La sección dos corresponde al Grado V (*Dearmann 1974-1991*), roca completamente Meteorizada, no conserva la textura original de la roca, se disgrega fácilmente por el agua, las arcillas presentes han cambiado de color a colores amarillentos, se caracteriza por la presencia de fracturas continuas.

La sección tres corresponde al grado de meteorización IV (*Dearmann 1974-1991*), roca muy meteorizada, Conserva pocos rasgos de la roca madre, se observan pedazos de la roca madre de gran tamaño que pueden ser rotas con la mano, se disgrega fácilmente con el agua, se encuentran cambios en las superficies de las fracturas, son visibles los cambios de color a tonos grises y marrones, el color original de los minerales arcillosos es muy difícil de reconocer, por lo tanto los minerales arcillas son difíciles de reconocer.

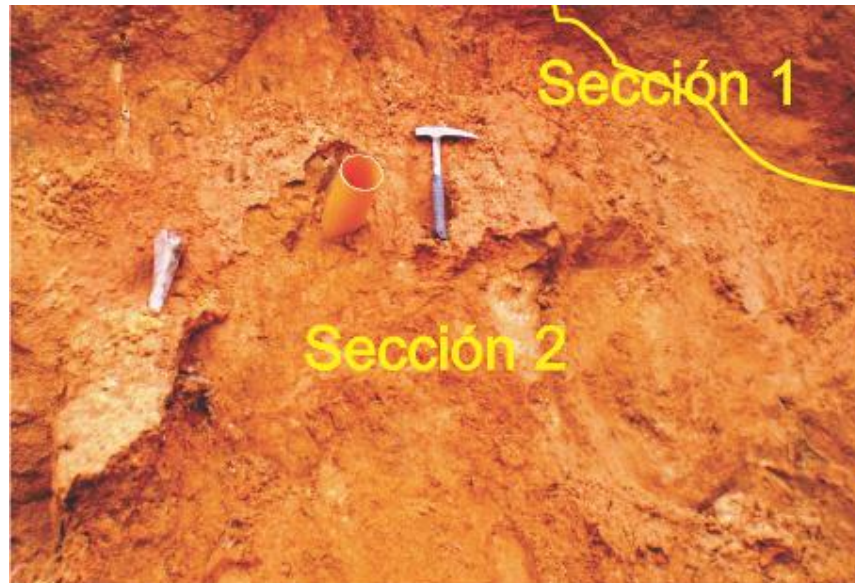
La sección cuatro corresponde al grado de meteorización III (*Dearmann 1974-1991*), roca moderadamente meteorizada, son observables texturas de la roca madre, presenta colores grises oscuros a marrones claros, no se puede romper con la mano, son visibles las fracturas, pedazos de roca de más de 55 mm, el color de los minerales arcillas se pueden ver y tiene poco cambios en los mismos, por lo tanto los minerales arcillas son reconocibles fácilmente.

Foto 6. Perfil de Roca Ígnea-Cuarzomonzonita de la Corcova, lugar donde se recolectaron las muestras



Fuente. Foto tomada por el Autor

Foto 7. Lugar de muestreo sección 2 Cuarzomonzonita de la corcova



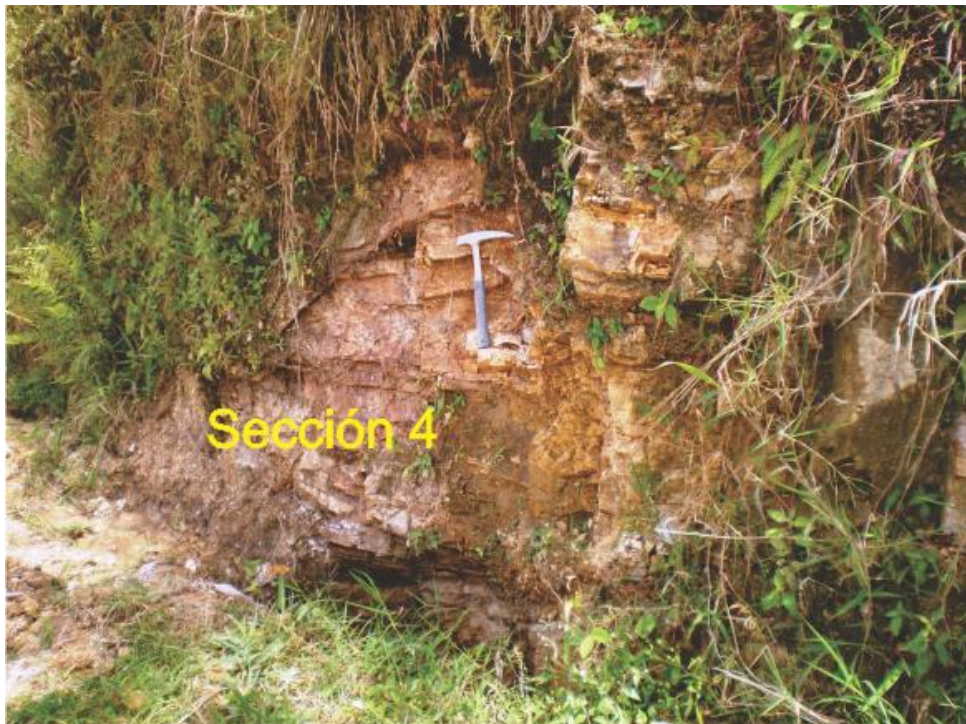
Fuente: Foto Tomada por el Autor

Foto 8. Lugar de muestreo sección 3 Neis de Bucaramanga



Fuente: Foto tomada por el Autor

Foto 9. Lugar de muestreo sección 4 Neis de Bucaramanga



Fuente: Foto tomada por el Autor

4.1.3 Análisis fisicoquímico. En los resultados de Absorción Atómica (AA), se mide el comportamiento de los elementos químicos en las secciones seleccionadas, teniendo en cuenta el estado de meteorización de cada perfil, para determinar la participación de cada elemento en este proceso, teniendo en cuenta que estos elementos son los principales componentes de cada roca.

Como componentes principales de cada roca se establecieron los elementos como Sodio (Na), Calcio (Ca), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Potasio (K), de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9. Roca Ígnea-Cuarzo monzonita Sección 2

Elemento	Porcentaje %
Na	0,0330
Ca	0,010
Al	0,57
Fe	0,56
K	0,13

Tabla 10. Roca Ígnea-Cuarzomonzonita Sección 3

Elemento	Porcentaje %
Na	0,053
Ca	0,018
Al	0,20
Fe	0,44
K	0,10

Tabla 11. Roca Metamórfica-Neis de Bucaramanga Sección 3

Elemento	Porcentaje %
Na	0,065
Ca	0,083
Al	2,15
Fe	2,73
K	1,28

Tabla 12. Roca Metamórfica-Neis de Bucaramanga Sección 4

Elemento	Porcentaje %
Na	0,18
Ca	0,020
Al	0,25
Fe	0,22
K	0,13

El proceso de meteorización modifica gradualmente la composición química y mineralógica de las rocas, las cuales están regidas por una variedad de factores climáticos o condiciones de la misma roca, por lo tanto el comportamiento de los elementos químicos dentro de los perfiles de meteorización, no puede explicarse solamente por medio del grado de meteorización, ya que no hay un estándar en los procesos que se generan cuando se da la meteorización química, por lo tanto es importante darse cuenta que los índices de la meteorización química deben ser utilizados para evaluar la heterogeneidad de cada litología. (Aydin, 2005)

Tabla 13. Comportamiento y Distribución de los elementos en el perfil de meteorización (Aydin, 2005).

Proceso de meteorización					
Tendencia de los estados iniciales	Observaciones	Tendencia de los estados avanzados	Observaciones	Implicaciones en el estado de meteorización	
Al	Sigue siendo estable o aumenta ligeramente	Descomposición de Al de los minerales primarios, inicia la formación de minerales secundarios (minerales Arcillosos), abundancia de arcilla pero no de minerales arcillosos	Aumenta moderadamente de forma significativa	Al está presente en los minerales secundarios (Minerales Arcilla) y domina la mineralogía en general	En las Etapas tempranas el índice es insensible a la intemperie
K	Disminuye ligeramente y fluctúa fuertemente	Se presenta una ligera descomposición de feldespato potásico, se forma minerales como la illita	Disminuye moderadamente de forma significativa y fluctúa fuertemente	Se presenta una descomposición significativa del feldespato potásico, y se da una abundancia de minerales arcillas	Cuanto más se esté expuesto el material la descomposición va hacer mayor y a mayor velocidad.
Ca	Disminuye ligeramente y significativamente	Descomposición de feldespatos y partículas de Plagioclasa	Se mantiene constante y en bajos niveles	la mayoría de Plagioclasa ya se ha descompuesto	En las etapas finales el porcentaje se convierte en inconsistente a la meteorización
Na	Disminuye ligeramente y significativamente	Descomposición de feldespatos y partículas de Plagioclasa	Se mantiene constante y en bajos niveles	la mayoría de Plagioclasa ya se ha descompuesto	En las etapas finales el porcentaje se convierte en inconsistente a la meteorización
Fe	Permanece estable y aumenta ligeramente	Inicios de la formación de oxihidroxidos y la disolución de minerales maficos con biotita	Aumenta moderadamente de forma significativa y puede fluctuar fuertemente	Influenciada por la presencia de oxihidroxidos en zonas ricas, relacionadas con las condiciones de lixiviación del perfil	Si el perfil está bien desarrollado el índice se incrementa, zonas ricas en Oxihidroxidos

Fuente: Tomado y Modificado con datos de campo de este proyecto.

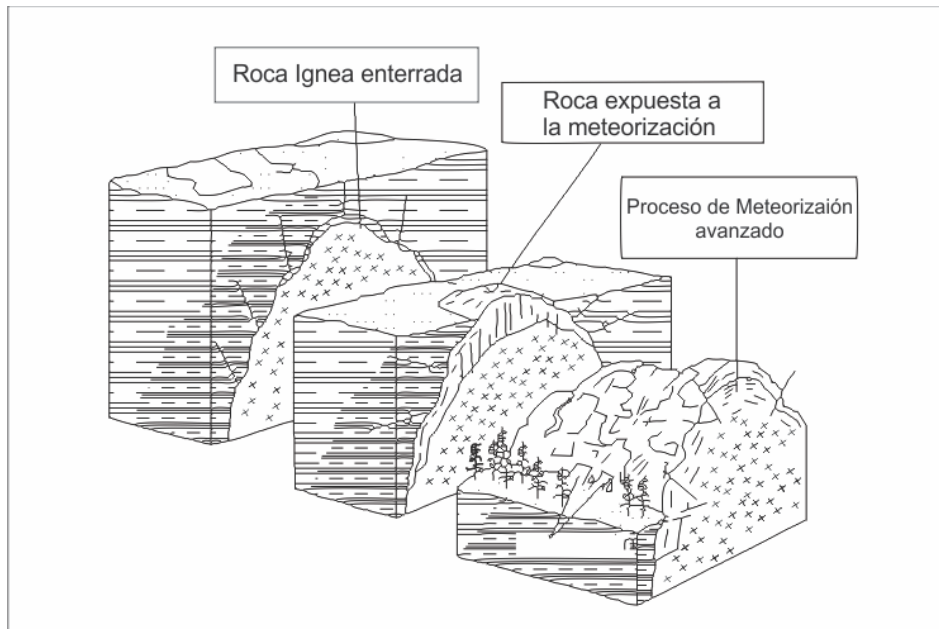
Variedades químicas y mineralógicas del perfil de meteorización son más evidentes con la presencia de minerales arcilla y zonas ricas en oxihidroxidos de Fe. El origen de los minerales arcilla presentes en los niveles de meteorización en las rocas del macizo de Santander, son el resultado del proceso de alteración química de los feldespatos y los minerales Ferromagnesianos presentes; La zona de cuenca del Rio Lato y Oro Alto, se encuentran rocas como el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova, con niveles importantes de minerales Ferromagnesianos, que llegan a caracterizar la textura y la composición de los niveles de meteorización de forma que se presentan perfiles de textura areno arcillosa de colores pardos rojizos, con porcentajes similares de tamaños de grano arcilla, limo y arena; En estos niveles de meteorización se registraron caolinita, haloisita, illita y esméctica, también se presentan porcentajes importantes de minerales interestratificados.(Geól. Alexandra M. Ulloa, 2005).

4.2 PERFIL DE METEORIZACIÓN

Durante mucho tiempo la meteorización ha sido un eje principal en las investigaciones hidrogeológicas, para la Geología y la Mecánica de las rocas, la meteorización tiene efectos negativos sobre la resistencia de la roca, como efectos físicos mecánicos y deformantes; La clasificación del grado de meteorización se puede dividir en dos procesos y/o darle dos enfoques diferentes cualitativo y cuantitativo; La clasificación cualitativa se basa en las descripciones observables y los índices simples de las propiedades, como el cambio de color en la roca, en la meteorización química los efectos se ven reflejados en el desgaste de Feldespatos y las Botitas. En la clasificación cuantitativa se pueden considerar propiedades mineralógicas y características de resistencia, también se pueden observar otro tipo de características que son involucradas a lo largo de los procesos de meteorización como lo son las microfracturas de la roca y la tectónica local a la cual están sometidas las mismas; Entonces el proceso de meteorización

al cual están sometidas las rocas del Macizo de Santander, lo podemos evaluar cuantitativamente como cualitativamente.

Figura 10. Proceso de meteorización



Fuente: Tomado y modificado de Deslizamientos y análisis tectónicos JAIME SUAREZ-2005

En la elaboración del perfil de meteorización, se tuvieron en cuenta aspectos relacionados como los porcentajes de Humedad Natural, Estudios Petrográficos y Análisis de Absorción Atómica.

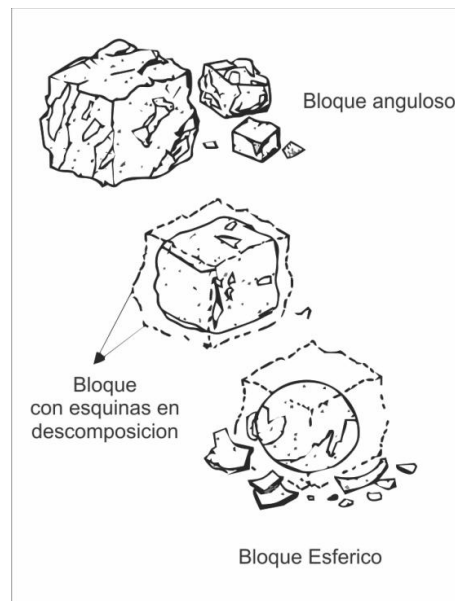
Se realizaron dos etapas para la descripción del perfil, la primera etapa se realizó con una salida de campo donde se ubicaron las mejores exposiciones de las rocas meteorizadas y se delimitaron las secciones representativas de cada perfil. Así mismo se recolectaron muestras de manera vertical, donde se observaron cambios de coloración en la roca, cambios en el grado de meteorización en zonas más o menos uniformes en cada caso, para la determinación del grado de meteorización se utilizó la caracterización propuesta por Dearmann (1974-1991), donde se clasifican VI estados de meteorización.

En una segunda etapa se realizó la evaluación de cada muestra, con el fin de determinar las propiedades de cada perfil, las cuales se darán con más detalle en transcurso del capítulo, estas propiedades son de Humedad Natural, Porosidad, Contenido Mineral, y su Composición química usando Absorción Atómica.

Los perfiles de meteorización realizados en la cuenca de Rio Lato y Rio de Oro Alto, se encuentran en un rango de profundidades 20 Mts.

4.2.1 Perfil cuarzo monzonita de la corcova. La Cuarzo monzonita de la Corcova en el sector de la cuenca del Rio Lato, presenta grado de meteorización avanzado donde varían de tamaño las partículas y la mineralogía, por consiguiente el tipo meteorización que se da en forma general para las rocas ígneas es esferoidal. A medida que el proceso de Meteorización avanza, el centro de la roca se mantiene inalterado, mientras que los bordes de la misma van disminuyendo de tamaño, quedando el centro recubierto por partículas tamaño arena, producto de la desintegración y alteración.

Figura 11. Descomposición de un bloque de roca



Fuente. Tomado y modificado, Deslizamientos y análisis tectónicos JAIME SUAREZ-2005

En la parte frontal del perfil de meteorización es de forma irregular, pero por medio de las fracturas el proceso es más penetrativo, de acuerdo a esto la meteorización avanza desde las partes superiores en sentido descendente y su limitante está ligada al grado de diaclasamiento y el espaciamiento entre ellas que contenga la roca.

Textualmente el perfil de meteorización se caracteriza por un enrojecimiento hacia la parte superior, en el grado de meteorización V y VI (Dearmann 1974-1991), donde se da una transformación y disolución total o parcial de los componentes minerales de la roca, donde los relictos de la roca madre van disminuyendo de tamaño y cantidad hacia la parte inferior del perfil, a la vez que los minerales arcilloso secundarios y los óxidos de hierro aumentan en proporción, los grados de meteorización II, III y IV se mantienen algunas estructuras de la roca original; Esta meteorización conlleva a la pérdida consistente de la roca y un aumento en la porosidad secundaria. Macroscópicamente la evolución del perfil al aumentar el grado de meteorización es el reflejo a escala microscópica de una serie de cambios a la que está sometida su mineralogía primaria, así como los cambios estructurales.

Foto 10. Meteorización esferoidal-cuarzo monzonita de la corcova

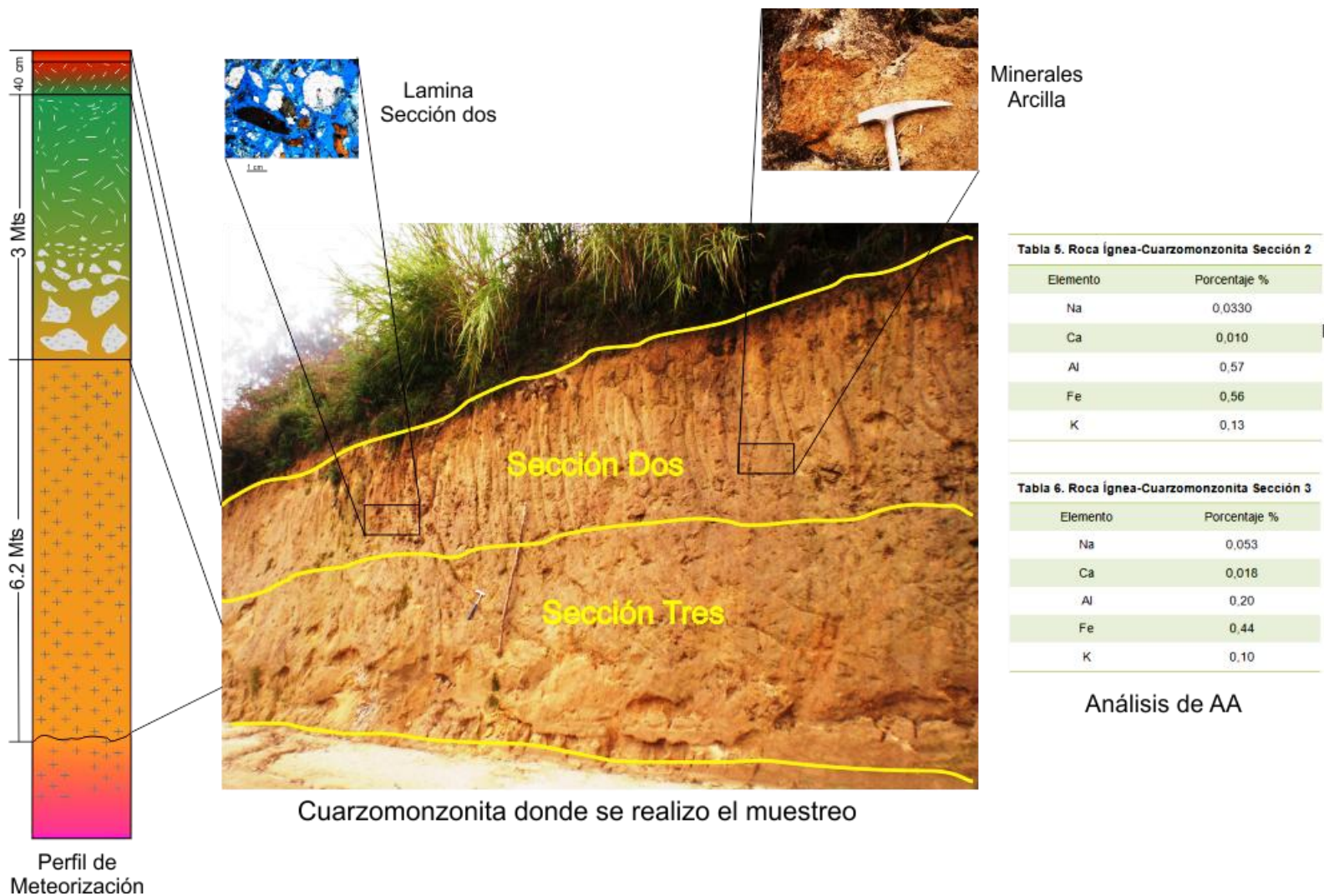


Fuente: Foto Tomada por el Autor

El perfil presenta una fina capa de color rojizo en un promedio de 10-40 cm correspondiente a la sección uno; Seguidamente una capa de espesor de 2.50 Mts, donde se observan bloques de roca por sectores, y en su gran mayoría constituida por partículas tamaño arena, se observan granos de cuarzo de tamaño Guijos y Guijarros considerables, colores rojos menos intensos a cafés claros, la porosidad de esta sección hallada con la realización de la petrografía es de alrededor y oscila entre 10 a 11%, una humedad encontrada para esta sección de 21.39%, los minerales presentes en esta sección cambian mayoritariamente a minerales arcilla aunque se mantienen muy pocos de la roca madre; La tercera sección corresponde a uno nivel menos meteorizado, se hacen visibles algunas fracturas en los bloques que no han sufrido meteorización, coloraciones de cafés claros a cafés oscuros, con algunas tonalidades de verde claros, esta sección tiene un espesor de 6 Mts, la porosidad de esta sección corresponde a 7.84%, con una humedad de 12.67%, la mineralogía que se observa conserva rasgos de la roca madre en su mayoría y los minerales arcillas son muy pocos y se encuentran rellenando las fracturas; Continuando con el perfil en forma descendente, la roca

se encuentra más fresca presenta un aspecto más reconocible de la roca original, la cual está afectada por el fracturamiento que es más visible en esta sección, la sección presenta una coloración de la roca madre, la porosidad de esta sección oscila entre 4.51 a 6.71%, con una humedad mucho menor que la sección anterior de 4.60%, la mineralogía no cambia mucho con respecto a roca madre, los pocos minerales arcillas presentes se hacen visibles en los bordes de las fracturas o los granos que comienzan a meteorizarse.

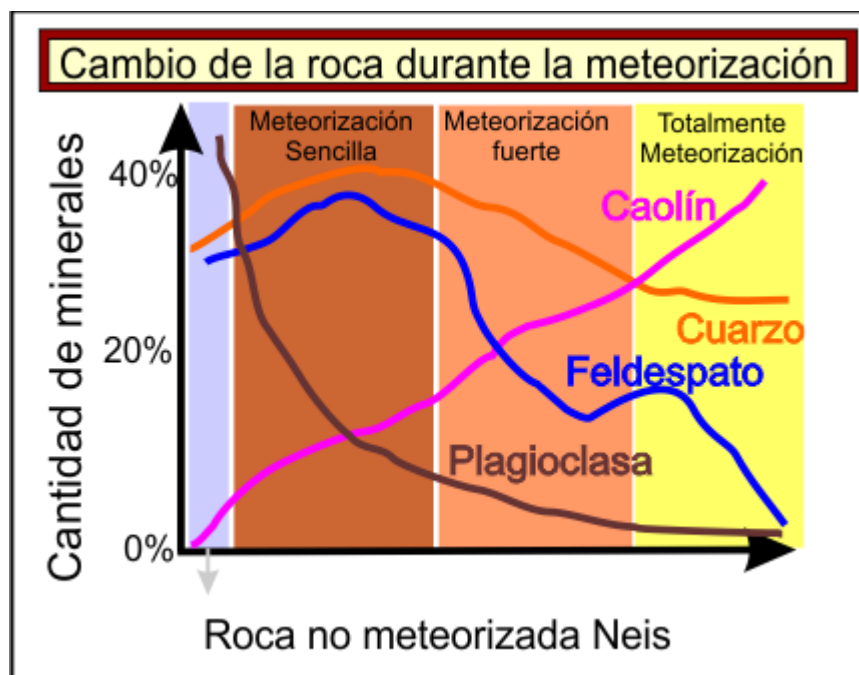
Figura 12 Perfil de meteorización cuarzomonzonita de la corcova



4.2.2 Perfil neis de Bucaramanga. El Neis de Bucaramanga en el sector de la cuenca del Rio Lato presenta grado de meteorización avanzado, este presenta similitudes con el perfil de la Cuarzomonzonita de la Corcova por el tipo de ambiente en cual se encuentran las dos litologías.

Para este tipo de litología es común encontrar en una muestra seca que el contenido de plagioclasa presente es de un 40 %, un 30 % de feldespatos y un 30 % de cuarzo, durante el proceso de meteorización de este tipo de rocas los primeros minerales en desaparecer son las plagioclasas y luego los feldespatos, durante este proceso de meteorización se forma un nuevo mineral como caolín.

Figura 13. Cambio en los minerales de la roca madre



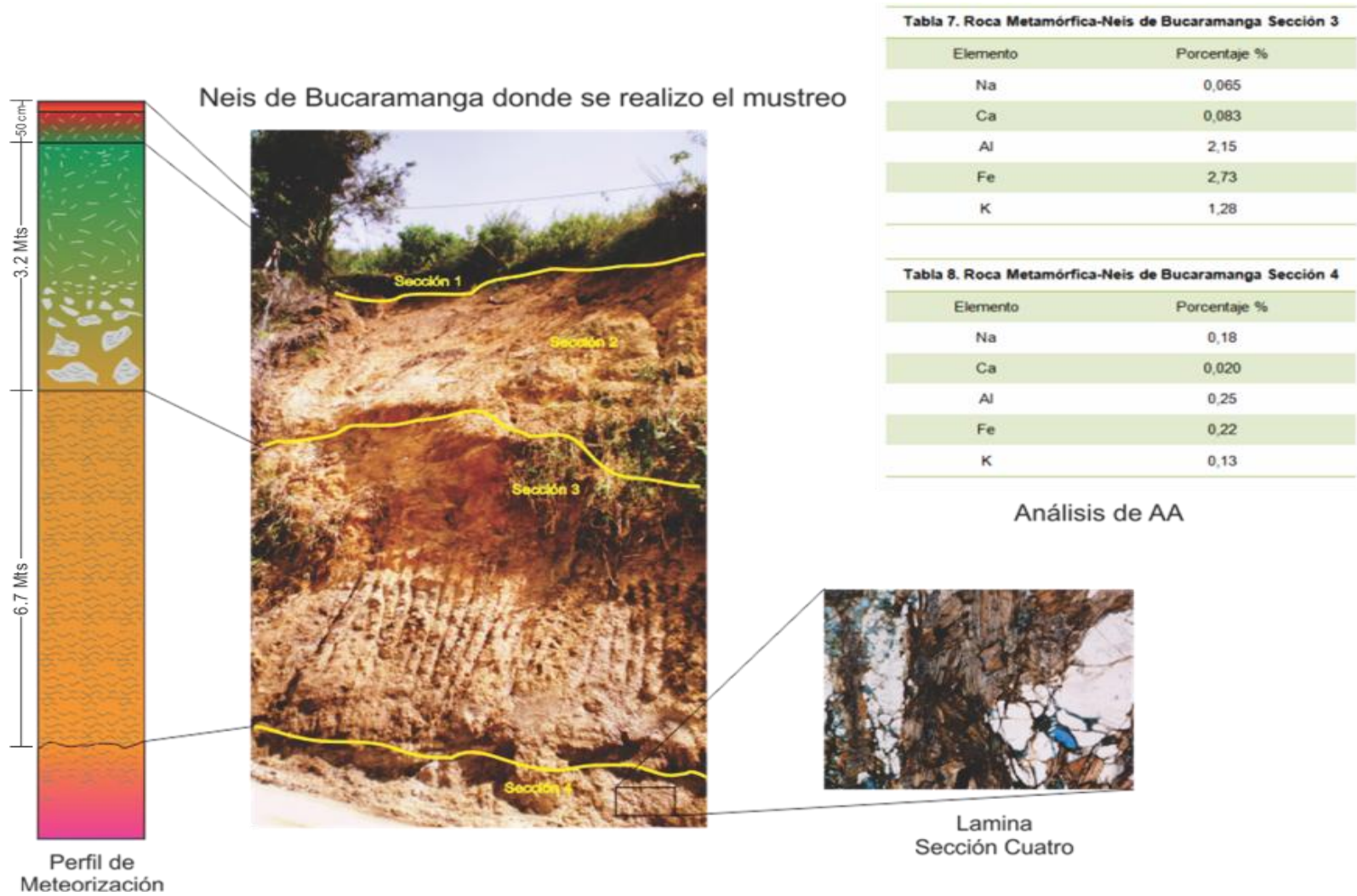
Fuente: Tomado y modificado de Geo virtual

Durante el proceso de alteración se origina una textura arenosa, constituida por los minerales heredados anteriormente nombrados, el proceso de meteorización es una hidrólisis acida con pérdida de bases y silicio y un enriquecimiento relativo en aluminio.

La infiltración de agua se hace por las fracturas que presenta la roca, por consiguiente se crea una meteorización desde las partes superiores hasta las inferiores; El perfil muestra niveles que se distinguen de acuerdo a su coloración y el cambio en la mineralogía de la roca por acción de la meteorización.

El perfil presenta una capa de color rojizo en un promedio de 10-30 cm correspondiente a la sección uno, la cual contiene una humedad del 11.90 %, a continuación el espesor de la capa meteorizada es de 3-3.50 Mts, donde se observan aspectos poco reconocibles de la roca madre así como un cambio en la coloración de la misma, en su mayoría se encuentran un terreno arenoso y poco consolidado con rastros de cuarzo en tamaños de guijos y guijarros considerables, su humedad es alta 11.48 %, la tercera sección corresponde a un nivel menos meteorizado de 7 Mts, donde se hacen visibles características de la roca madre, así como un fracturamiento menor de la roca, la coloración de esta sección es de cafés claro a oscuros y su porosidad es baja 1.12 %, los minerales en esta sección comienzan a sufrir un cambio muy notorio; La cuarta sección presenta humedad baja 2.17 %, la coloración es más característica de la roca así como son reconocibles los minerales a simple vista, los minerales arcilla se presentan en las pocas fracturas que presenta esta sección.

Figura 14. Perfil de meteorización cuarzomonzonita de la corcova



5. CONCLUSIONES

En el reconocimiento cartográfico realizado a 1:25.000 de las planchas 120 II B y 120 II D, se logró identificar las siguientes unidades, Neis de Bucaramanga (peb), compuesto por material cuarzo feldespático y botítico, proveniente del metamorfismo de rocas sedimentarias; Y la Cuarzomonzonita de la Corcova (Jrcl).

Estas unidades fueron evaluadas en un aspecto hidrogeológico, con la realización de secciones delgadas, pruebas de humedad natural y análisis de absorción atómica para determinar características reconocibles en el perfil de meteorización realizado.

Por medio de las pruebas de humedad realizadas en el proyecto, se logró identificar la mayor humedad en la unidad correspondiente a la Cuarzomonzonita de la Corcova, con un porcentaje que oscila entre 20 y 14 %, también se observó que esta misma unidad está muy afectada por fracturamiento lo cual hace que el agua se infiltre y genere una meteorización esferoidal; La Humedad en la unidad Neis de Bucaramanga es baja debido al poca fracturamiento presente en la zona donde se realizó el muestreo.

En el desarrollo petrográfico las láminas que presentan mayores porcentajes de humedad fueron las que se tomaron en los primeros niveles de cada perfil, esta porosidad para este tipo de rocas es una porosidad secundaria debido a la génesis de cada roca.

Durante el proceso de meteorización de las rocas, los minerales están sujetos al desgaste por acción del agua lo cual hace que algunos minerales pierdan iones; En las pruebas realizadas de AA se observa la pérdida de iones, con lo cual se reafirma que los minerales primeros en irse meteorizando son aquellos que

contienen mayoritariamente estos iones, las plagioclasas y los feldespatos. Para el primer nivel arenoso del perfil el que se presenta en tonos rojizos se evidencia un incremento en zonas ricas en oxihidroxidos de Fe.

6. RECOMENDACIONES

Para tener un mayor entendimiento del acuífero, se deben hacer perforaciones con el fin de encontrar el basamento en el cual se hospeda el agua del mismo. Realizar trabajos de permeabilidad para obtener niveles freáticos, piezómetros y zonas de recarga a partir de las líneas de flujo.

La geometría para la generación del perfil sísmico es el punto de partida en toda adquisición de datos, el buen manejo y la mejor forma de adecuarla, permite optimizar tiempo y garantiza mejores resultados puesto que el arreglo geométrico da una mejor distribución espacial de los geófonos en campo mejora la recepción de los datos para el procesamiento y posterior interpretación.

BIBLIOGRAFÍA

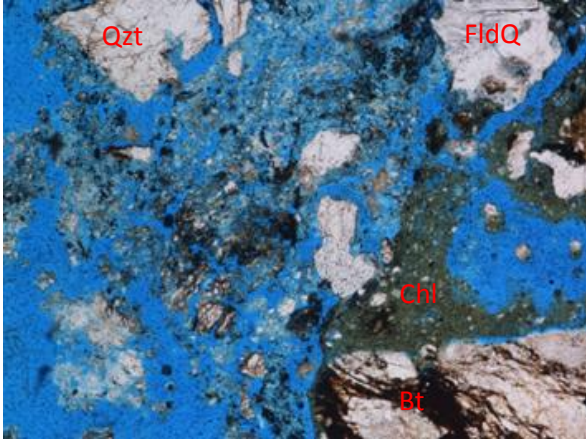

1. ALBINO, León Geología Estructural Bucaramanga. Escuela de Geología UIS, 1998.
2. ATIYE T. the effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. 2004
3. B. Dewandel a,*, P. Lachassagne b,1, R. Wyns c, J.C. Marechal b,1, N.S. Krishnamurthy d, A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering.
4. BELTRAN Ruth y Rey, Alexander comportamiento estructural asociados al sistema de fallas Bucaramanga.1999.
5. C. Gokceoglu,□, K. Zorlub, S. Ceryanc, H.A. Nefeslioglu, A comparative study on indirect determination of degree of weathering of granites from some physical and strength parameters by two soft computing techniques.
6. CORONADO LIZARAZO, Wilder; MEJÍA MORENO, Camilo Alfredo; Cartografía geológica y caracterización estructural confines hidrogeológicos en el sector nororiental de la cuenca del río de oro.
7. Corporación Estructural asociado al Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y diaclasas, para definir una Red de Drenajes Subterráneo en el Macizo de Santander, sección entre Piedecuesta (Río de Oro) y Bucaramanga (Río Suratá). Universidad industrial de Santander, 2002.

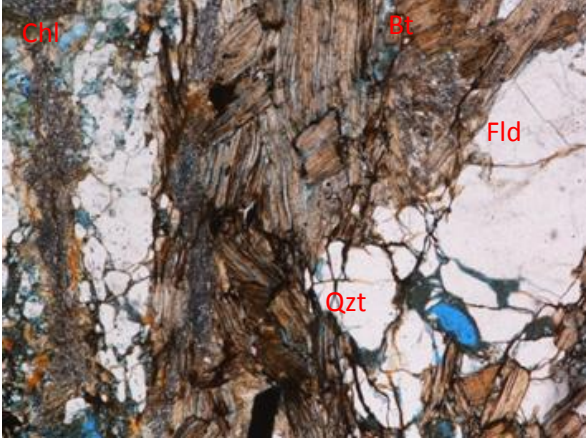

8. EHLEN, Judy, Some effects of weathering on joints in granitic rocks.
9. GARCIA, Carlos manual de Laboratorio de petrología Ígnea. Bucaramanga Escuela de Geología UIS, 1997.
10. GONZÁLES DE VALLEJO, Luis L. Ingeniería Geológica, Pearson Prentice Hall, Madrid 2002.
11. LE PERA, Emilia; SORRISO-VALVO, Marino; Weathering and morphogenesis in a mediterranean climate, Calabria, Italy.
12. NGUETNKAM, Jean Pierre a,*,b, Richard Kamga c, Frédéric Villiéras b, Georges Emmanuel Ekodeck d, Jacques Yvon b, Altération différentielle du granite en zone tropicale. Exemple de deux séquences étudiées au Cameroun (Afrique centrale).
13. OTONIEL Vergara Prospección Geológica Para Aguas Subterráneas en Rocas cristalinas Fracturadas Del Macizo de Santander Sector Oriental de Bucaramanga, Tesis. UIS.2004.
14. OTONIEL Vergara Prospección Geológica Para Aguas Subterráneas en Rocas cristalinas Fracturadas Del Macizo de Santander Sector Oriental de Bucaramanga, Tesis. UIS.2004.
15. PINTO. J. Téllez. G, Interpretación de los Rasgos Geotectónicos Asociados Al Sistema de Falla Bucaramanga Santa Marta en el departamento de Santander mediante el procesamiento de imágenes satelital y de radar. Bucaramanga escuela de Geología UIS 1999.
16. Ratnakar Dhakate, V.S. Singh, B.C. Negi, Subhash Chandra, V. AnandaRao.

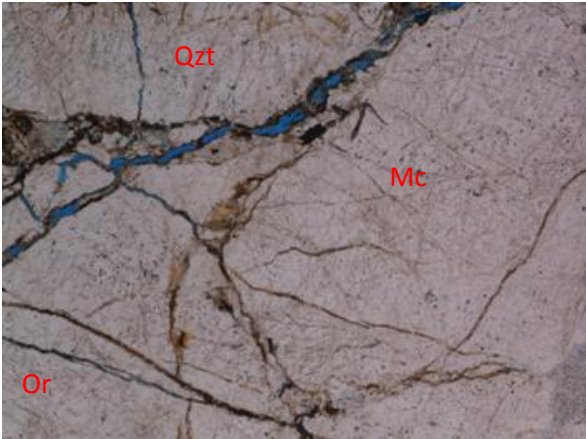
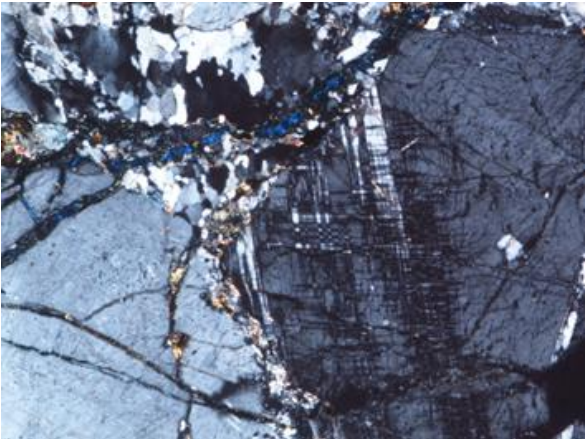
17. SEQUEIRA BRAGA, M.A. a,* , H. Paquet b, A. Begonha c, Weathering of granites in a temperate climate (NW Portugal): granitic saprolites and arenization.
18. SHAKEEL A. Iran. Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers. 2007.
19. ULLOA, Alexandra M., Geól. Prof. GÓMEZ I, Sully. – UIS, Proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en la región central del departamento de Santander.
20. VELEZ OTALVORA, Hidráulica de aguas subterráneas. Medellín Universidad de Colombia.
21. WARD D, et al, Geología de los cuadrángulos H12 Bucaramanga. Ingeominas Boletín Geológico Vol. xx N. 13,19973.

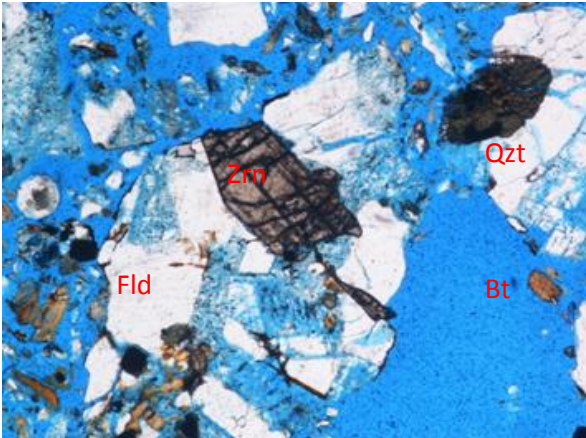

ANEXOS

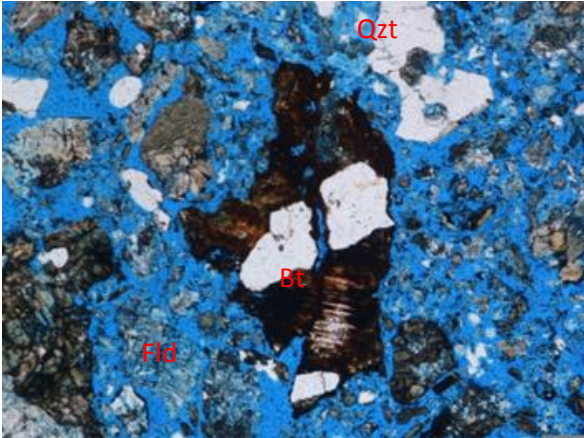

ANEXO A. Láminas delgadas

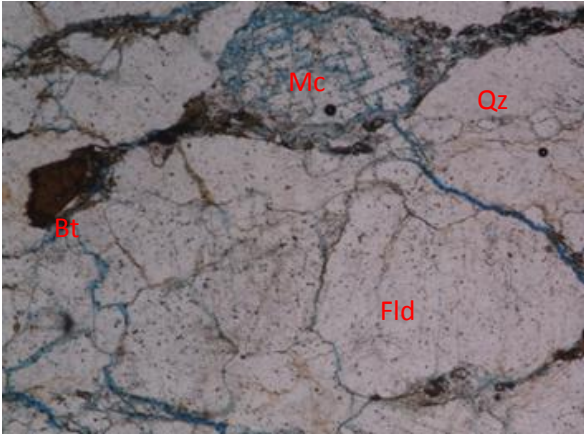

Lamina A-1	METAMÓRFICA-NEIS-BIOTITICO				Formato # 1																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Minerales Principales</th> <th style="width: 10%;">%</th> <th style="width: 25%;">Minerales Menores</th> <th style="width: 10%;">%</th> <th style="width: 20%;">Minerales Accesorios</th> <th style="width: 10%;">%</th> <th style="width: 10%;">Minerales secundarios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Cuarzo</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">Plagioclasa</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">Opacos</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">Sericita</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Biotita</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">Muscovita</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Clorita</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Feldespatos</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td style="text-align: center;">Horblenda</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Caolín</td> </tr> </tbody> </table>							Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios	Cuarzo	40	Plagioclasa	5	Opacos	3	Sericita	Biotita	20	Muscovita	7			Clorita	Feldespatos	23	Horblenda	2			Caolín
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios																												
Cuarzo	40	Plagioclasa	5	Opacos	3	Sericita																												
Biotita	20	Muscovita	7			Clorita																												
Feldespatos	23	Horblenda	2			Caolín																												
Descripción mineral	<p>Presenta una porosidad alta del 8.22%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca moderadamente meteorizada, grado de meteorización III, en la unidad roca y suelo (material intermedio), según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras de la roca madre en menor proporción, al igual la textura se hace deteriorado debido al grado de fracturación que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra. Los cristales de plagioclasa presentan una sericitización parcial; La biotita ha disminuido el relieve y la exfoliación se va haciendo más débil, estos cambios se deben a la modificación de la estructura original de la mica por la neformación de minerales arcilla; El feldespato presenta sus primero vestigios de alteración en el cambio de los planos de debilidad estructural, como son los de exfoliación, maclas o fracturas; La moscovita es mar resistente a la meteorización a diferencia de la biotita, la alteración de la moscovita se produce por simple degradación química.</p>																																	
																																		
<p>Laminas delgada muestra el grado de porosidad presente</p>	<p>Sitio donde se recolecto la muestra, se observa el nivel de meteorización.</p>																																	

Lamina A-4	METAMÓRFICA-NEIS-BIOTITICO					Formato # 2
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios
Cuarzo	35	Muscovita	5	Opacos	4	Sericita
Biotita	35			Horblenda	2	Clorita
Feldespatos	17			Plagioclasa	2	
Descripción mineral	Presenta una porosidad baja del 1.12%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca fresca, grado de meteorización II, en la unidad roca, según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras en mayor proporción, al igual la textura se conserva, debido al grado de fracturación que presenta la roca los fluidos circulan por estas fisuras. El porcentaje de Biotita es alto en la muestra, la cual se encuentra sin presentar demasiada alteración con respecto a la plagioclasa la cual y se encuentra en los primeros estados de la meteorización, el cuarzo se observa en su condición original ya que en este nivel de meteorización es poco lo que se ha afectado por el agua.					
 <p data-bbox="312 1144 1129 1248">Laminas delgada cuyo porcentaje es bajo, lo que hace notar que el nivel de meteorización ha sido poco afectado por el agua.</p>	 <p data-bbox="1180 1144 1940 1214">Técnica para la recolección de la muestra, tubo de 60 cm introducido en la roca meteorizada.</p>					

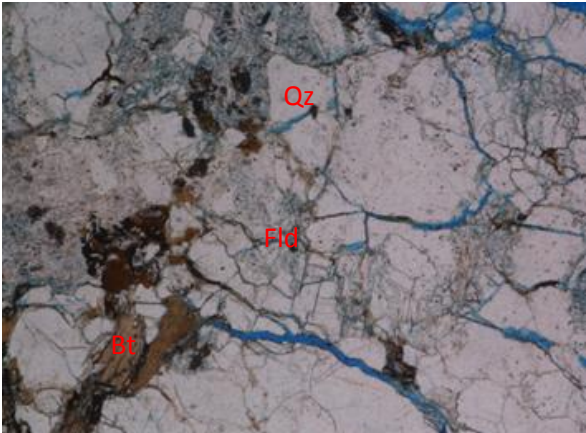

Lamina A-11		METAMÓRFICA-NEIS-BIOTITICO				Formato # 3	
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios	
Cuarzo	30	Silimanita	4	Opacos	2	Sericita	
Biotita	20	Muscovita	3	Horblenda	2	Clorita	
Feldspatos	35	Plagioclasa	5				
Descripción mineral	Presenta una porosidad baja del 2.11%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca débilmente meteorizada, grado de meteorización II, en la unidad roca, según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras de la roca madre en mayor proporción, al igual la textura se conserva debido al grado de fracturación que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra. Por encontrarse en ese nivel de meteorización la plagioclasa que es la primera en meteorizarse debido a esto se encuentra en buen estado, al igual que la mayoría de los minerales que la acompañan, el porcentaje de meteorización se debe a que en ese punto la roca se encuentra fractura y permite el paso del fluido a niveles menores.						
 <p>Laminas delgada se observa que la meteorización no ha afectado en mayor proporción a los minerales, pero se denota la fracturación que genera la entrada del fluido en los minerales.</p>		 <p>Muestra vista en nicols cruzados se observa minerales de Cuarzo, Muscovita y ortosa.</p>					

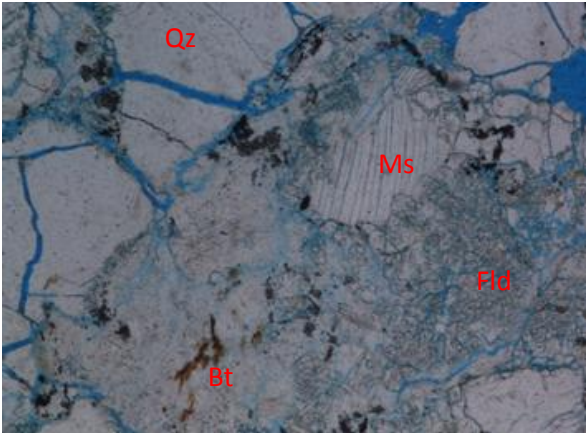

Lamina A-6	ÍGNEA-CUARZOMONZONITA				Formato # 4	
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios
Cuarzo	33	Óxidos de hierro		Clorita		
Biotita	5	Zircón		Sericita		
Feldespatos	30	Opacos				
Plagioclasa	25					
Muscovita	2					
Descripción mineral	Presenta una porosidad alta del 10.15%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca completamente meteorizada, grado de meteorización V, en la unidad suelo, según DEARMANN (1975, 1991); No se observan estructuras de la roca madre, la textura no se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Muscovita, los feldespatos y la Plagioclasa se encuentra en una muy pequeña proporción comparado con una muestra fresca o muy bien consolidada.					
 <p data-bbox="302 1230 1140 1295">Muestra de lamina delgada donde se muestra un aumento en la porosidad, ya que son mayores los espacios entre cada mineral.</p>	 <p data-bbox="1199 1230 1923 1295">Se muestra el sitio de la recolección de la muestra en el grado de meteorización cinco.</p>					

Lamina A-7	ÍGNEA-CUARZOMONZONITA				Formato # 5	
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales de Alteración
Cuarzo	45			Óxidos de hierro		Clorita
Biotita	25			opacos		Sericita
Feldespatos	20					
Plagioclasa	5					
Moscovita	5					
Descripción mineral	Presenta una porosidad alta del 11.24%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca completamente meteorizada, grado de meteorización V, en la unidad suelo, según DEARMANN (1975, 1991); No se observan estructuras de la roca madre, la textura no se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Moscovita, los feldespatos y la Plagioclasa se encuentra en una muy pequeña proporción comparado con una muestra fresca o muy bien consolidada.					
 <p data-bbox="338 1230 1102 1321">Lamina delgada en la cual se hacen reconocibles algunos rasgos de la meteorización y el desgaste que ha tenido los minerales.</p>	 <p data-bbox="1220 1230 1900 1321">Lugar donde se recolecto la muestra, se observa la estructura que ha dejado la meteorización como consecuencia de la exposición a factores climáticos.</p>					

Lamina A-8	METAMÓRFICA-NEIS-BIOTITICO					Formato # 6
Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales de Alteración
Cuarzo	35	Plagioclasa	5	Opacos	3	Sericita
Biotita	25	Moscovita	8			Clorita
Feldespatos	25	Horblenda	2			Caolín
Descripción mineral	Observaciones Lámina: Presenta una porosidad media del 5.14%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca moderadamente meteorizada, grado de meteorización III, en la unidad roca-suelo, según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras de la roca madre, la textura se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Moscovita, son visibles porfidoblastos de carácter pre-tectónico, rodeado por la Biotita.					
						
Se observa como la meteorización ha afectado partes del mineral, lo cual hace que el mineral se fracture.			Lugar donde se recolecto la muestra, se observa la textura de la roca madre, la cual ha venido sufriendo un proceso de meteorización.			

Lamina A-9	IGNEA-CUARZOMONZONITA			Formato # 7																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales Principales</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuarzo</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Biotita</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Feldespatos</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Plagioclasa</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Moscovita</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Minerales Principales	%	Cuarzo	35	Biotita	15	Feldespatos	35	Plagioclasa	10	Moscovita	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales Accesorios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Óxidos de hierro</td> </tr> <tr> <td>opacos</td> </tr> </tbody> </table>	Minerales Accesorios	Óxidos de hierro	opacos	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Minerales de Alteración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Clorita</td> </tr> <tr> <td>Sericita</td> </tr> </tbody> </table>	Minerales de Alteración	Clorita	Sericita	
Minerales Principales	%																					
Cuarzo	35																					
Biotita	15																					
Feldespatos	35																					
Plagioclasa	10																					
Moscovita	5																					
Minerales Accesorios																						
Óxidos de hierro																						
opacos																						
Minerales de Alteración																						
Clorita																						
Sericita																						
Descripción mineral	Presenta una porosidad alta del 7.84%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca débilmente meteorizada, grado de meteorización III, en la unidad roca-suelo, según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras de la roca madre, la textura se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Moscovita, los feldespatos y la Plagioclasa se encuentra en una muy pequeña proporción comparado con una muestra fresca o muy bien consolidada.																					
<div data-bbox="415 781 995 1211" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="310 1214 1098 1274">En este nivel de meteorización se los minerales mas resistentes tienden a fracturarse y permitir las circulación del fluido en este como el cuarzo y la Biotita.</p>	<div data-bbox="1251 781 1831 1211" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1140 1214 1948 1302">Lugar donde se recolecto la muestra, se observa una textura en profundidad y otra textura en la parte exterior del afloramiento, se debe a al proceso de meteorización que la esta causando.</p>																					

Lamina A-10	IGNEA-CUARZOMONZONITA			Formato # 8
	Minerales Principales	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
	Cuarzo	30	Óxidos de hierro	Clorita
	Biotita	25	opacos	Sericita
	Feldespatos	30		
	Plagioclasa	10		
	Moscovita	5		
Descripción mineral	Presenta una porosidad alta del 4.51%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca moderadamente meteorizada, grado de meteorización III, en la unidad roca-suelo, según DEARMANN (1975, 1991); Se observan estructuras de la roca madre, la textura se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Moscovita, los feldespatos y la Plagioclasa se encuentra en una muy pequeña proporción comparado con una muestra fresca o muy bien consolidada.			
 <p data-bbox="317 1214 1098 1304">En este caso se hacen visibles algunas características de como la meteorización afecta la roca madre, tanto textural como composicional.</p>	 <p data-bbox="1157 1214 1938 1271">Técnica utilizada para introducir el tubo con el cual se recolecto la muestra.</p>			

Lamina A-13	IGNEA-CUARZOMONZONITA			Formato # 9																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="590 272 911 303">Minerales Principales</th> <th data-bbox="911 272 1073 303">%</th> <th data-bbox="1073 272 1360 303">Minerales Accesorios</th> <th data-bbox="1360 272 1661 303">Minerales de Alteración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="590 303 911 350">Cuarzo</td> <td data-bbox="911 303 1073 350">35</td> <td data-bbox="1073 303 1360 350">Óxidos de hierro</td> <td data-bbox="1360 303 1661 350">Clorita</td> </tr> <tr> <td data-bbox="590 350 911 397">Biotita</td> <td data-bbox="911 350 1073 397">20</td> <td data-bbox="1073 350 1360 397">Opacos</td> <td data-bbox="1360 350 1661 397">Sericita</td> </tr> <tr> <td data-bbox="590 397 911 444">Feldespatos</td> <td data-bbox="911 397 1073 444">35</td> <td data-bbox="1073 397 1360 444"></td> <td data-bbox="1360 397 1661 444"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="590 444 911 492">Plagioclasa</td> <td data-bbox="911 444 1073 492">5</td> <td data-bbox="1073 444 1360 492"></td> <td data-bbox="1360 444 1661 492"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="590 492 911 539">Moscovita</td> <td data-bbox="911 492 1073 539">5</td> <td data-bbox="1073 492 1360 539"></td> <td data-bbox="1360 492 1661 539"></td> </tr> </tbody> </table>				Minerales Principales	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración	Cuarzo	35	Óxidos de hierro	Clorita	Biotita	20	Opacos	Sericita	Feldespatos	35			Plagioclasa	5			Moscovita	5		
Minerales Principales	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración																									
Cuarzo	35	Óxidos de hierro	Clorita																									
Biotita	20	Opacos	Sericita																									
Feldespatos	35																											
Plagioclasa	5																											
Moscovita	5																											
Descripción mineral	<p>Observaciones Lámina: Presenta una porosidad alta del 6.71%, la muestra fue recolectada y clasificada en la zona de roca altamente meteorizada, grado de meteorización IV, en la unidad roca-suelo (material intermedio), según DEARMANN (1975, 1991); Se observan algunas estructuras de la roca madre, la textura no se conserva debido al grado de meteorización que ha ocasionado la penetración de un fluido en la muestra, se hacen visibles algunas características de la meteorización, como los minerales más resistentes a la meteorización son el Cuarzo, la Biotita y la Moscovita, los feldespatos y la Plagioclasa se encuentra en una muy pequeña proporción comparado con una muestra fresca o muy bien consolidada.</p>																											
 <p data-bbox="302 1230 1117 1289">Se observa como la meteorización ha logrado fracturar los minerales más resistentes.</p>	 <p data-bbox="1176 1230 1915 1289">Lugar donde se recolecto la muestra, se observa el nivel IV de meteorización.</p>																											