

PATRIMONIO GEOLÓGICO Y GEODIVERSIDAD: BASES PARA SU DEFINICIÓN EN LA ZONA ANDINA DE COLOMBIA: CASO SANTA FE DE ANTIOQUIA

GEOLOGICAL HERITAGE AND GEODIVERSITY: DEFINITION FOR COLOMBIAN ANDEAN ZONE SANTA FE DE ANTIOQUIA CASE

JULIÁN ESTEBAN JARAMILLO-ZAPATA

Ing.-Geólogo Universidad Nacional de Colombia, jejaramilloz@unal.edu.co

JOSÉ HUMBERTO CABALLERO-ACOSTA

MSc.-Universidad Nacional de Colombia- Medellín, jhcaball@unal.edu.co

JORGE MARTÍN MOLINA-ESCOBAR

Ph.D.-Universidad Nacional de Colombia- Medellín, jmmolina@unal.edu.co

Recibido para revisar: 25-Marzo-2014, Aceptado: 20-Abril-2014, versión final: 06-Mayo-2014.

RESUMEN: El objetivo principal de esta investigación fue adaptar una metodología para el inventario y la valoración del Patrimonio Geológico ajustada a la zona Andina de Colombia y aplicada en el noroccidente del país, puntualmente en el municipio de Santa Fe de Antioquia. La metodología está apropiada al estado actual del conocimiento del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad en Colombia y se encuentra delimitada en esta investigación por la selección del área de estudio, la definición de escala de trabajo, la revisión bibliográfica, la definición de parámetros de valoración, el desarrollo de Inventarios, la valoración, cartografía y utilización final del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad. Además, para determinar la medida de valor intrínseco de los Lugares de Interés Geológicos (LIG). Los valores van de uno a cinco según sea el caso, siendo cinco el mayor grado de importancia y valor, y uno el menor. La investigación permitió clasificar y designar relevancia y categoría por medio del diagnóstico y valoración de cinco lugares; Cenizas volcánicas, Depósitos Recientes, Lateritas de Santa Fe de Antioquia, La quebrada La Tunala y Mirador de Las Crucetas, lo que dio como resultado cuatro lugares de cinco, con una puntuación superior o igual a tres. Este artículo permite resaltar el potencial natural, científico y turístico de Santa Fe de Antioquia y recomienda que se aplique la metodología a otros LIG dentro de los Andes Colombianos con el ánimo de promover una gestión ambiental y principios de desarrollo sostenible para el país.

Palabras Claves: Valoración, Santa Fe de Antioquia, Lugares de Interés Geológicos, Geodiversidad, Desarrollo Sostenible, Patrimonio geológico, Colombia, Antioquia.

ABSTRACT: The main objective of this research was to adapt a methodology for inventory and assessment of Geological Heritage applied to the Andean region of Colombia on the northwest of the country, specifically in the town of Santa Fe de Antioquia. The methodology is adapted to the current state of knowledge of the Geological Heritage and Geodiversity in Colombia. Within this research the selection of the study area, the definition of work scale, the literature review, the definition of parameters for valuation, development of inventories, valuation, mapping and final use of the Geological Heritage and geodiversity were included; furthermore determination of the intrinsic value of the Points of Geological Interest Points (GIP). Scores ranging from one to five depending on the case, with five being the highest degree of importance and value, and one the lowest. The investigation classifies and designates relevance and category through the diagnosis and assessment of five points; Volcanic ash Recent Deposits, Laterites Santa Fe de Antioquia, La Tunala Creek and Viewpoint Spider, which resulted in four with a score greater than or equal to three. This paper allows to enhance the natural, scientific and tourist potential of Santa Fe de Antioquia and recommended that the methodology may apply to other GIP in the Colombian Andes with the aim of promoting environmental management and sustainable development principles for the country

Keywords: Value, Santa Fe de Antioquia, Geological Interest Points, Geodiversity, sustainable development, Geological heritage, Colombia, Antioquia.

1. INTRODUCCIÓN

La Geodiversidad es un concepto relativamente nuevo en Colombia que cada vez toma más fuerza, Durán et al.,(1998) comienzan a darle forma al concepto introduciendo los primeros términos, Geología Ecológica y Geoconservación. Posteriormente Nieto, (2001) define la Geodiversidad como: “El número y variedad de estructuras (sedimentarias, tectónicas, materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y

suelos), que constituyen el sustrato de una región, sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica”.

Luego Carcavilla et al., (2007), mencionan la Geodiversidad como la diversidad geológica de un territorio, a partir del conjunto de rasgos en un mismo lugar considerando su frecuencia, distribución y su evolución geológica, concepto que se viene presentando a menudo en los estudios de Geodiversidad.

En los últimos años ha ido creciendo el interés por las Ciencias de la Tierra y por la aplicación de nuevas tecnologías para extraer los recursos minerales, tendencia que no se debe confundir con castigar la Geodiversidad, sino por el contrario, se debe aprovechar la ingeniería para conservar aquellos lugares que permitan a las nuevas generaciones entender la evolución de la tierra. Es por lo anterior que es importante para la sociedad la identificación, valoración y puesta en valor del Patrimonio Geológico. La “valoración” en esta investigación se realiza mediante tablas con las que se asignan valores a cada Lugar de Interés Geológico (LIG). “Puesta en valor” es la identificación de los elementos con mayor valor para originar su conservación y proporcionar su utilización y deleite con desarrollo sostenibles.

Carcavilla et al., (2007), definen el Patrimonio Geológico como el conjunto de elementos geológicos que se destacan por su valor científico, cultural o educativo. Theodossiou- Drandaki, (2007), delimita el Patrimonio Geológico “*como la red de afloramientos geológicos, formas y procesos bien conservados para fines científicos, educativos, culturales y estéticos, siendo deber de la comunidad geológica internacional y del mundo entero conservarlos y promocionarlos.*”

En Colombia se han venido desarrollado estudios sobre Patrimonio Geológico en pro de la valoración, reconocimiento y conservación de los recursos naturales, casos particulares es la investigación de Molina y Mercado, (2003) donde proponen esquemas y metodologías para el estudio de los Geotopos y declaran la necesidad de iniciar su inventario. En el departamento Antioqueño Cárdenas y Restrepo, (2006) manifiestan los sitios de interés geológico de la Cuenca Carbonífera del Suroeste y su situación. Más adelante Torres H et al., (2012), resaltan el potencial de Puntos de Interés Geológico (PIG) que tiene el noroccidente de Colombia y recomienda caracterizar y valorar. Luego Uasapud, (2013) nombra el cañón interandino del río Cauca al occidente de Medellín, como patrimonio geológico a escala departamental.

Con el fin de aportar y promover una gestión ambiental y principios de desarrollo sostenible para el país, el propósito de esta investigación es establecer una alternativa de puesta en valor de los atributos geológicos en la Subregión del Occidente Antioqueño mediante una metodología para definir y valorarlo el Patrimonio Geológico y la Geodiversidad en los Andes de Colombia.

2. METODOLOGÍA PARA EL INVENTARIO Y LA VALORACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO EN LA ZONA ANDINA DE COLOMBIA

Para el desarrollo de la investigación se consideró como punto de partida la metodología propuesta por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 2009), la cual fue modificada y adaptada al área de estudio y al conocimiento del patrimonio Geológico y Geodiversidad.

2.1. Bases para su definición

Selección del área de estudio: En los municipios de Santa Fe de Antioquia se realizó un reconocimiento general del cual se pudieron determinar preliminarmente algunos lugares de interés y zonas en las que se encuentra una variedad de elementos geológicos ideal para desarrollar el trabajo de valoración; de esta manera se pudo delimitar un área entre los dos municipios y definir una escala apropiada de trabajo.

Definición de escala de trabajo: con la delimitación de área de trabajo se logró definir una escala regional y local para realizar el estudio, inventarios y posterior valoración.

Revisión Bibliográfica: Tomando como base la selección del área de estudio y la escala a trabajar, se recopiló información bibliográfica de la zona consistente en artículos, tesis, mapas, fotografías aéreas, etc., así como libros y documentos con definiciones, metodologías, entre otra información sobre Patrimonio Geológico y Geodiversidad.

Definición de Parámetros de Valoración: Con base en las metodologías de valoración del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad aplicados en España, se adaptaron parámetros metodológicos de valoración para el caso Colombiano en su Zona Andina.

Desarrollo de Inventarios: por medio de fichas descriptivas con parámetros de valoración aceptados internacionalmente y adaptados a la zona de estudio, se implementaron inventarios en campo, de componentes del Patrimonio Geológico y Geodiversidad.

Valoración final del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad: Tomando como referencia los parámetros de valoración propuestos por Carcavilla et al., (2007) y Cendrero, (1996), adaptada a la presente investigación, se realizó la valoración final de los elementos del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad presentes en el área de estudio.

Cartografía del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad: En el procesamiento de la información se realizó el correspondiente mapeo de los elementos del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad de la zona, con el fin de determinar la relación entre estos componentes y articularlos a planes municipales y proyectos de desarrollo sostenible.

Propuestas de Utilización del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad: Uno de los resultados esperados de la presente investigación, consiste en las posibles propuestas de gestión de los resultados, las cuales se encuentran enfocadas en el Geoturismo. Con esto se busca garantizar la protección, conservación y divulgación del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad en los municipios de Santa Fe de Antioquia y aledaños.

2.2. Valoración

Para la valoración del Patrimonio Geológico (Cendrero, 1996) se establecieron los siguientes parámetros para determinar la medida de valor intrínseco de los LIG. Los

valores van de uno a cinco según sea el caso, siendo cinco el mayor grado de importancia y valor y uno el menor.

Abundancia o rareza: Se refiere al número de ejemplos, en la zona de estudio, del tipo de punto que se está valorando.

Extensión superficial: Se debe tratar de encontrar el área aproximada del punto en Km², teniendo más importancia los de mayor extensión por su carácter regional.

Grado de conocimiento o investigación: Hace referencia a las publicaciones como tesis doctorales y de maestría, artículos investigativos, entre otros escritos realizados respecto al punto evaluado.

Utilidad como modelo para ilustrar procesos: Se trata de la utilidad para representar los procesos geológicos que han modelado la zona de estudio, tiene estrecha relación con el interés didáctico del punto.

Diversidad de elementos de interés presentes: Tiene en cuenta los elementos que representan áreas de la geología como mineralogía, geomorfología, estructuras, sedimentología, etc.

Edad geológica: Considera la edad del punto de interés geológico, proponiendo que lo más antiguo tiene más valor

según las edades de los lugares de la zona.

Carácter de localidad tipo: Los autores proponen aplicar este criterio solo a algunos tipos de elementos geológicos, refiriéndose a los lugares que han servido de referencia para definir una unidad litológica.

Asociación con restos o elementos arqueológicos, históricos, artísticos, etnográficos: No se considera un criterio de valor intrínseco, por lo tanto solo se debe aplicar a los lugares que los contengan.

Asociación con otros elementos del medio natural: Como en el caso anterior, es útil solo en algunos casos, si el punto tiene relación con espacios protegidos, especies en animales y vegetales en vía de extinción, drenajes importantes, etc.

Estado de conservación: Se refiere al grado de afectación que ha sufrido el punto por deterioro antrópico como expoliación de los elementos, construcciones, acumulaciones, excavaciones, etc.

Para la valoración del Patrimonio Geológico del municipio de Santa Fe de Antioquia se utilizó la estructura antes descrita, adaptando los criterios a la zona de estudio e incluyendo solo los que realzan el valor de LIG del área (tabla 1).

Tabla 1. Criterios de valoración del Patrimonio Geológico de Santa Fe de Antioquia. Modificado de (Cendrero, 1996).

| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO |
|---|-------|---|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área |
| | 4 | 2-4 ejemplos |
| | 3 | 5-10 ejemplos |
| | 2 | 11-20 ejemplos |
| | 1 | >20 ejemplos |
| Extensión superficial (m ²) | 5 | >1.000.000 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 |
| | 3 | 10.000-100.000 |
| | 2 | 1.000-10.000 |
| | 1 | <1000 |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG(Tesis de Grado) |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación |
| | 3 | Varios artículos publicados |
| | 2 | Un artículo publicado |
| | 1 | No hay artículos relacionados |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil |
| | 3 | Moderadamente útil |
| | 1 | Poco útil |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos |
| | 4 | 4 elementos |
| | 3 | 3 elementos |
| | 2 | 2 elementos |
| | 1 | 1 elementos |
| Edad geológica | 5 | Precámbrico |
| | 4 | Paleozoico |
| | 3 | Mesozoico |
| | 2 | Terciario |
| | 1 | Cuaternario |
| Carácter de localidad tipo | 5 | Formalmente reconocida |
| | 3 | Secundaria o de Referencia |
| | 1 | No propuesta como tal |

Según sea el caso a cada criterio se le asigna un peso, que representa un porcentaje, por el cual se multiplica, la sumatoria de los pesos da un total de 100%, y la sumatoria de la multiplicación del criterio por el peso da un total de cinco que es el valor máximo posible para el LIG.

3. ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS

3.1. Localización

El Área de estudio se encuentra ubicada en el occidente medio del departamento de Antioquia a la altura de río

Cauca en el municipio de Santa Fe de Antioquia, donde se llega tomando como punto de inicio la ciudad de Medellín por la vía del túnel de Occidente alrededor de 60 Km. (Figura 1). El interés del artículo está ubicado en la parte noroccidental de los Andes Colombianos y se divide en tres zonas; el flanco oriental de la Cordillera Occidental, la parte baja en las márgenes del río Cauca y el flanco occidental de la Cordillera Central.

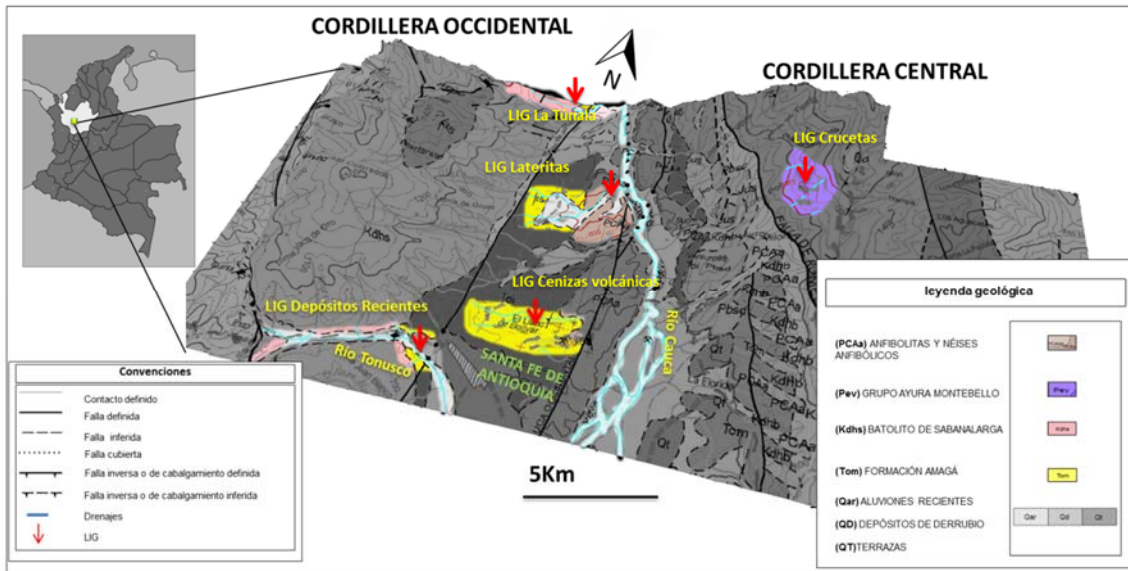


Figura 1. Geología regional en el área de estudio. Modificado de INGEOMINAS (1983).

3.2. Geología

Los Andes colombianos se consideran el resultado de una secuencia de eventos orogénicos y de una serie de dominios oceánicos y continentales como lo son Suramérica, Centroamérica, el Caribe, y el Pacífico. Además, para entender la evolución andina es necesario buscar los dominios predominantes de cada orogenia y de ellos el de mayor importancia en todos los eventos, es el borde noroccidental de la placa Suramericana (Toussaint y Restrepo, 1973). A continuación se describe brevemente los tipos de roca, depósitos y estructuras presentes en el área de estudio:

Rocas Metamórficas: Según Mejía, (1984), en el área afloran rocas metamórficas de grado bajo del Grupo Ayurá-Montebello que se encuentran en la parte Este de la zona de estudio correspondiente al flanco occidental de la Cordillera Central y de rocas metamórficas de grado medio a alto correspondientes a la Anfibolita de Sucre conformada por cuerpos de anfibolita de forma lenticular que se ubican cerca de los municipios de Santa Fe de Antioquia, en el Cañón del Cauca (Mejía, 1984), con una edad aproximada de 555 ± 50 m.a. (Maya, 1992).

Rocas Ígneas: En la zona afloran rocas ígneas tanto plutónicas como volcánicas. Entre los cuerpos plutónicos se encuentran el denominado por Mejía ,(1984) Peridotita de Sucre; ubicada en la parte central de la zona, cerca de los municipios de Sucre y Olaya, el Batolito de Sabanalarga

(Gonzales et al,1978) se encuentra en las zonas Este y Oeste del área de interés en los costados del río Cauca , la Diorita de Heliconia definida por Grosse ,(1926) como “Diorita tipo Heliconia”, y Las rocas volcánicas básicas pertenecientes al miembro volcánico de la Formación Quebradagrande ubicadas en el flanco occidental de la Cordillera Central.

Rocas Sedimentarias: Las rocas sedimentarias presentes en la zona de estudio corresponden a las Formaciones Amagá y Quebradagrande. La Formación Amagá se compone de los miembros inferior, medio y superior, según Grosse,(1926), la edad asignada al Miembro Inferior es Oligoceno Medio y la edad del Miembro Superior se considera Mioceno Inferior (Gonzales, 2001), todos afloran en el área de estudio.

En el flanco occidental de la Cordillera Central se halla La Formación Quebradagrande definida por Botero (1963) como una intercalación de rocas verdes con sedimentos. La parte volcánica está compuesta por espilitas, basaltos, diabasas y pocas cantidades de andesitas, brechas de flujo y tobas del Cretácico Temprano (González, 2001).

Depósitos Recientes: El río Cauca forma un valle de origen tectónico, el cual posee una paleotopografía predominantemente plana en la que se originaron acumulaciones de sedimentos sinorogénicos, que posteriormente gracias a la fuerte actividad erosiva, dieron forma al valle actual con una alta distribución de aluviones cuaternarios en cercanías al municipio de Santa Fe de Antioquia (Mejía, 1984). Los depósitos recientes presentes en

la zona de estudio son terrazas del río Cauca y Tonusco, y aluviones recientes del río Tonusco y las quebradas que desembocan en el río Cauca.

Estructuras: El departamento de Antioquia se encuentra cerca de la unión triple de Darién donde confluyen las placas de Nazca, El Caribe y Suramérica, considerándose una zona de tectónica compleja generada por subducción y fallamiento transcurrente (González, 2001). El área de estudio contiene rasgos estructurales regionales como; Falla Cauca Oriental, Falla Cauca Medio, Falla Cauca Occidental, Falla de Romeral.

4. PATRIMONIO GEOLÓGICO EN SANTA FE DE ANTIOQUIA

Los lugares que se encuentran a continuación son el resultado de una cartografía realizada en el curso de “Campo 2” de la carrera Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín bajo la dirección de los profesores Cesar Vinasco y Humberto Caballero y en otra serie de salidas de campo complementarias al municipio de Santa Fe de Antioquia, municipios y corregimientos vecinos.

4.1. Inventario de reconocimiento

Tabla 2. Inventario de reconocimiento de Lugares de Interés Geológico (LIG).

| LIG | Interés principal | Relevancia | Sector | Exposición | Estado de conservación | Vulnerabilidad |
|------------------------------------|---------------------------|------------|---|------------|------------------------|----------------|
| Cenizas Volcánicas | Procesos Geológico | Alta | Santa Fe de Antioquia | Natural | Buena | Alta |
| Depósitos Recientes | Procesos Geológico | Media | Santa Fe de Antioquia, ríos Cauca y Tonusco | Natural | Buena | Baja |
| Lateritas de Santa Fe de Antioquia | Geomorfología y Procesos | Media | Santa Fe de Antioquia | Natural | Buena | Baja |
| Quebrada La Tunala | Geomorfológico y Procesos | Media | Santa Fe de Antioquia | Natural | Buena | Baja |
| Mirador la Cruceta | Geomorfológico | Media | Llanadas | Natural | Buena | Baja |

4.2. Valoración

Cenizas Volcánicas

Al noreste de Santa Fe de Antioquia se encuentra un depósito de cenizas volcánicas. Dicho afloramiento está ubicado en el flanco derecho de la carretera a 2 km desde Santa Fe de Antioquia por la vía “vía vieja” que conduce al puente de Occidente, donde la topografía es una planicie a 575 m.s.n.m con un área aproximada de 300 m² y reflejado en un talud de 15 metros de altura (figura 2). Allí se define la unidad litoestratigráfica Formación el Llano (Parra, 1987), el cual se establece con el propósito de ampliar el conocimiento sobre el volcanismo y la litoestratigrafía de este sector de los Andes Colombianos.

La Formación el Llano llamada así por el corregimiento “El Llano de Bolívar” (Parra, 1987), ubicado tan solo a 1.4 km está dividida en tres partes: la inferior o “Miembro la Batea”, la media o Miembro Buta” y la superior referida simplemente como “Sedimentos del Techo”.

El Páramo de Frontino es un macizo ígneo y volcánico

sometido a glaciaciones. Por el ascenso rápido del cuerpo ígneo se colapsó su techo produciendo una megabrecha y una altillanura sobre la cual se edificó un volcán escudo; posteriormente, se formó una caldera en los bordes del edificio (Parra, 1991). Considerado LIG debido a que permite explicar la edad y formación de las rocas volcánicas del Páramo de Frontino y sustentado en que allí es la base donde se postula dicho Páramo como la fuente de los piroclastos del miembro Buta. Este Páramo se halla a solo 36 Km de distancia del Llano de Bolívar y posee abundantes piroclastos bien documentados; si se acepta esta fuente, el área de dispersión mínima de los piroclastos se puede trazar como un círculo de radio de 36 Km y el sector de dispersión más probable estaría dirigido hacia el Noreste a lo largo de la línea Páramo de Frontino-El Llano. (Parra, 1987), Esto implicaría además que “ Las Rocas Volcánicas del Páramo de Frontino” se formaron desde el Plioceno (Álvarez y González, 1978) pero su actividad volcánica llegaría hasta el pleistoceno. También es considerado LIG porque no se han reportado depósitos similares en cuencas vecinas, lo que le da más peso por su rareza y motivo de investigación. Es importante indicar que este depósito está siendo usado por la comunidad como material de construcción.

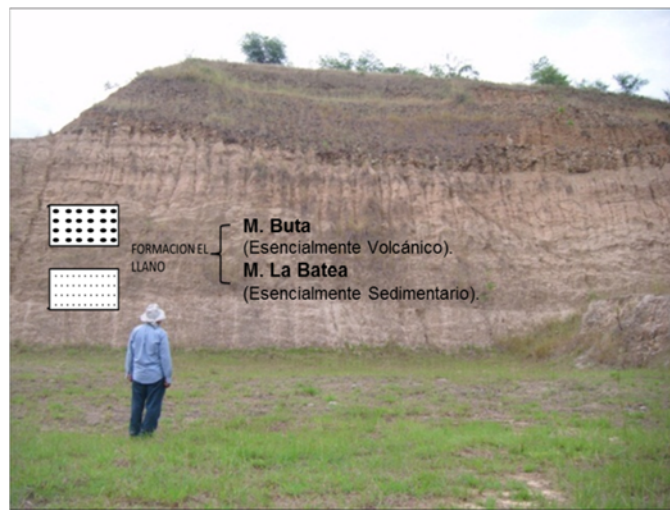


Figura 2. Cenizas volcánicas, LIG donde se definió La unidad litoestratigráfica “la formación El Llano”.

Tabla 3. Valoración Cenizas Volcánicas.

| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO | VALOR DEL LIG | PESO |
|---|-------|--|---------------|------|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área | 5 | 0.20 |
| | 4 | 2-4 ejemplos | | |
| | 3 | 5-10 ejemplos | | |
| | 2 | 11-20 ejemplos | | |
| | 1 | >20 ejemplos | | |
| Extensión superficial (m ²) | 5 | >1.000.000 | 1 | 0.05 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 | | |
| | 3 | 10.000-100.000 | | |
| | 2 | 1.000-10.000 | | |
| | 1 | <1000 | | |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG | 2 | 0.05 |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación. | | |
| | 3 | Varios artículos publicados | | |
| | 2 | Un artículo publicado | | |
| | 1 | No hay artículos relacionados | | |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil | 5 | 0.20 |
| | 3 | Moderadamente útil | | |
| | 1 | Poco útil | | |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos | 3 | 0.10 |
| | 4 | 4 elementos | | |
| | 3 | 3 elementos | | |
| | 2 | 2 elementos | | |
| | 1 | 1 elementos | | |
| Edad geológica | 5 | Precámbrico | 1 | 0.10 |
| | 4 | Paleozoico | | |
| | 3 | Mesozoico | | |
| | 2 | Terciario | | |
| | 1 | Cuaternario | | |
| Carácter de localidad tipo | 5 | Formalmente reconocida | 5 | 0.30 |
| | 3 | Secundaria o de Referencia | | |
| | 1 | No propuesta como tal | | |
| VALOR TOTAL | | | 4.05 | |

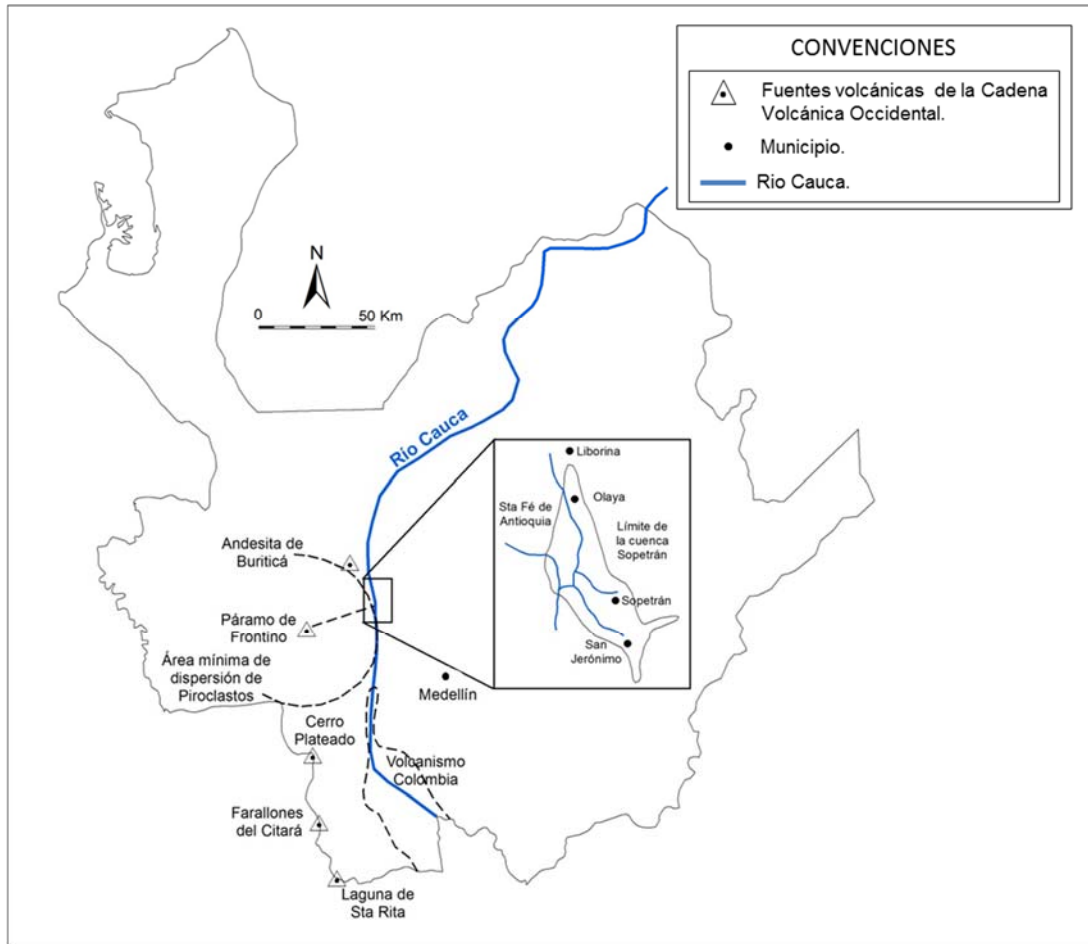


Figura 3. Ubicación General y fuentes volcánicas de la Cadena Volcánica Occidental Modificado (Parra, 1987).

Depósitos Recientes

Los depósitos recientes más representativos de la zona se encuentran en el municipio de Santa Fe de Antioquia y las terrazas generadas por la actividad de los ríos Cauca y Tonusco, objeto de diversos estudios (Torres et al., 2012). Tanto a las terrazas del río Cauca como a las terrazas del

Tonusco se les confiere un origen tectónico por medio de levantamiento regional, subsidencia y levantamientos diferenciales a través de fallas, Vergara (1976). Algunos depósitos recientes ubicados en la cuenca Santa Fe – Sopetrán presentan estructuras de deformación y evidencias de actividad sísmica en el Holoceno (Suter, et al, 2011) en H. Torres et al., (2012).

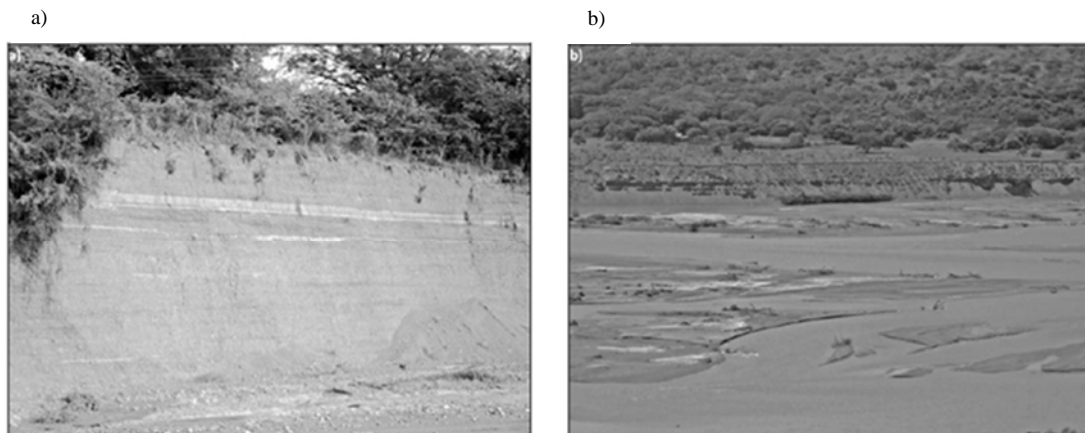


Figura 4. Depósitos recientes. Tomado de Torres et al, (2012). a) Terrazas del río Tonusco, b) terrazas de río Cauca.

Las terrazas de los ríos Tonusco y Cauca se consideran LIG invaluable para su estudio, lo que no solo tiene importancia científica sino también en el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo tanto local como regional. (Torres Molina, 2012).

Tabla 4. Valoración de los Depósitos recientes.

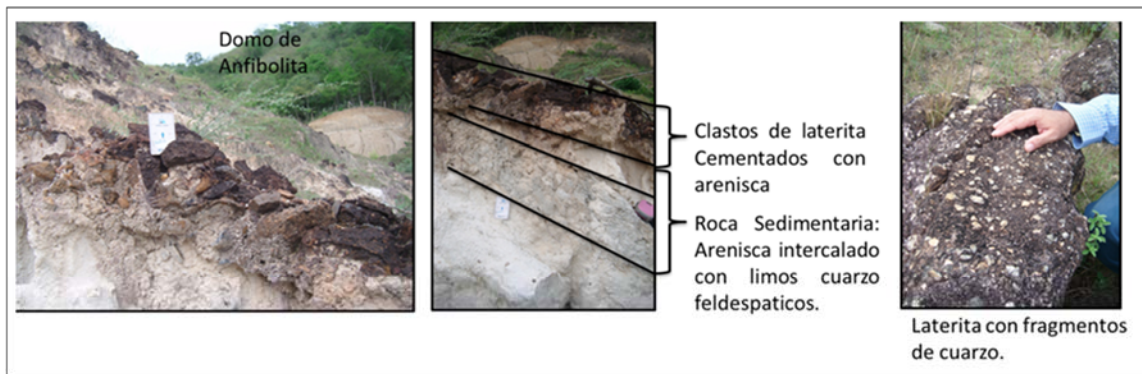
| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO | VALOR DEL LIG | PESO |
|--|-------|--|---------------|-------------|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área | 2 | 0.25 |
| | 4 | 2-4 ejemplos | | |
| | 3 | 5-10 ejemplos | | |
| | 2 | 11-20 ejemplos | | |
| | 1 | >20 ejemplos | | |
| Extensión superficial (m²) | 5 | >1.000.000 | 3 | 0.05 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 | | |
| | 3 | 10.000-100.000 | | |
| | 2 | 1.000-10.000 | | |
| | 1 | <1000 | | |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG | 4 | 0.05 |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación. | | |
| | 3 | Varios artículos publicados | | |
| | 2 | Un artículo publicado | | |
| | 1 | No hay artículos relacionados | | |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil | 5 | 0.15 |
| | 3 | Moderadamente útil | | |
| | 1 | Poco útil | | |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos | 3 | 0.15 |
| | 4 | 4 elementos | | |
| | 3 | 3 elementos | | |
| | 2 | 2 elementos | | |
| | 1 | 1 elementos | | |
| Edad geológica | 5 | Precámbrico | 1 | 0.20 |
| | 4 | Paleozoico | | |
| | 3 | Mesozoico | | |
| | 2 | Terciario | | |
| | 1 | Cuaternario | | |
| Carácter de localidad tipo | 5 | Formalmente reconocida | 3 | 0.15 |
| | 3 | Secundaria o de Referencia | | |
| | 1 | No propuesta como tal | | |
| VALOR TOTAL | | | 2.7 | |

4.2.3 Lateritas de Santa Fe de Antioquia

La arquitectura histórica de Santa Fe de Antioquia se resalta hoy en día dentro de los aspectos más interesantes del municipio en donde su conjunto urbanístico permanece casi intacto, (Baena y Vives, 2002), pocas ciudades y municipios colombianos conservan tales atributos. Sus calles empedradas, casas antiguas, grandes portones, iglesias con historia donde se vive un espíritu colonial ligado con la geología, y el tipo de material utilizado para cubrir las necesidades de la época. Uno de los materiales de construcción se resalta en las paredes de las calles principales de Santa Fe de Antioquia “Las Lateritas” que se forman en zonas de relieve horizontal sobre rocas ricas en hierro, especialmente de rocas ígneas básicas o ultrabásicas, ricas en minerales ferromagnesianos (Vargas y Rodríguez, 2009).

La laterita se encuentra al noreste de Santa Fe de Antioquia ubicada en el flanco izquierdo del río Cauca sobre la Cordillera Occidental al frente de la población de Sucre, cerca de los “domos” de pendiente media de anfibolita (Figura 4). El afloramiento es de poca extensión y se llega por la vía Santa Fe de Antioquia hacia el puente de Occidente donde desemboca la quebrada la Chorquina con el río Cauca.

En los criterios de valoración para este punto no se incluyen la edad geológica y se le disminuye el peso en el carácter como localidad tipo, porque no aplica para este tipo de lugares. Pero se incrementa el valor como modelo para ilustrar procesos y la diversidad de elementos, porque es lo más relevante del sitio.



En este trabajo se propone la formación de las Lateritas de Santa Fe de Antioquia. Se dividió en tres eventos:

Evento 1:(Laterización) Hay un proceso químico de laterización de la anfibolita.

Evento 2: (Fragmentación) Algunos clasto de laterita (laterita de Anfibolita) se fracturan y se depositan sobre un cuerpo de arenisca.

Evento 3: (Deposición - Cementación), son los clastos de laterita provenientes de la anfibolita y se cementan en la arenisca. Este último evento es la roca que encontramos en la Arquitectura Colonial de Santa Fe de Antioquia.



Figura 5. Propuesta de formación de Laterita de Santa Fe de Antioquia.

Tabla 5. Valoración de las Lateritas de Santa Fe de Antioquia.

| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO | VALOR DEL LIG | PESO |
|---|-------|--|---------------|------|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área | 5 | 0.20 |
| | 4 | 2-4 ejemplos | | |
| | 3 | 5-10 ejemplos | | |
| | 2 | 11-20 ejemplos | | |
| | 1 | >20 ejemplos | | |
| Extensión superficial (m ²) | 5 | >1.000.000 | 1 | 0.05 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 | | |
| | 3 | 10.000-100.000 | | |
| | 2 | 1.000-10.000 | | |
| | 1 | <1000 | | |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG | 1 | 0.05 |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación. | | |
| | 3 | Varios artículos publicados | | |
| | 2 | Un artículo publicado | | |
| | 1 | No hay artículos relacionados | | |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil | 4 | 0.35 |
| | 3 | Moderadamente útil | | |
| | 1 | Poco útil | | |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos | 2 | 0.30 |
| | 4 | 4 elementos | | |
| | 3 | 3 elementos | | |
| | 2 | 2 elementos | | |
| | 1 | 1 elementos | | |
| Carácter de localidad tipo | 5 | Formalmente reconocida | 1 | 0.05 |
| | 3 | Secundaria o de Referencia | | |
| | 1 | No propuesta como tal | | |
| VALOR TOTAL | | | 3.15 | |

4.2.4. Mirador Las Crucetas.

El mirador de Las Crucetas se encuentra en la carretera Llanadas. Se entra aproximadamente 3 km por la intersección de la vía Medellín-Santa Fe de Antioquia y el pueblo de Llanadas. Este lugar está situado sobre en el flanco derecho del río Cauca a 1600 m.s.n.m. Llamado “Crucetas” porque desde allí se encuentran numerosos senderos o caminos de herradura creados por los campesinos de la zona, sendero que conducen a las diferentes veredas. Es una pequeña zona poblada en el cruce de caminos que consta de un estadero de 100m² aproximadamente y donde se puede divisar el municipio de Santa Fe de Antioquia, Sucre y el puente de Occidente.

El Mirador de Las Crucetas es un lugar donde se puede observar los rasgos estructurales y paisajísticos que ha generado la tectónica en la Cordillera Occidental. El mirador permite una vista panorámica del paisaje donde se puede identificar fácilmente varios lugares de interés geológico: la dinámica del río Cauca y la unión con el río Tonusco; la expresión geomorfológica reflejadas en las facetas triangulares alineadas y silletas de las fallas Cauca Este, falla Cauca Oeste; los rasgo de los “domos” de anfibolita de Sucre en el flanco Izquierdo del río Cauca; las vertiente que surten a el río Cauca, entre ellas La Tunalá y La Chorquina.

Tabla 6. Valoración del Mirador las Crucetas.

| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO | VALOR DEL LIG | PESO |
|--|-------|--|---------------|-------------|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área | 3 | 0.25 |
| | 4 | 2-4 ejemplos | | |
| | 3 | 5-10 ejemplos | | |
| | 2 | 11-20 ejemplos | | |
| | 1 | >20 ejemplos | | |
| Extensión superficial (m²) | 5 | >1.000.000 | 1 | 0.05 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 | | |
| | 3 | 10.000-100.000 | | |
| | 2 | 1.000-10.000 | | |
| | 1 | <1000 | | |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG | 1 | 0.05 |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación. | | |
| | 3 | Varios artículos publicados | | |
| | 2 | Un artículo publicado | | |
| | 1 | No hay artículos relacionados | | |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil | 5 | 0.35 |
| | 3 | Moderadamente útil | | |
| | 1 | Poco útil | | |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos | 3 | 0.30 |
| | 4 | 4 elementos | | |
| | 3 | 3 elementos | | |
| | 2 | 2 elementos | | |
| | 1 | 1 elementos | | |
| VALOR TOTAL | | | 3.5 | |

4.2.5. Quebrada La Tunalá.

La quebrada Tunalá, es llamada así por la vegetación de tunas que posee la zona, elemento distintivo de la vegetación de áreas semidesérticas. El LIG se encuentra en la parte más norte de todos los lugares propuestos en esta investigación, continuo a las Lateritas de Santa Fe de Antioquia.

Es uno de los afluentes del río Cauca y está ubicado justo al frente de la población de Olaya. Para llegar al LIG se toman 7 Km aproximadamente desde Santa Fe de Antioquia por la vía “vieja” al puente de Occidente. Es de fácil acceso y carretable hasta el borde de la quebrada. Nuestra propuesta después de llegar al sitio es realizar un recorrido por la quebrada aguas arriba o bien en dirección Este-Oeste desde la unión “Río Cauca-Quebrada La Tunalá”. A partir de la ubicación anterior e intención del recorrido podemos observar sobre los taludes

formados por la erosión y dinámica de la quebrada varios rasgos geológicos: 1) depósito Cuaternario: comprendido por flujos continuamente basculados y que erosiona notablemente una capa de limos de espesor de 10m de altura, el cual han sido producidos por el represamiento en algún momento del río Cauca en la quebrada, que se pueden también observar en las terrazas ubicadas en el flanco derecho del río Cauca (frente a la quebrada) con una altura de 20 m de espesor aproximadamente.

Los anteriores flujos se encuentran en contacto neto con un Flujo de Lodos y/o Escombros denominados en esta investigación de edad Terciaria, el cual poseen las siguientes características: Flujo “matriz-soportado” con cantos redondeados de 10cm de diámetro de composición granítica de rocas del Batolito de Sabanalarga totalmente cementado. Luego este flujo se encuentra en contacto neto con el Batolito de Sabanalarga de edad Cretácico.



Figura 6. Quebrada La Tunala, detalle del Batolito de Sabanalarga, seguido por el flujo matriz-soportado cementado (Terciario) y por último la convergencia de las terrazas de la quebrada con el río Cauca.

Tabla 7. Valoración quebrada La Tunala.

| CRITERIO | VALOR | INDICADOR ASIGNADO | VALOR DEL LIG | PESO |
|--|-------|--|---------------|------|
| Abundancia/rareza | 5 | Solo un ejemplo en el área | 3 | 0.20 |
| | 4 | 2-4 ejemplos | | |
| | 3 | 5-10 ejemplos | | |
| | 2 | 11-20 ejemplos | | |
| | 1 | >20 ejemplos | | |
| Extensión superficial (m²) | 5 | >1.000.000 | 2 | 0.05 |
| | 4 | 100.000-1.000.000 | | |
| | 3 | 10.000-100.000 | | |
| | 2 | 1.000-10.000 | | |
| | 1 | <1000 | | |
| Grado de conocimiento o investigación | 5 | Más de un TDG | 2 | 0.05 |
| | 4 | Al menos un TDG y más de un artículo de investigación. | | |
| | 3 | Varios artículos publicados | | |
| | 2 | Un artículo publicado | | |
| | 1 | No hay artículos relacionados | | |
| Utilidad como modelo para ilustrar procesos | 5 | Muy útil | 5 | 0.25 |
| | 3 | Moderadamente útil | | |
| | 1 | Poco útil | | |
| Diversidad de elementos | 5 | 5 o más elementos | 4 | 0.25 |
| | 4 | 4 elementos | | |
| | 3 | 3 elementos | | |
| | 2 | 2 elementos | | |
| | 1 | 1 elementos | | |
| Edad geológica | 5 | Precámbrico | 3 | 0.20 |
| | 4 | Paleozoico | | |
| | 3 | Mesozoico | | |
| | 2 | Terciario | | |
| | 1 | Cuaternario | | |
| VALOR TOTAL | | | 3.65 | |

5. ANÁLISIS

Para que los elementos valorados se consideren LIG se requiere una valoración numérica igual o superior a 3.0. Para la zona del municipio de Santa Fe de Antioquia se tienen 4 LIG, que en orden descendente de valoración son Cenizas Volcánicas, quebrada La Tunala, Lateritas de Santa Fe de Antioquia y Mirador Las Crucetas. A continuación se detallan los LIG:

Cenizas Volcánicas: Las Cenizas Volcánicas a pesar de no ser un punto de gran extensión, y no estar cartografiado en la plancha 130 Santa Fe de Antioquia (INGEOMINAS,

1983), tiene una puntuación de (4.05) en la valoración propuesta en este trabajo. El punto es considerado un LIG debido a que de allí es la base donde se postula al Páramo de Frontino como la fuente de los piroclastos del miembro Buta. Este punto tiene gran peso por su rareza: soportado en que no hay reportes de depósitos similares en cuencas vecinas. Además, es un punto de motivo de investigación que permite entender las características geológicas de la región.

El grado de conocimiento del punto está definido por la unidad litoestratigráfica llamada Formación el Llano (Parra, 1987), el cual se establece con el propósito de ampliar el

conocimiento sobre el volcanismo del occidente antioqueño. LIG propuesto de fácil acceso, ubicado al borde de la carretera que conduce al puente de Occidente cerca de la población de Santa Fe de Antioquia, con un talud descubierto donde se puede describir estratigráficamente las cenizas.

Quebrada La Tunala: La quebrada La Tunala posee variedad de elementos geológicos, geomorfológicos y estratigráficos, que se reflejan en sus terrazas y en la variedad de cambios observados a partir de la litología y edad de tiempo geológico comprendidos en un corto recorrido de la quebrada; los depósitos cuaternarios que comienzan desde la convergencia con el río Cauca, luego pasando por uno depósito de flujo formados por la quebrada y propuesto como Terciario en esta investigación, y por último, se encuentra el Cretácico definido por el Batolito de Sabanalarga (González et al, 1978). Es de resaltar que los procesos que han modelado el paisaje de este sector se han ido creando por la dinámica entre la quebrada y el río Cauca, descubriendo estratigráficamente los eventos formados por la confluencia del cauce y el represamiento del río Cauca.

La quebrada La Tunala, ha sido motivo de estudios neotectónicos, donde se describen eventos recientes reflejados en terrazas basculadas y microestructura, además, se hallaron evidencias y rasgos como Sismitas tipo flame, diques y desplazamientos verticales con magnitudes estimadas de 5,6 a 6 aproximadamente, el cual le daría un valor adicional porque permite complementar el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Santa Fe de Antioquia. (N.V. Uasapud, 2012).

Lateritas de Santa Fe de Antioquia: Esta “_roca de labrar” fue muy importante en las construcciones antiguas y patrimoniales del municipio de Santa Fe de Antioquia. Además, la formación de la roca propuesta en esta investigación y su atractivo económico y comercial le aumentan el valor al LIG. El punto permite reconstruir e ilustrar los procesos de formación de la laterita, como también, visualizar la falla Cauca manifestada por la continuidad de expresiones geomorfológicas de las silletas que atraviesan los cuerpos de anfibolita de Sucre en el flanco izquierdo del río Cauca.

Mirador de La Cruceta: En la bibliografía recopilada no se encuentran referencias del punto, pero es conocido por los habitantes de la zona y reconocido por los transportadores y algunos guía turísticos. Este mirador panorámico permite identificar los rasgos geológicos y tectónicos de la Cordillera Occidental, a partir de conceptos geomorfológicos. Por lo anterior se considera muy útil para ilustrar procesos, y cumple con los criterios de variedad de elementos estructurales, geomorfológicos y de dinámica hidrogeológica.

6. CONCLUSIONES

Las características geológicas y geomorfológicas del municipio de Santa Fe de Antioquia permiten por medio de

esta investigación y su valoración soportar que el municipio y sus alrededores tienen LIG que cumplen con los criterios de Patrimonio Geológico reconocidos.

Santa Fe de Antioquia y los municipios y corregimientos vecinos presenta varios lugares que se pueden considerar de interés geológico. La investigación permitió clasificar y designar relevancia y categoría por medio del diagnóstico y valoración de cinco lugares; Cenizas volcánica, Depósitos Recientes, Lateritas de Santa Fe de Antioquia, La quebrada La Tunala y Mirador de Las Crucetas, lo que dio como resultado cuatro lugares de cinco con una puntuación superior o igual a tres; Cenizas Volcánicas, Lateritas de Santa Fe de Antioquia, La quebrada La Tunala y El mirador de crucetas.

A pesar de su poca extensión, fue el lugar propuesto con más valor (4,05) en la investigación. El resultado se debe a que este lugar permite entender los procesos que han modelado geológicamente la región. Además, su rareza es un valor agregado respaldado por no tener ocurrencias en zonas cercanas al punto. Se definió una Formación litoestratigráfica llamada Formación el Llano (Parra, 1986), la cual le da peso en el criterio de localidad tipo.

El Mirador de Crucetas es un lugar donde se puede observar el valor escénico que reúne determinados elementos del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad, donde se puede transformar un recurso paisajístico y modelo geológico, en recurso turístico lo adecuadamente importante para convertirlo en uno de los principales atractivos del sector norte de los Andes Colombianos.

Con esta investigación se caracterizó parte de la variedad de lugares de interés a nivel de Patrimonio Geológico y Geodiversidad con la motivación de resaltar el potencial natural, científico y turístico buscando su conservación y protección, creando un primer paso de divulgación como Patrimonio Geológico del país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ingeniero Harlison Torres, a la Geóloga Liliana Betancurth y a los profesores Norberto Parra y Cesar Vinasco por sus aportes, observaciones y apoyo documental.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Baena, G, Vives, G., 2002. Santa Fe de Antioquia: Breve Monografía.
- [2] Carcavilla, L., López, J., Durán, J. J., 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, 360 P.
- [3] Carcavilla, L., Durán, J.J., y López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. Geo-Temas, 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria. Campuzano, J y Caballero, H., 1976. Ríos trezados en Antioquia. Revista Boletín Ciencias de la Tierra, N°. 1, pp. 99-125.

- [4] Cárdenas, I y Restrepo, C. 2006. Patrimonio geológico y patrimonio minero en la Cuenca Carbonífera del Suroeste Antioqueño. Revista Boletín Ciencias de la Tierra. N°. 18, pp. 91-102.
- [5] Cendrero, A. 1996. En: El patrimonio geológico, Bases para su valoración, protección, conservación y utilización (p. 19). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA), Madrid, 112 P.
- [6] Durán, J.J., Brusi, D., Palli, L.L., López-Martínez, J., Palacio, J. y Vallejo, M., 1998. Geología Ecológica, Geodiversidad, Geoconservación y Patrimonio Geológico: la Declaración de Girona. En Durán J.J. y Vallejo, M. (Eds.). Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico, 67-72. Sociedad Geológica de España.
- [7] European Association for the Conservation of the Geological Heritage, ProGeo [en línea]. [Consulta el 20 de Octubre de 2011]. Disponible en Internet: <<http://www.progeo.se/>>.
- [8] González, H y Londoño, A. C. 2002. Batolito de Sabanalarga (K2S) Graven del Cauca Cordillera Central Departamento de Antioquia. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). Colombia.
- [9] González, H.; Restrepo, J.; Toussaint, J.; Linares. E. 1978. Edad radiométrica K/Ar del Batolito de Sabanalarga. U. Nal., Publ. Esp. Geol., 8: 1-4. Medellín.
- [10] Grosse, E. 1926. Estudio geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia. Dietrich Reimer, Berlín, 374 P.
- [11] Instituto Geológico y Minero de España IGME, 2009. Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG) [en línea]. [Consulta el 21 de Febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/patrimonio/novedades/METODOLOGIA%20IELIG%20V12.pdf>
- [12] Maya, M. (1992) Catalogo de dataciones isotópicas en Colombia. Boletín Geológico Ingeominas. Vol. XXXII (1-3). P 127-188. Bogotá.
- [13] Mejía, N., 1984. Geología y geoquímica de las planchas 130 (Santafé de Antioquia) y, escala 1:100.000, memoria explicativa. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).
- [14] Mejía, M, Álvarez, E y González, H., Mapa Geológico de la Plancha 130 (Santafé de Antioquia). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 1983.
- [15] Molina, J. M y Mercado, M. 2003. Patrimonio geológico, minero y geoturístico. Enfoque conceptual y de casos en Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).
- [16] Uasapud, N.V. 2012. La Neotectónica como herramienta de apoyo a la gestión del riesgo, Congreso Latinoamericano de prevención de riesgo y medio ambiente. Medellín.
- [17] Uasapud, N.V 2013, propone El cañón interandino del río Cauca al occidente de Medellín ¿ Colombia, como patrimonio geológico a escala departamental, U. Nal. Medellín.
- [18] Nieto, L.M. (2001), Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. Boletín Geológico y Minero, 112 (2): 3-11.
- [19] Parra, L., 1987. El volcanismo pleistoceno en la cuenca de Santa Fe de Antioquia: Formación el Llano, memorias seminario Gerardo Botero, 135-151. Medellín.
- [20] Parra, L, 1991. Geología glacial del Páramo de frontino, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Minas, Medellín.
- [21] Restrepo, J. J y Toussaint, J. F. 1973. Obducción Cretácea en el Occidente Colombiano. Folleto, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Minas, Medellín.
- [22] Suter, F., Martínez, J. I y Vélez, M. I. 2011. Holocene soft-sediment deformation of the Santa Fe-Sopetrán Basin northern Colombian Andes: Evidence for pre-Hispanic seismic activity? .Sedimentary Geology. Vol. 235, pp. 188-199.
- [23] Theodossiou-Drandaki, I. 2007. En: Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos (p. 17). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, 360 P.
- [24] Torres, H. , Jaramillo, J.E, Molina, J. M, Caballero. H. 2012, Patrimonio Geológico Y Geodiversidad En Santa Fe De Antioquia y Olaya, Departamento de Antioquia, Colombia, Libro Actas de XIII Congreso Internacional sobre patrimonio Geológico y Minero. 17ª Sesión científica de la SEDPGYM., p327-298 España.
- [25] Torres, H, Molina, J. M, 2012, Aproximación al patrimonio geológico y geodiversidad en Santafé de Antioquia, olaya y Sopetrán, departamento de Antioquia, Colombia. Revista Boletín Ciencias de la Tierra., Nro. 32, pp. 23-34. Medellín.
- [26] Vargas, G, y Rodríguez, 2009. Metodología para la prospección de níquel utilizando técnicas de sensores, departamento de Antioquia, Colombia. Revista Boletín Ciencias de la Tierra., Número 25, Medellín.
- [27] Vergara, H. 1976. Génesis de las terrazas del río Tonusco geometría y geomorfología. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Minas.

