

# Caracterización y determinación del uso del depósito aluvial ubicado en la cantera Las Lomitas, corregimiento de Zambrano, La Guajira, Colombia

## Characterization and determination of the use of the alluvial deposit located in Las Lomitas quarry, Zambrano, La Guajira, Colombia

Marintia Siossi Parodi<sup>1</sup>; Carlos Javier Orozco Suarez<sup>2</sup>; Dino Carmelo Manco-Jaraba<sup>3</sup>; Luis Carlos Lacouture Peralta<sup>4</sup>; Elías Ernesto Rojas Martínez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Geóloga, Fundación Universitaria del Área Andina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-1239>

<sup>2</sup>Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9142-7178>

<sup>3</sup>M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Universidad de La Guajira. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8506-094X>.

<sup>4</sup>Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9433-2863>

<sup>5</sup>Geólogo, M. Sc Geología Económica, Fundación Universitaria del Área Andina, Grupo de Investigación en Ingeniería Geológica. Valledupar, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0402-1565>

Email: [dinomancojaraba@gmail.com](mailto:dinomancojaraba@gmail.com) o [dcmancoj@uniguajira.edu.co](mailto:dcmancoj@uniguajira.edu.co)

Cite this article as: M. S. Parodi, C. J. Orozco Suarez, D. C. Manco-Jaraba, L. C. Lacouture Peralta, E. E. Rojas Martínez, "Caracterización y determinación del uso del depósito aluvial ubicado en la cantera Las Lomitas, corregimiento de Zambrano, La Guajira, Colombia", *Prospectiva*, Vol 21, N° 1, 2023.

**Recibido: 12/07/2022 / Aceptado: 13/02/2023**

<http://doi.org/10.15665/rp.v21i1.3011>

### RESUMEN

*En La cantera Las Lomitas, localizada en el corregimiento de Zambrano, municipio de San Juan del Cesar, La Guajira (Colombia), se explotan y comercializan materiales pétreos. El objetivo de la investigación es caracterizar y determinar el uso más adecuado del depósito aluvial en la cantera Las Lomitas. Se llevó a cabo una cartografía geológica, levantamientos estratigráficos y sondeos eléctricos verticales (SEV); la técnica de muestreo empleada fue sistemática, tomándose 13 especímenes de sedimentos, analizadas granulométricamente y con ensayos de desgaste por abrasión, límite líquido y plasticidad. Las muestras analizadas para sub-base granular presentan 35,68% límite líquido, 18,08% límite plástico y 17,60% índice de plasticidad; clasificándose en el grupo A-1-a (arena limo arcillosa con grava), con porcentajes de gravas 40,6%, arenas 46,9 % y finos 12,5%; y para el límite de atterberg (afirmado) presenta límite líquido 35,68%, límite plástico 18,08% e índice de plasticidad 17,60%; clasificándose en el grupo A-1-a (arena bien gradada con limos), con porcentajes de gravas 39,8 %, arenas 49,6 % y finos 11,6%. Concluyéndose, que los materiales de la cantera cumplen con los criterios establecidos por INVIAS (2012) para base granular clase C y B, sub-base clase B y afirmado.*

**Palabras clave:** *Cantera Las Lomitas, Depósito Aluvial, San Juan del Cesar, Uso industrial, Zambrano.*

### ABSTRACT

*In Las Lomitas quarry, located in the township of Zambrano, municipality of San Juan del Cesar, La Guajira (Colombia), stone materials are exploited and commercialized. The objective of the research is to characterize and determine the most appropriate use of the alluvial deposit in Las Lomitas quarry. Geological mapping, stratigraphic surveys and geoelectric studies were carried out; the sampling technique used was systematic, taking 13 sediment specimens, analyzed granulometrically and with abrasion wear tests, liquid limit, plasticity, California Bearing Ratio (CBR) and modified proctor. The samples analyzed for granular sub-base present 35.68% liquid limit, 18.08% plastic limit and 17.60% plasticity index; being classified in group A-1-a (silty clayey sand with gravel), with percentages of gravels 40.6%, sands 46.9% and fines 12.5%; and for the atterberg limit (affirmed) it presents liquid limit 35.68%, plastic limit 18.08% and plasticity index 17.60%; being classified in group A-1-a (well graded sand with silts), with percentages of gravels 39.8%, sands 49.6% and fines 11.6%. It was concluded that the quarry materials meet the requirements for class C and B granular base, class B sub-base and pavement, according to INVIAS 2012 regulations.*

**Keywords:** *Alluvial deposit, Industrial use, Las lomitas quarry, San Juan del Cesar, Zambrano.*

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo el hombre ha modificado y transformado su entorno natural de acuerdo a su necesidad y condiciones de vida, usando como herramienta los recursos naturales, adaptándolos y transformándolos en distintos productos y servicios por medio del progresivo desarrollo tecnológico [1]. En Colombia existen empresas y particulares dedicados a la explotación y comercialización de materiales de construcción que no cumplen con los estándares de calidad exigidos por las legislación y normatividad técnica [2]–[6].

Los depósitos aluviales constituyen mezclas de sedimentos y rocas con textura, composición variadas, y comprenden un alto porcentaje del material usado en la construcción [7], sus propiedades geomecánicas dependen de su origen, composición y su interacción con el medio físico actual; es decir que la litología (composición y textura de las rocas) y la condición en que se encuentran los materiales en la naturaleza así como las condiciones del entorno físico, principalmente las variaciones climáticas, juegan un papel definitivo en su comportamiento [7], [8].

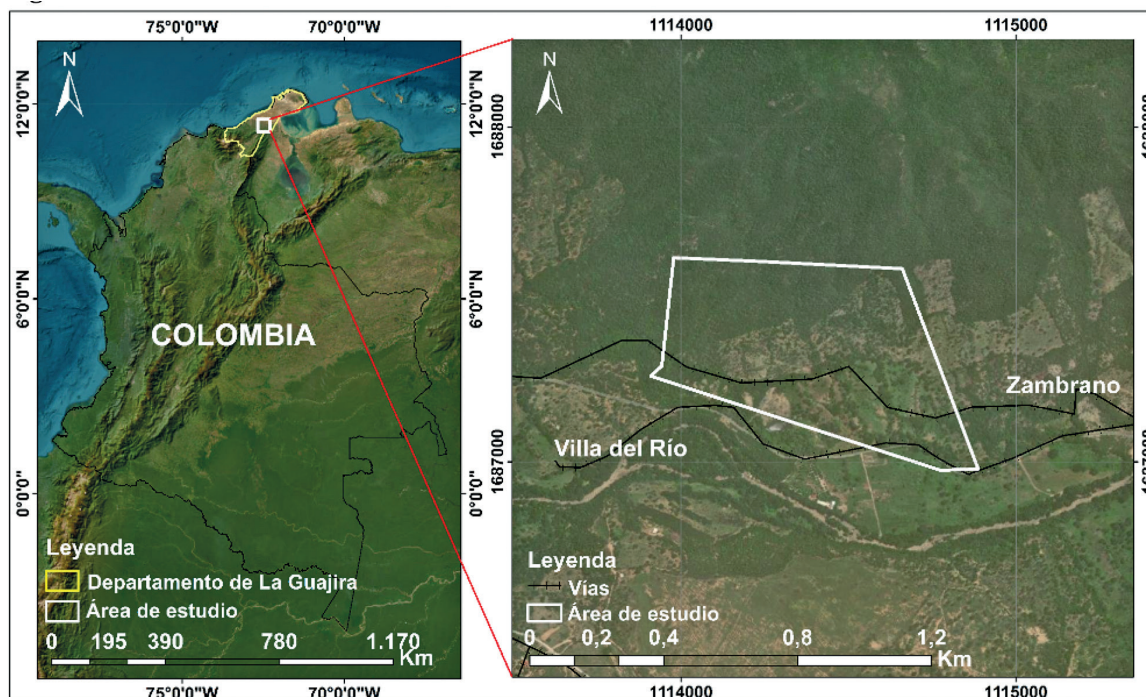
La industria de la construcción ha asumido un rol protagónico en el desarrollo de las sociedades, debido a que es responsable directa de la creación de proyectos a través de los cuales además de gestarse cultura, contribuye al crecimiento económico [9]–[15]. A su vez es uno de los responsables principales del consumo de recursos, generación de residuos, transformación del entorno y contaminación [16]–[19]. Por tal motivo, es pertinente que desde esta industria se planteen soluciones alternativas que contribuyan a disminuir su impacto sobre el ambiente [10], [17], [20]–[23].

En el corregimiento de Zambrano, municipio de San Juan del Cesar, departamento de La Guajira, se han registrado explotaciones y comercialización de materiales de construcción. Esta investigación propende caracterizar y determinar el uso del depósito aluvial ubicado en la cantera Las Lomitas, corregimiento de Zambrano.

## 2. LOCALIZACIÓN

La zona de investigación se encuentra en la Cantera Las Lomitas con un área de 40 hectáreas, localizada a 7 Km de la vía que comunica el municipio de San Juan del Cesar con el corregimiento de Zambrano, departamento de La Guajira (Colombia) (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de investigación.  
Figure 1. Location of the research area.



### 3. METODOLOGÍA

En la ejecución de la investigación, se efectuó levantamiento estratigráfico de acuerdo a la metodología propuesta por [24], [25], estudios geoelectricos (sondeos eléctricos verticales) y cartografía geológica del sector a escala 1:25.000, empleando técnica de muestreo sistemática, tomándose 13 especímenes de sedimentos, uno de los cuales fue tomado de una trinchera en la cantera de acuerdo a los lineamientos de la Norma [26], [27] y los restantes en el registro sedimentaria aflorante, asumiéndose que poseen continuidad lateral y son representativa del sector, con un peso promedio de 1 kilogramo cada una, bajo grado de alteración, examinadas con técnicas de análisis granulométricos [28], ensayo de desgastes en la máquina de los ángeles [29], degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval [30], límite líquido [31] e índice de plasticidad [30].

Para el estudio geoelectrico se realizaron dos (2) líneas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), reconocidas como CM-01 y CM-02 mediante el arreglo Schlumberger [32], para determinar la distribución de la resistividad del subsuelo, manifestando comportamientos ante el paso de corriente eléctrica. La toma de datos de corriente y potencial se realizó con un equipo transmisor de corriente marca Earth Resistivity (transmitter - receiver) MODEL SE05, capaz de inyectar al terreno pulsos rectangulares de 0.5 a 4 segundos de duración e impedancia de entrada de 20 MΩ.

### 4. GEOLOGÍA LOCAL

#### 4.1 Formación Guatapurí (Tjg)

Descritas por [33] como una alternancia de capas rojas volcánicas y sedimentarias. Las rocas volcánicas son flujos espiliticos o keratofiricos, brechas y aglomerados piroclásticos. Las rocas sedimentarias son limolitas, areniscas y grauvacas de aspecto uniforme. El constituyente volcánico está representado por sedimentos tobáceos, brechas o conglomerados piroclásticos depositados en medio acuosos.

#### 4.2 Depósitos Cuaternarios (Qa)

Estos depósitos se encuentran principalmente sobre el valle del Río Cesar, se constituyen por niveles de arenas, grano grueso a medio, y niveles gruesos canaliformes de gravas clastosoportados, polimícticos y angulares a subredondeados, son de origen aluvial y en menor medida eólicos. Geomorfológicamente no tienen distinción litológica con los abanicos aluviales. La edad según [34] es Pleistoceno- Holoceno [33].

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Cartografía

En la mayor extensión del área y sus alrededores aflora la Formación Guatapurí (Tjg) y depósitos Cuaternarios (Qa) correspondiente a llanuras o conos aluviales (Figura 2).

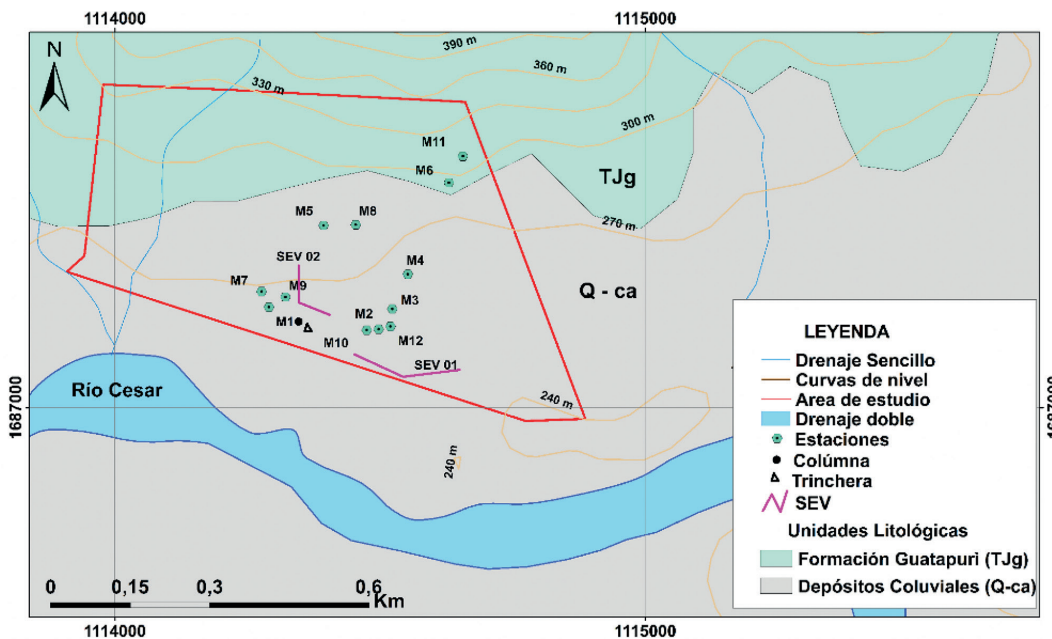
### 5.2 Estratigrafía

Las observaciones de campo y secciones estratigráficas (Figura 3) levantadas en los afloramientos permitieron diferenciar siete (7) segmentos o niveles, y establecer su correspondencia a depósitos sedimentarios Cuaternario coincidiendo con lo descrito por [34], quien especifica que están compuestos de depósitos de grava de edad del Pleistoceno y Holoceno. La columna estratigráfica se levantó en las coordenadas geográficas norte: 1687132, y este: 1114381, en un apique con una profundidad máxima de 8,55m. A continuación, se describen los segmentos:

**Segmento 1:** El primer nivel contiene materia orgánica superficial con espesor de 0,45 m (consecuencia estratigráfica de suelo transportado), matriz color marrón oscuro según la tabla de clasificación de colores de suelo de [35] es 10 R 4/6, vegetales sin descomposición (pastos), resto de hojas y plantas sin transformar (Figura 3).

**Segmento 2:** Suelo con tonalidades rojizas con espesor de 0,85m, granulometría fina con 65% de matriz y 35% de clastos. La matriz presenta granulometría fina, no plástica y resistencia al corte alto. Los clastos son discoidales, redondez subangular, orientación isotrópica y morfología apreciable de erosión superficial tipo surcos (Figura 3).

Figura 2. Mapa geológico local.  
Figure 2. Local geological map.



**Segmento 3:** Suelo seco con tonalidades amarillo naranja según [35] de 10 YR 8/6 y espesor 3,65 m. Granulométricamente se clasifica como arena limosa con poca plasticidad y resistencia al corte medio (Figura 3).

**Segmento 4:** Con un espesor de 0,1 m, resistencia al corte media y densidad relativa. Se clasifica granulométricamente como una arena limosa con poca plasticidad, matriz soportada, con proporción de 70% matriz y 30% clastos. Presentando clastos con forma discoidal, redondeados con orientación isotrópica y alteración moderada (Figura 3).

**Segmento 5:** Suelo con permeabilidad media, granulometría arena limosa no plástica con resistencia al corte alto y un espesor de 0,75 cm (Figura 3).

**Segmento 6:** Suelo seco con porcentaje de matriz del 65%, clasificada granulométricamente como arena fina con poca plasticidad, resistencia al corte medio, 35% de clastos subredondeados, orientación isotrópica y meteorización moderada (Figura 3).

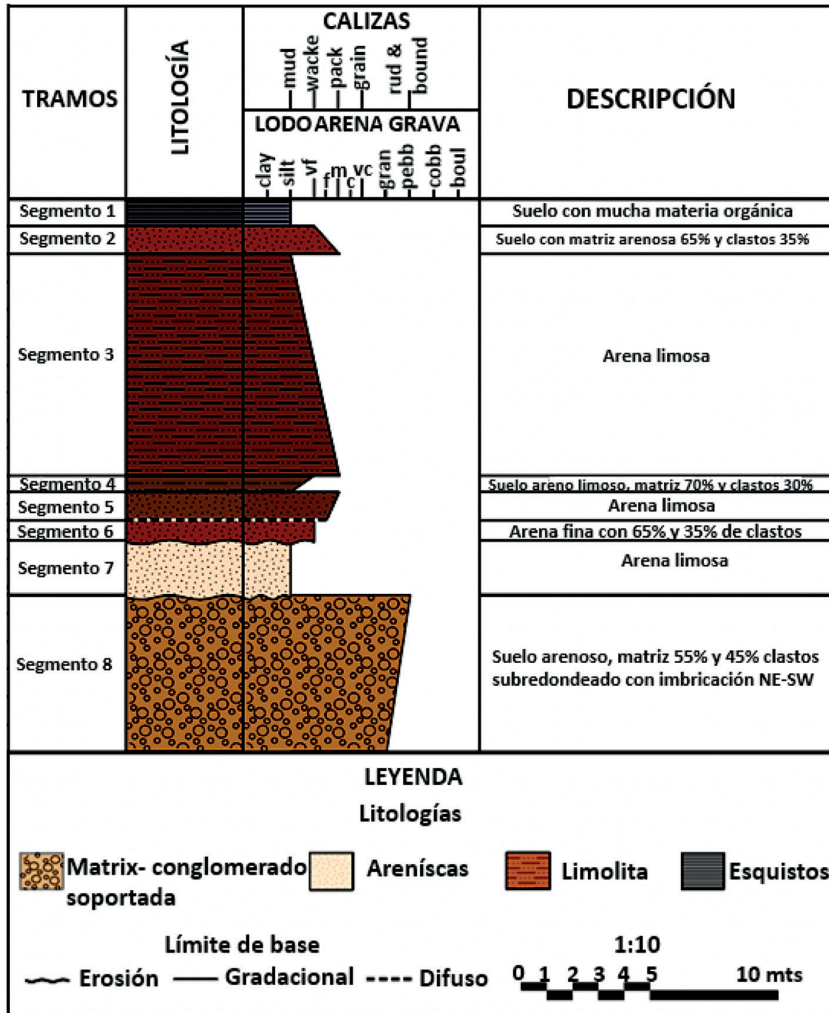
**Segmento 7:** Suelo seco con permeabilidad baja, espesor de 1,27 metros, clasificada granulométricamente como arena limosa con poca plasticidad y resistencia al corte medio (Figura 3).

**Segmento 8:** Suelo con espesor de 2,2 metros, 55% de porcentaje de matriz, clasificada granulométricamente como arena fina, resistencia al corte medio, 45% de clastos subredondeados y semi angulosos, de permeabilidad media con una meteorización moderada. Los clastos presentan imbricación con orientación NE/SW (Figura 3).

### 5.3 Análisis granulométrico de sedimentos

Para estos ensayos se tomó parte de la muestra de trinchera realizándole un cuarteo en campo, posteriormente fue secada en el horno a 110 °C durante 24 horas. Luego tamizada para distribuir las partículas de acuerdo con su tamaño de grano, porcentaje de humedad y a que grupo de clasificación pertenecen, las muestras presentan un peso de entre 5 - 6 kg, para cada uno de los ensayos de base, sub-base y afirmado. Consecutivamente, se caracterizaron las muestras con base en los sistemas de clasificación (AASTHO y U.S.C.S.) (Tabla 1) (Figura 4).

Figura 3. Columna estratigráfica.  
Figure 3. Stratigraphic column.



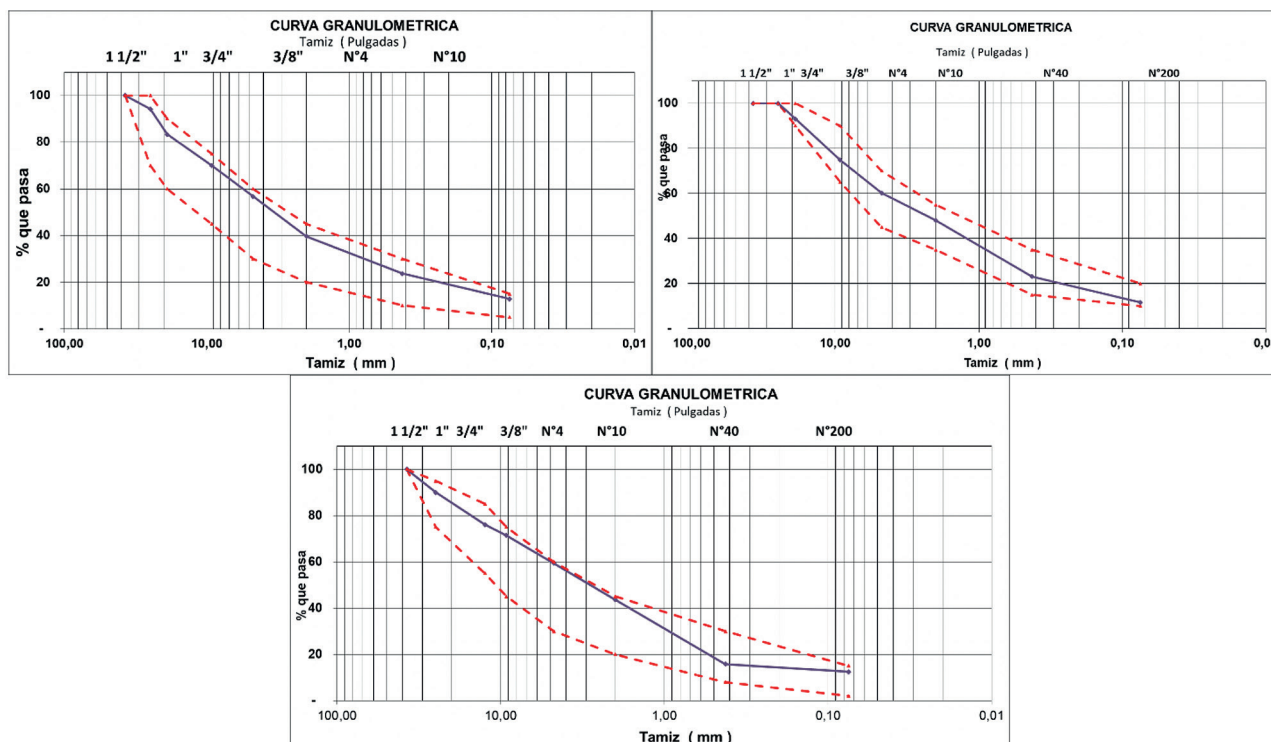
La muestra tomada para base granular está incluida dentro del grupo A-1-b, es decir que es una arena gravo- limosa de plasticidad y límite líquido nulo con porcentajes de gravas 43,3%, arenas 43,9%, 19,9% de acuerdo U.S.C.S. Para sub-base granular presente un límite líquido de 22,3 %, límite plástico de 18,1%, respectivamente con un índice de plasticidad de 4,3 % encontrándose dentro del grupo A-1-a y de acuerdo U.S.C.S., se clasifica como SM-SC o arena arcillosa limosa presentando porcentajes de grava 40,6 %, arenas, 46,9 % y finos 12,5%. Para afirmado los materiales se clasifican en grupo A-1-a como una arena bien gradada con limo (SW-SM) con porcentajes de 22,3% límite líquido, 18,1% límite plástico e 4,3% índice de plasticidad. Se clasifica como arena bien gradada con limo (SW-SM) presentando porcentajes de grava 39,8 %, arenas, 48,6 % y finos 11,6% (Tabla 1) (Figura 4).

Tabla 1. Resultados granulométricos para base, sub-base y afirmado.  
Table 1. Granulometric results for base, sub-base and consolidation.

RESULTADO GRANULOMÉTRICO PARA BASE						RESULTADO GRANULOMÉTRICO PARA SUB-BASE					
TAMIZ		TAMIZ				TAMIZ		TAMIZ			
Pulgada	Tamiz (mm)	Retenido	% Rete	% Retención acumulada	% pasa	Pulgada	Tamiz (mm)	Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3	75	0	0	0	100	3	75	0	0	0	100
2,5	62,5	0	0	0	100	2,5	62,5	0	0	0	100
2	50	0	0	0	100	2	50	0	0	0	100
1,5	37,5	0	0	0	100	1,5	37,5	0	0	0	100
1	25	350	5,83333	5,83333	94,1666	1	25	522	9,97706	9,9770642	90,022935
3/4"	19	650	10,8333	16,6666	83,3333	1/2"	12,5	731	13,97171	23,948776	76,051223
0,375	9,25	798	13,3	29,9666	70,0333	0,375	9,25	240	4,58715	28,5359327	71,4640672
N° 4	4,75	800	13,3333	43,3	56,7	N° 4	4,75	632	12,07951	40,615443	59,384556
N° 10	2	1021	17,0166	60,3166	39,6833	N° 10	2	823	15,730122	56,345565	43,654434
N° 40	0,425	957	15,95	76,2666	23,7333	N° 40	0,425	1458	27,86697	84,212538	15,78746
N° 200	0,075	653	10,8833	87,15	12,85	N° 200	0,075	174	3,325688	87,538226	12,461773
FONDO		771	12,85	100	0	FONDO		652	12,4617737	100	0

RESULTADO GRANULOMÉTRICO PARA AFIRMADO					
TAMIZ		TAMIZ			
Pulgada	Tamiz (mm)	Retenido	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
3	75	0	0	0	100
2,5	62,5	0	0	0	100
2	50	0	0	0	100
1,5	37,5	0	0	0	100
1	25	0	0	0	100
3/4"	19	450	6,926273	6,9262736	93,073726
0,375	9,25	1185	18,23918	25,16546	74,834539
N° 4	4,75	950	14,622133	39,787594	60,212405
N° 10	2	790	12,1594582	51,947052	48,0529475
N° 40	0,425	1620	24,934585	76,881637	23,118362
N° 200	0,075	750	11,543789	88,4254271	11,574572
FONDO		752	11,574572	100	0

Figura 4. Curva granulométrica. A. Base. B. Sub-base. C. Afirmado.  
 Figure 4. Granulometric curve. A. Base. B. Sub-base. C. affirmed.



### 5.4 Análisis límite de atterberg

La muestra analizada (trinchera) para límites de atterberg para sub-base granular presentan límite líquido 35,68%, 18,08% límite plástico e 17,60% índice de plasticidad; clasificándose límite líquido  $30 < LL \leq 25$  con nivel de compresibilidad media y asentamientos medios, índices de plasticidad  $15 < IP \leq 25$ , alta plasticidad incluida al grupo A-1-a es decir que es una arena limo arcillosa con grava con porcentajes de gravas 40,6%, arenas 46,9 % y finos 12,5% (Tabla 2).

Los especímenes evaluados por límite de atterberg para afirmado presenta límite líquido 35,68%, límite plástico 18,08% e índice de plasticidad 17,60%; clasificándose límite líquido  $30 < LL \leq$  con nivel de compresibilidad media y asentamientos medios, índices de plasticidad  $15 < IP \leq 25$ , alta plasticidad incluidas al grupo A-1-a es decir que es una arena bien gradada con limos con porcentajes de gravas 39,8 %, arenas 49,6 % y finos 11,6% (Tabla 2).

**Tabla 2.** Resultados del límite líquido y plástico.  
**Table 2.** Results of the liquid and plastic limit.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3		1	2	3
Lata	1	2	3	Lata	1	2	3
W Suelo Hum. + Lata	38	24	31	W Suelo Húmedo + Lata	32	30	
W Suelo Seco. + Lata	34,4	22	27,4	W Suelo Seco + Lata	29,3	27,5	
W Lata	17	13	13	W Lata	14	14	
% Humedad	0,2068	0,2222	0,25	% Humedad	0,1764	0,1851	
No. de golpes	35	25	15				
Límite líquido	WL =	0,3568					
Límite plástico	WP =	0,1808					
Índice de plasticidad	Ip =	0,176					

### 5.5 Análisis de desgaste en la máquina de Los Ángeles y degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval para Base Granular

Los ensayos de degradación por abrasión en el equipo de microdeval y desgaste en la máquina de los ángeles (Gradación A) máximo (%) 500 revoluciones (%) para base granular, presentó un porcentaje de pérdida para el primer ensayo de 5,5 % y para el segundo ensayo 19,9 – 20,1 %, deduciéndose que son materiales relativamente buenos puesto que, presentan pérdidas no tan altas y se encuentran dentro del rango de especificaciones máxima de la norma técnicas de especificaciones INVIAS 2012 [27], [36] donde se establece si el material usado es apto para uso de vías, en este caso para base granular, para los ensayos realizados se puede decir que sí se encuentran dentro del rango por consiguiente son apto para su uso y cumple para clase C.

#### 5.5.1 Para sub-base granular microdeval y máquina de los ángeles

Los resultados de pérdidas para los ensayos de degradación por abrasión en el equipo de microdeval es de 5,3 % y para el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles (Gradación A) máximo (%) 500 revoluciones (%) para sub-base granular es de 22 - 21,8 %, por lo tanto, los materiales son buenos, ya que, no presentan pérdidas relativamente altas y se encuentran dentro del rango de especificaciones. En cuanto a la norma técnica de Invias 2012 para sub-base granular [27], se puede decir que el material cumple para sub-base granular, es apto para su uso y cumple para clase C.

#### 5.5.2 Para afirmado máquina de los ángeles

Los equipos de microdeval en los ensayos de degradación presentan 5,3 %, y para el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles (Gradación A) máximo (%) 500 revoluciones (%) obtuvo una pérdida 19,9 – 20,1% encontrándose dentro los rangos establecidos, por consiguiente, el material es bueno. En lo que corresponde a la norma de técnica de especificaciones Invias 2012 [37], es apto para su uso y cumple para afirmado.

### 5.6 Análisis Geoeléctrico

#### 5.6.1 Interpretación SEV cm-01

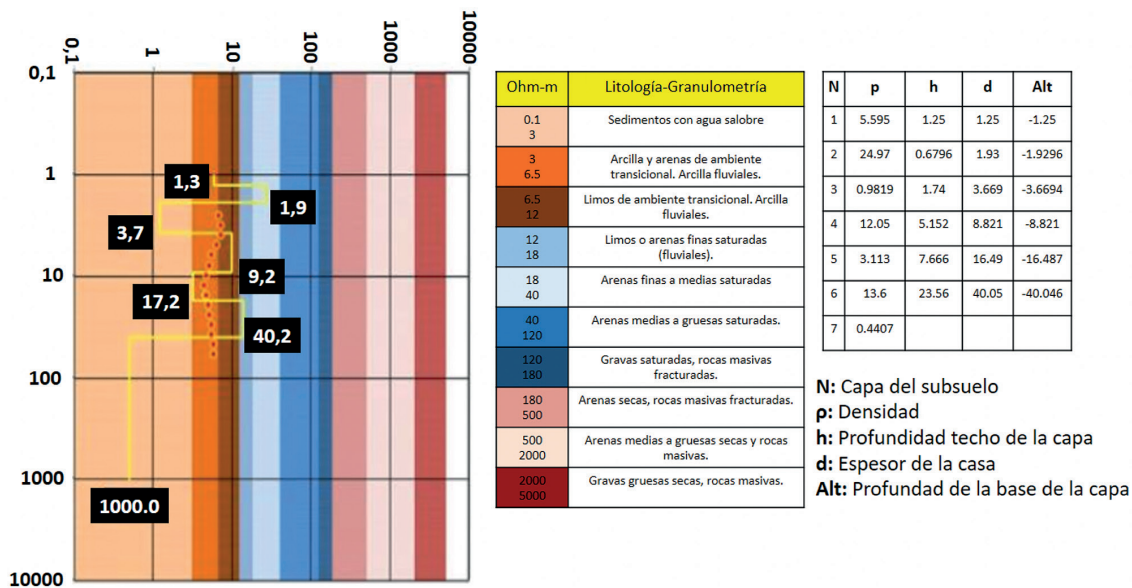
Se presentan resistividades desde 1 ohm – m hasta 25 ohm – m. que corresponden a materiales de granulometría fina como arcillas limosas secas no acuíferas, o granulometrías medias con agua salobre (1 – 3 Ohm – m). Los sedimentos con resistividades medias (12 – 25 ohm - m), corresponde a zonas saturadas de granulometría finas (arenas finas).

Según la figura 5, se presentan seis capas con una profundidad de 40 metros. Primera capa compuesta por arcilla caracterizada por resistividad de 5.5 Ohm – m y un espesor de pocos centímetros. Segunda capa constituida por arcilla con una resistividad de 24 Ohm – m y espesor de 1.93 m. Tercera capa integrada por material fino (limos, arenas finas), caracterizada por presentar resistividades de 0.9 ohm-m y espesor de 3.6m. Cuarta capa con una composición limo-arcilloso, resistividad de 12.05 ohm-m y profundidad de 3.7m a 9.2 m (espesor de 5.5m). Quinta capa con un

espesor de 8 m, compuesta por material arcillo-limoso y resistividad de 3.1 ohm - m, y una sexta capa conformada por limos o arenas finas saturadas y resistividad de 13.6 ohm-m a partir de 17.2 m hasta los 40 m de profundidad.

La litología de esta área está relacionada con el depósito Cuaternario que corresponden a sedimentos semi consolidados de tipo arcilloso arenoso a arcilloso.

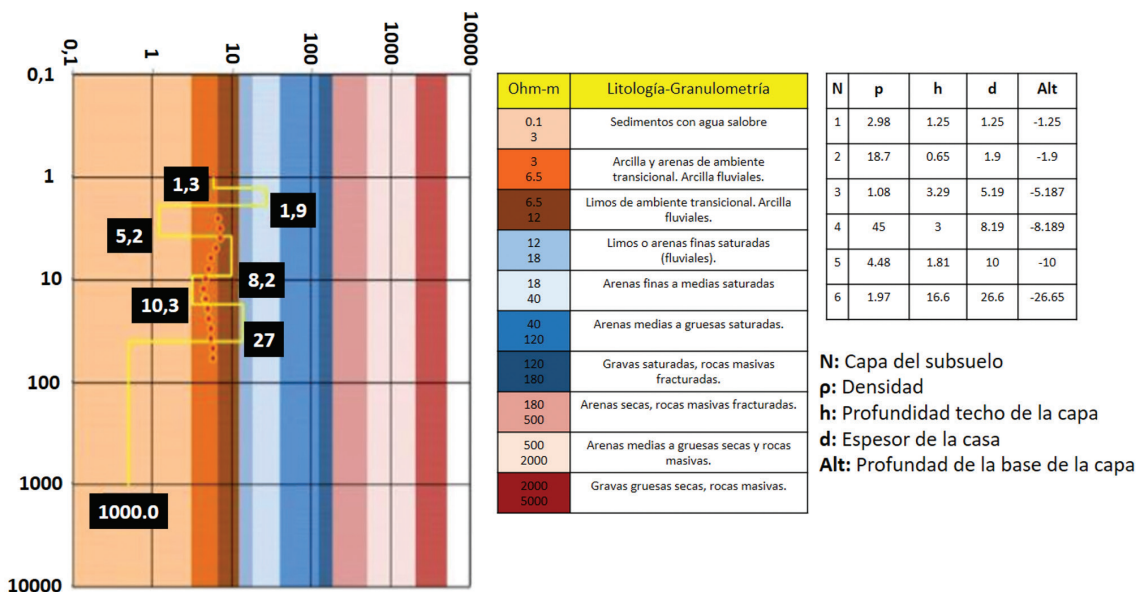
Figura 5. Interpretación de análisis geofísico CM-01.  
Figure 5. Interpretation of geophysical analysis CM-01.



### 5.6.2 Interpretación SEV cm-02

En general se presentan resistividades desde los 1 ohm – m hasta los 45 ohm – m., las resistividades bajas corresponden a estratos de granulometría fina, arcillas limosas no acuíferas, o granulometrías medias con agua de mala calidad (1 – 4 Ohm – m). Los sedimentos con resistividades medias (18 ohm - m) corresponde a zonas saturadas de granulometría finas (arenas finas).

Figura 6. Interpretación de análisis geofísico CM-02.  
Figure 6. Interpretation of geophysical analysis CM-02.





Como se observa en la figura 6, se presentan seis capas en el subsuelo hasta una profundidad de 26.6 m. La primera capa tiene un espesor de 1.25m compuesto por arcillas con resistividades de 2.89 ohm-m. La segunda capa se caracteriza por tener arenas finas con un espesor de 0.6m y resistividades de 18.7 ohm-m. La tercera capa se presenta arcillas limosas no acuíferas o granulometrías medias con agua salobre, con un espesor de 3.3 m y resistividades de 1.08 ohm-m. La cuarta capa va desde los 5.2 hasta los 8.2 metros se observa una capa de arenas medias saturadas, con un espesor de 3m y resistividades de 45 ohm-m. La quinta capa va desde los 8,2 m hasta los 10 m (espesor de 1.81 m de profundidad), conformada por arcillas limosas no acuíferas, con resistividades de 4.48 ohm-m. Por último, se encuentran limos arenosos con resistividades de 1,97ohm-m y espesor de 16,6 m.

La litología de esta área está relacionada con el depósito Cuaternario que corresponden a sedimentos semi consolidados de tipo arcilloso arenoso a arcilloso.

## 6. CONCLUSIONES

En el corregimiento de Zambrano, municipio de San Juan del Cesar (La Guajira), los depósitos Cuaternarios aluviales ubicado en la cantera Las Lomitas están caracterizados por presentar sedimentos poco consolidado de tipo arena gruesa gravosa, arcillo limoso a arena arcilloso, correlacionados con los segmentos estratigráficos 3-8. Estos depósitos cuentan con profundidades máximas medidas mediante SEV de 40 m, con niveles freáticos de 1,9 m de profundidad; se presentan resistividades desde los 1 ohm – m hasta los 45 ohm – m., las resistividades bajas corresponden a estratos de granulometría fina, arcillas limosas no acuíferas, o granulometrías medias con agua de mala calidad (1 - 4 Ohm – m) y los sedimentos con resistividades medias (18 ohm - m) corresponde a zonas saturadas de granulometría finas (arenas finas).

Las muestras analizadas (límites de atterberg) para sub-base granular presentan 35,68% límite líquido, 18,08% límite plástico y 17,60% índice de plasticidad; clasificándose el límite líquido  $30 < LL \leq 25$  con nivel de compresibilidad media y asentamientos medios, índices de plasticidad  $15 < IP \leq 25$ , alta plasticidad incluida al grupo A-1-a es decir que es una arena limo arcillosa con grava con porcentajes de gravas 40,6%, arenas 46,9 % y finos 12,5%; y para el límite de atterberg (afirmado) presenta límite líquido 35,68%, límite plástico 18,08% e índice de plasticidad 17,60%; clasificándose límite líquido  $30 < LL \leq$  con nivel de compresibilidad media y asentamientos medios, índices de plasticidad  $15 < IP \leq 25$ , alta plasticidad incluidas al grupo A-1-a es decir que es una arena bien gradada con limos con porcentajes de gravas 39,8 %, arenas 49,6 % y finos 11,6%.

El material cumple para base granular clase C y B, sub-base clase B y afirmado, de acuerdo con las normas de INVIAS 2012 “sección 100 para suelos y sección 200 para rocas” mediante el Capítulo 3 “Base Granular, Sub-base granular y Afirmado”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ministerio de Minas y Energía, “Explotación de materiales de construcción,” 2013. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/169095/EXPLORACION+DE+MATERIALES.pdf/fc129902-1523-4764-9a05-755e3bb7896e> (accessed Nov. 15, 2022).
- [2] C. Martínez-Contreras, J. Gómez-Jiménez, D. Giraes-Puerta, S. Molina-Arenas, and D. Manco-Jaraba, “Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de los lotes de ladrillo tipo h-10 en la empresa Ladrillera Valledupar s.a.s. (Colombia),” *Aibi Rev. Investig. Adm. e Ing.*, vol. 8, no. 3 SE-Artículos de Investigación, Nov. 2020, doi: 10.15649/2346030X.850.
- [3] D. Manco-Jaraba, E. Rojas-Martínez, and A. Rudas-Muñoz, “Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada La Floresta en los municipios de Pailitas y Tamalameque , departamento del Cesar , Colombia,” *Inge Cuc*, vol. 15, no. 2, pp. 78–86, 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.2.2019.08.
- [4] D. Manco-Jaraba, A. Rudas-Muñoz, and E. E. Rojas-Martínez, “Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada La Floresta en los municipios de Pailitas y Tamalameque, departamento del Cesar, Colombia,” *Inge Cuc*, vol. 15, no. 2, pp. 78–86, 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.2.2019.08.
- [5] D. Manco-Jaraba, E. Rojas Martínez, A. Rudas-Muñoz, and Y. Daza-Moscote, “Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada San Pedro localizado en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar, Colombia,” *Ing. USBMed*, vol. 9, no. 2, pp. 19–26, 2018, doi: 10.21500/20275846.3498.

- [6] D. Manco-Jaraba, E. Rojas-Martínez, and A. Rudas-Muñoz, "Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada La Floresta en los municipios de Pailitas y Tamalameque, departamento del Cesar, Colombia," *INGE CUC*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.2.2019.08.
- [7] J. Montero-Olarte and L. González-Díaz, "Programa de exploración de materiales de construcción en Colombia," 2010. <https://recor-dcenter.sgc.gov.co/B9/22004025024611/Documento/pdf/2105246111101000.pdf> (accessed Nov. 15, 2022).
- [8] P. Ortiz, E. Mayoral, M. A. Guerrero, and E. Galan, "Caracterización petrográfica y geoquímica de las calizas de la Sierra de Estepa (Sevilla) y evaluación de la calidad técnica como materiales de construcción," *Estud. Geol.*, vol. 51, no. 5–6, pp. 213–222, 1995.
- [9] R. Vázquez López and R. A. Morales López, "Diversificación de las exportaciones y competitividad externa en la industria. Hacia la construcción de una tipología para el caso de países de ingresos medios," *Cuad. Econ.*, vol. 40, no. 114, pp. 208–222, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cesjef.2016.09.002>.
- [10] B. Vásquez and S. Corrales, "Industria del cemento en México: análisis de sus determinantes," *Probl. Desarro.*, vol. 48, no. 188, pp. 113–138, 2017, doi: 10.1016/j.rpd.2017.01.006.
- [11] J. Barragán and M. Cerutti, "Cemex: del mercado interno a la empresa global," 2002. file:///C:/Users/leonardo/Desktop/archivos para adjuntar/cita\_18\_2003\_juan\_ignacio\_barragan\_mario\_cerutti\_cemex-del-mercado-interno-a-la-empresa-global.pdf (accessed Nov. 15, 2022).
- [12] U. Blum, "The East German cement cartel: Cartel efficiency and policy after economic transformation," *East. Europ. Econ.*, vol. 45, no. 6, pp. 5–28, 2007, doi: 10.2753/EEE0012-8775450601.
- [13] Ó. De la Garza and J. Arteaga García, "Análisis de la competencia en la Industria Cementera en México," *EconoQuantum*, vol. 8, no. 1, pp. 73–89, 2011.
- [14] N.-H. Kang and K. Sakai, "International strategic alliances: Their role in industrial globalisation," pp. 1–49, 2000, doi: <https://doi.org/10.1787/613723204010>.
- [15] G. Kumakan and S. Martínez, "Evolución reciente de la industria de cemento: Un estudio comparativo entre México y la India," *Rev. Mex. Estud. Sobre la Cuenca Del Pacífico*, vol. 2, no. 3, pp. 165–202, 2008.
- [16] G. Valdés, Ó. Reyes-Ortiz, and G. González-Peñuela, "Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción," *Ing. y Desarro.*, vol. 29, no. 1, pp. 17–33, 2011.
- [17] A. Aguilar, "Reciclado de materiales de construcción," *Boletín CF+S*, vol. 0, no. 2, p. 12, 2016, [Online]. Available: <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2781/2844>
- [18] L. Abarca-Guerrero, G. Leandro-Hernández, I. Hasbun-Fernández, and J. Solano-Soto, "Gestión de materiales de construcción en Costa Rica para reducción de residuos: barreras y motivaciones," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 32, pp. 65–77, 2019, doi: 10.18845/tm.v32i6.4230.
- [19] L. Abarca-Guerrero, "Nivel de importancia de las causas de generación de residuos en la construcción en Costa Rica," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 30, no. 4, p. 130, 2017, doi: 10.18845/tm.v30i4.3417.
- [20] A. Vásquez Hernández, L. F. Botero Botero, and D. Carvajal Arango, "Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional," *Ing. y Cienc.*, vol. 11, no. 21, pp. 197–220, 2015, doi: 10.17230/ingciencia.11.21.10.
- [21] P. Piñero García and A. García-Pintos Escuder, "Prácticas ambientales en el sector de la construcción. el caso de las empresas constructoras españolas," *Investig. Eur. Dir. y Econ. la Empres.*, vol. 15, no. 2, pp. 183–200, 2009, doi: 10.1016/S1135-2523(12)60096-3.
- [22] J. Ball, "Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green?," *Build. Environ.*, vol. 37, no. 4, pp. 421–428, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00031-2).
- [23] P. Piñero García, "Desarrollo de una escala de medida de la gestión medioambiental en el sector de la construcción," in *Administrando en entornos inciertos. XXIII Congreso Anual AEDEM (2009)*, p. 1-15, 2009.
- [24] P. Fariás, M. Jiménez, and J. Martínez, "Nuevos datos sobre la estratigrafía del relleno cuaternario de la depresión de Comeya (Picos de Europa, Asturias)," *Geogaceta*, vol. 20, no. 5, pp. 1116–1119, 1996.
- [25] R. Vargas Cuervo, C. A. Pérez Badillo, and C. I. Díaz Quimbaya, "Levantamiento estratigráfico detallado para el miembro Shale de Bambucá en dos secciones de la subcuenca de Neiva," *Ing. y Región*, vol. 12, no. 2, p. 59, 2015, doi: 10.25054/22161325.731.
- [26] INVIAS, "Base granular - Artículo 330 – 13," 2012.
- [27] INVIAS, "Subbase granular- Artículo 320 – 13," 2012.
- [28] INVIAS, "Determinación de los tamaños de partículas de suelo INV E – 101 – 13," 2012.
- [29] INVIAS, "Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua- INV E – 128 – 13," 2012.
- [30] INVIAS, "Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos - INV E – 126 – 13," 2012.
- [31] INVIAS, "Determinación del límite líquido de los suelos-INV E – 125 – 13," 2012.

- [32] C. federal de Electricidad, “Sistema de tierra para plantas y subestaciones eléctricas-NRF-011-CFE,” 2004. [https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pea0NRF\\_011\\_Sistema\\_de\\_Tierra\\_Plantas\\_y\\_Subestaciones.pdf](https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pea0NRF_011_Sistema_de_Tierra_Plantas_y_Subestaciones.pdf) (accessed Nov. 15, 2022).
- [33] F. Colmenares *et al.*, “Geología De La Planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 Y 34,” *Proyecto: “Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta”*. Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología y Minería e Ingeominas, 2007. <http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008010018162/documento/pdf/2105181621101000.pdf> (accessed Nov. 15, 2022).
- [34] C. M. Tschanz, R. F. Marvin, and B. Cruz, “Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)-Informe 1829,” INGEOMINAS, Bogotá, 1969.
- [35] A. H. Munsell, “Munsell soil color book 2009 year revised. 2015 production,” *Prod. by Munsell Color X-Rite, Gd. Rapids, Mi, USA*, 2009.
- [36] INVIAS, “Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro-deval - INVE – 238 – 13,” 2012.
- [37] INVIAS, “Afirmado - Artículo 311 – 13,” in *Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½”)* por medio de la máquina de los ángeles, 2012, pp. 19–149.