

Estudio sedimentológico en la cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo, municipio de San Alberto, departamento del Cesar (Colombia)

Sedimentological study in the basin of the San Alberto del Espiritu Santo River, municipality of San Alberto, department of Cesar (Colombia)

Dino Carmelo Manco Jaraba¹, Antonio Rudas Muñoz², Elías Ernesto Rojas Martínez³

¹M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Dirección de Investigación, Universidad de La Guajira.

²M. Sc. Desarrollo sostenible y medio ambiente, Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR).

³ Geólogo, Esp. Minería a Cielo Abierto, Fundación Universitaria del Área Andina, Grupo de Investigación en Ingeniería Geológica. Valledupar. Colombia.
Email: dinomancojaraba@gmail.com o dcmancoj@uniguajira.edu.co

Cite this article as: D. C. Manco Jaraba, A. Rudas Muñoz, E. E. Rojas Martínez "Estudio sedimentológico en la cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo, municipio de San Alberto, departamento del Cesar (Colombia)", *Prospectiva*, Vol 18, N° 1, 46-52, 2020.

Recibido: 06/11/2019 / Aceptado: 13/02/2020

<https://doi.org/10.15665/rp.v18i1.2191>

RESUMEN

En el Río San Alberto del Espíritu Santo localizado en el municipio de San Alberto, departamento del Cesar, con una extensión de 26.110 hectáreas, se efectuaron estudios granulométricos, de humedad y estimación de volumen de sedimentos aportados por la cuenca mediante el modelo EROSUP-U. El objetivo de la investigación es cuantificar el aporte sedimentológico del Río San Alberto del Espíritu Santo y clasificar los tipos de suelo con base a las normas AASTHO y USC. La metodología se fundamentó en la recolección de 84 muestras, cada 10 m y 15 m, siguiendo el proceder metodológico del Ministerio de Energía y Minas (Perú). La estimación volumétrica, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS), establece que el aporte sedimentológico del río es de 44.226,36 m³/año; el suelo se clasificó en seis (6) grupos (A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-3 y A-4), el más representativo es el A-1-a con un 51,19% de las muestras analizadas.

En conclusión, el Río San Alberto del Espíritu Santo cuenta con una amplia variabilidad granulométrica de sedimentos, siendo de mayor proporción gravas, arenas gruesas y arenas finas, con o sin material fino bien graduado.

Palabras clave: Clasificación de suelos, Granulometría, Río San Alberto del Espíritu Santo, Sedimentología, Sedimentos.

ABSTRACT

In the San Alberto del Espiritu Santo River located in the municipality of San Alberto, department of Cesar, with an area of 26,110 hectares, where granulometric studies, humidity and sediment volume estimation contributed by the basin were carried out using the EROSUP-U model. The objective of the research is to quantify the sedimentological contribution of the of the San Alberto del Espiritu Santo River and classify the soil types based on the AASTHO and USC standards. The methodology was based on the collection of 84 samples, every 10 m and 15 m, following the methodological procedure of the Ministry of Energy and Mines (Perú). The volumetric estimation, applying the universal equation of soil loss (EUPS), establishes that the sedimentological contribution of the river is 44,226.36 m³ / year; the soil was classified into six (6) groups (A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-3 and A-4), the most representative is A -1-a with 51.19% of the samples analyzed.

In conclusion, the San Alberto del Espiritu Santo River has a wide granulometric variability of sediments, gravels, coarse sands and fine sands being of greater proportion, with or without fine graduated fine material.

Keywords: Classification of soils, Granulometry, San Alberto del Espiritu Santo River, Sedimentology, Sediments.

1. INTRODUCCIÓN

El Río San Alberto del Espíritu Santo, se encuentra circunscrito en una zonas estratégica y codiciada por el potencial sedimentológico que genera, por más de 20 años han existidos conflictos socio económicos debido a la actividad minera artesanal que se han realizado en diferentes tramos de su cauce, incidiendo en el transporte y sedimentación de material hacia la llanura aluvial, generándose cambios en su régimen hidrológico [1], [2]. La actividad de extracción de sedimentos, así como el aprovechamiento del recurso hídrico superficial se ha llevado a cabo sin establecerse la naturaleza del régimen hidrosedimentológico, desencadenando un deterioro progresivo en el lecho del río [1], [2].

En el presente artículo, se consignan los resultados del análisis sedimentológico efectuado en la cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo con base en el modelo EROSUP-U, para la estimación del aporte sedimentológico; 84 muestras de sedimentos fueron recolectadas en dos tramos a lo largo del cauce del río, siendo el primer tramo de 480 m con 36 muestras y el segundo tramo de 460 m con 48 muestras, con el objeto de realizar una clasificación de los sedimentos basados en las normas AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y USC (Sistema de clasificación Unificada), mediante la realización estudios granulométricos [1], [2].

1.1 Marco Geológico

En el Río San Alberto del Espíritu Santo afloran rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas y sedimentos, con edades que van del Precámbrico al Cuaternario. Estructuralmente la zona se encuentra controlada por las fallas La Tigra, Lebrija y Bucaramanga.

Estratigráficamente en la cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo, se manifiestan las siguientes unidades litológicas: (Figura 1).

1.1.1 Gneis de Bucaramanga (pDb)

Hacia el NE del Río San Alberto del Espíritu Santo, aflora la Unidad Neis de Bucaramanga (pDb), constituida por neises cuarzo feldespático, biotíticos y hornbléndicos, migmatitas, esquistos, mármol, anfíbolitas, cuarcita y esporádicamente granulitas. El nombre de Gneis de Bucaramanga [3], [4], fue asignado a un conjunto de rocas metamórficas que afloran al oriente de la ciudad de Bucaramanga, se le asigna una edad precámbrica 940 +/- 5 m.a., por dataciones radiométricas de K/Ar en hornblenda [3], [5].

1.1.2 Ortoneis (pDo)

Esta unidad aflora en el área como un cuerpo alargado, en los sectores nororiental y suroriental, (Quebrada Vijagual, Veredas las Nieblas y Palmichal), siendo cortada en su parte más

septentrional por rocas intrusivas (cuarzomonzonitas), en el área del Río de San Alberto del Espíritu Santo su continuidad es interrumpida por sedimentos aluviales. Está conformada por gneises cuarzo – feldespáticos con biotita y en menor proporción moscovita, con blastos que varían de grueso a muy grueso, niveles metasedimentarios de paragneis y esquistos. La unidad proviene de rocas graníticas y tonalíticas sometidas a metamorfismo regional de grado medio alto. [4], considera al ortogneis de edad Devónico inferior al Ordovícico.

1.1.3 Cuarzomonzonita (Jc), Tonalita (Trt)

Hacia el sector norte y suroriental del río, aflora en cuerpo ígneo intrusivo denominada como Batolito de Río Negro en el sector suroriental [4], mientras que, al norte es conocido como Batolito de Ocaña; compuesto principalmente por cuarzomonzonita con variaciones locales de granodiorita y esporádicamente tonalita. Según [4], con base en determinaciones radiométricas (K/Ar) en muestras colectadas en el Batolito de Río Negro, que dieron edades de 172 +/- 6 m.a. y 177 +/- 6 m.a., le ha asignado edad Jurásica a toda la unidad.

1.1.4 Formación Bocas (Jb)

Aflorando en el sector noroccidental, en contacto fallado a través de la falla Lebrija con la Formación La Luna, se encuentra la Formación Bocas, inicialmente denominada como “Series Bocas” [6], y posteriormente redefinida como Formación Bocas [4]. conformada por limolitas gris verdosas a pardas, arcillosas ligeramente calcáreas, con delgadas intercalaciones de areniscas grises verdosas, masivas, de tamaño de grano arena fina, y con escasas intercalaciones de conglomerado gris a gris verdoso, compacto, con guijos de calizas gris, lutitas grises negras y cuarzo, es una matriz arenosa carbonatada. [7], le asigna una edad Jurásica con base en presencia de phlebopteris brannei (White) Gothan asociado con microflora del genero *classopalli*.

1.1.5 Formación Jordán (Jj)

Constituida por areniscas gris verdosas, de grano grueso a ligeramente conglomeráticas, con estratificación cruzada; presenta niveles de arcillolitas gris verdosas con intercalaciones de limolitas, color marrón rojizo a rojo grisáceo y areniscas de grano fino en capas medianas. Descrita en 1968 por [8], con base en dataciones radiométricas realizadas en los cantos de facies graníticas del Granito de Pescadero, encontrados en su litología, las cuales arrojaron una edad de 196 +/- m.a., situándola en el límite del Jurásico – Triásico [4].

1.1.6 Formación La Luna (Ksl)

Constituye una sucesión de calizas y lodolitas carbonatadas, negras, fosilíferas con concreciones carbonatadas, aflorantes en la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela) [9],[10]; su descripción fue ampliada y establecida formalmente por [10], [11]; la adopción de este término traído des-

de Venezuela fue decidida para subrayar la notable extensión regional de la unidad [12], [13].

Posteriormente [14] y [15] introducen el término en Colombia en las estribaciones orientales de la Serranía de Perijá, donde se compone de calizas carbonáceas y bituminosas, gris oscuras a negra, arenisca carbonatada gris oscuro de granos tamaño arena fina y lodolitas carbonatadas negras, fosilíferas con concreciones carbonatadas. Hacia el tope de la Formación predominan cherts y hacia la base calizas y shales con concreciones. Este nombre también ha sido utilizado en la nomenclatura estratigráfica del Valle Medio del Magdalena donde la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo [11].

1.1.7 Formación Mugrosa (Tomi)

Nombre introducido por [12], a una secuencia constituida de base a techo por areniscas gris verdosas, de tamaño de granos arena fina a media, con intercalaciones de lodolitas grises a azulosas y algunas capas de areniscas conglomeráticas. La parte media consta de shales moteados con algunas intercalaciones de arenisca. Hacia la parte superior lodolitas moteadas, fosilíferas. Su edad es considerada del Eoceno superior-Oligoceno inferior.

1.1.8 Formación Colorado (Toc)

Descrita inicialmente por [12], consiste predominantemente en su parte inferior de arcillolitas pardo rojizas, con intercalaciones de areniscas, de granos arena gruesa a conglomeráticas, en capas de espesor variable. La parte superior se compone de arcillolitas gris oscuras a negras, carbonosas, fosilíferas, con intercalaciones de arenisca, de tamaño de granos arena media, en capas delgadas. Se le ha asignado una entre el Oligoceno superior al Mioceno inferior.

1.1.9 Grupo Real (Tmri, Tmrm)

Descrito por [16], [17], y su sección tipo se ubica en el sitio Bandera Real, cerca del Río Opón, donde fue subdividido en cinco Formaciones que de base a techo son: Formación Lluvia, compuesta por conglomerados polimícticos; Formación Chontorales, areniscas conglomeráticas y arcillolitas; Formación Hiel, arcillolitas grises y gris rojizas con areniscas; Formación Enrejado, consistente en arcillolitas con alternancia de areniscas, y Formación Bagre, areniscas conglomeráticas. El ambiente de depósito de estos sedimentos es interpretado como fluvial. La edad es considerada del Mioceno medio al Plioceno.

1.1.10 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se ubican en la parte plana y semiplana del río, incluyen llanuras aluviales, terrazas aluviales y aluviones recientes (Figura 2). Las terrazas aluviales (Qta) tienen dos niveles, de base a techo se constituyen por un nivel gravo arenoso (Nga), constituido por una matriz areno-

sa con tonalidades grisáceas oscuro, con clastos de disímiles tamaños que oscilan desde bloques hasta gravas de diversa composición petrográfica (cuarzomonzonitas, riolitas, ortogneis, gabros, basaltos, cuarcitas, anfíbolitas, filitas, gneises, brechas volcánicas, aglomerados, esquistos). Un segundo nivel areno limo arcilloso (Nal), moscovítico, cuarzoso, constituido por partículas tamaño arena media a fina de color gris oscuro a verdoso y gravo arenoso (Ngra) de color de color gris claro conformado por una matriz tamaño arena gruesa a media, con clastos de tamaño que oscilan entre los 2 cm a 60 cm de diámetros de diversas composiciones petrográficas, con imbricación en sentido de la corriente SE (Figura 3).

Los depósitos aluviales recientes y de llanura de inundación (Qllal), constituidos por material areno limo arcilloso de coloración gris claro a negro; cuarzo moscovítico de tamaño arena media a fina, con clastos de composición petrográfica diversa (cuarzomonzonitas, tonalitas, riolitas, basaltos, filitas, esquistos anfíbolitas, gabros, ortogneis, aglomerados y brechas volcánicas), de forma redondeadas, subredondeadas, a subangulares, con tamaños que oscilan desde los 2 cm hasta los 30 cm de diámetros (Bloque, cantos guijos, guijarros, gravas). En otros sectores está constituido por material areno limoso arcilloso de color marrón claro a gris claro, conformados por grano tamaño arena fina, dentro de una matriz limo arcillosa (Figura 4).

2. METODOLOGÍA

Para la ejecución de la investigación, se realizó un estudio prospectivo, con metodología observacional, identificando unidades geológicas y zonas de depósitos aluviales, clasificando los sedimentos según su textura, color, porosidad y consistencia [18].

El método para la recolección de muestras fue aleatorio, tomándose en total 84 muestras cada 10 m y 15 m a lo largo del cauce del Río San Alberto del Espíritu Santo, siguiendo la técnica propuesta por el Ministerio de Energía y Minas [19]. Las muestras se tomaron en los tramos rectos del río, se seleccionaron 4 puntos por sección representativos del material, luego de seleccionado el sitio se extrajo material subyacente. Las muestras se guardaron en bolsas para preservación de la humedad, y se rotularon respectivamente. Con el resultado de los análisis granulométricos y de humedad, se clasificaron los sedimentos según la norma AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Figura 5).

Para determinar el aporte sedimentológico del Río San Alberto del Espíritu Santo, se siguió el modelo EROSUP-U [20, 21], basado en la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS), apropiada para estimar la erosión superficial media anual [22, 23]. El estudio se realizó en 9 microcuencas a lo largo del año, para obtener información de manera muy detallada, sobre el comportamiento de la taza de aporte,

al final se sumaron los valores de cada microcuenca obteniéndose el resultado general de la cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis granulométrico de sedimentos en el Río San Alberto del Espíritu Santo

Se clasificaron las 84 muestras de suelo, especificando el porcentaje en que están distribuidas las partículas según su tamaño de grano, el porcentaje de humedad natural de cada una, definiendo el grupo al que pertenecen dentro de los sistemas de clasificación de suelo AASTHO y Unificado (Tabla 1) (Figura 5).

Seguidamente se caracterizaron las muestras con base a los dos sistemas de clasificación (AASTHO y U.S.C.S.) rotulando numéricamente cada uno de los grupos (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1. Resultados de ensayo del laboratorio de muestras de suelo del Río San Alberto del Espíritu Santo.
Table 1. Test results of the soil samples laboratory of the San Alberto del Espíritu Santo River.

Puntos de ensayo	Distribución tamaño de partículas			Humedad Natural	Clasificación Material	
	Grava	% Arena	% de Fino		AASTHO	USC
P. 1	2.1	90.2	7.7	19.4	2	7
P. 2	52.9	46.4	0.7	8.6	1	8
P. 3	44.6	35.1	20.3	8.3	4	9
P. 4	51	47.9	1.1	11.7	1	8
P. 5	18.7	74	7.3	14.6	2	7
P. 6	61.5	33.6	4.9	20.5	1	8
P. 7	33.1	64.8	2.1	13.7	2	10
P. 8	57.5	42.2	0.3	11.2	1	8
P. 9	19.5	71.6	8.9	18.8	2	7
P. 10	12.1	79.8	8.1	17.3	2	7
P. 11	42.2	56.4	1.4	9.3	1	10
P. 12	65.2	34.5	0.3	16.7	1	8
P. 13	27.8	36.6	35.6	11.9	6	11
P. 14	64.3	35.6	0.1	21.4	1	8
P. 15	39.8	60.1	0.1	5.4	1	10
P. 16	48.9	50.7	0.4	5.6	1	10
P. 17	0	88.1	11.9	16.9	2	7
P. 18	32.1	67.9	0	6.4	1	10
P. 19	13.8	83.5	2.7	15.9	2	10
P. 20	24.4	72.1	3.5	7.3	1	10
P. 21	38.2	52.9	8.9	13.2	1	7
P. 22	22.6	75.6	1.8	3.2	1	10
P. 23	1.4	95.5	3.1	13.3	2	10
P. 24	27.9	71.8	0.3	9.5	2	10
P. 25	4.9	93.5	1.6	10.2	2	10
P. 26	9.2	90.1	0.7	6.2	2	10
P. 27	63.7	34.1	2.2	22.2	1	8
P. 28	85.1	14	0.9	9.7	1	8
P. 29	69.8	24.5	5.7	10.2	1	12
P. 30	74.4	25.5	0.1	3.1	1	8
P. 31	41.3	58.1	0.6	10.9	1	10
P. 32	8.7	74.9	16.4	19.9	2	11
P. 33	66.9	32.9	0.2	14.8	1	8
P. 34	8.1	91.6	0.3	9.2	2	10
P. 35	6.4	79.2	14.4	27	2	11
P. 36	50	49.6	0.4*	7.2	1	8
P. 37	42.6	57	0.4	8.6	1	10
P. 38	52.9	45.9	1.2	11.9	1	8
P. 39	45.8	50.1	4.1	21.2	2	10
P. 40	66.3	33.7	0	10.7	1	8
P. 41	2.50	86.30	11.20	22.90	3	7
P. 42	24.20	70.70	5.10	5.60	2	7

continúa...

Puntos de ensayo	Distribución tamaño de partículas			Humedad Natural	Clasificación Material	
	Grava	% Arena	% de Fino		AASTHO	USC
P.43	50,70	48,50	0,80	4,40	1	8
P.44	0,30	83,20	16,50	24,00	3	11
P.45	77,40	22,10	0,50	3,60	1	8
P.46	0	96,8	3,2	6,2	2	10
P.47	65	34,9	0,1	3,7	1	8
P.48	6,9	63,7	29,4	12,8	4	11
P.49	36,3	63	0,7	5,2	2	10
P.50	42,3	56,1	1,6	6,1	1	10
P.51	14,9	73,3	11,8	13,6	2	7
P.52	64,5	34,5	1	6,6	1	8
P.53	39,3	58,8	1,9	6	1	10
P.54	41,9	55,2	2,9	4,8	2	10
P.55	36,55	56,58	6,87	10,7	2	7
P.56	29,2	70,6	0,2	3,4	2	10
P.57	4,47	82,97	12,56	20,5	3	11
P.58	25	73,7	1,3	3,6	2	10
P.59	12,07	87,76	0,17	2,3	2	10
P.60	8,4	86,6	5	11,2	2	10
P.61	51,2	47,7	1,1	4	1	8
P.62	56,1	40,5	3,4	7,2	1	8
P.63	52,7	47,3	0	5,5	1	8
P.64	47,97	50,77	1,26	5,9	1	10
P.65	23,9	74,7	1,4	6,3	2	10
P.66	52,7	45,3	2	7,5	1	8
P.67	55,45	43,96	0,59	10,4	1	8
P.68	60,16	39,77	0,07	6,2	1	8
P.69	11,7	85,8	2,5	3,9	2	10
P.70	85,8	14,1	0,1	5,2	1	8
P.71	57,1	42,9	0	3,3	1	8
P.72	0	91,2	8,8	15,4	5	7
P.73	56,4	41,8	1,8	7,3	1	8
P.74	22,9	74,8	2,3	6,2	2	10
P.75	34,94	61,2	3,86	6,8	2	10
P.76	64,3	35,7	0	3,7	1	8
P.77	53,2	46,7	0,1	4,7	1	8
P.78	23	67,5	9,5	14,4	5	7
P.79	27,1	71,8	1,1	3,8	2	10
P.80	5,6	80,1	14,3	5,6	2	11
P.81	51,5	46,5	2	5,8	1	8
P.82	23,8	70,1	6,1	8,8	2	7
P.83	52,7	44,4	2,9	11,3	1	8
P.84	25,3	63,3	11,4	12,3	2	7

Fuente: Autores. Source: Authors.

Tabla 2. Resultados según clasificación AASTHO.
Table 2. Results according to AASTHO classification

AASTHO						USC					
A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-6	A-3	A-4	SP-SM	GP	GM	SP	SM	GP-GM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

El 51,19% de las muestras analizadas (43/84) están incluidas dentro del grupo A-1-a, es decir es un suelo que corresponde a una mezcla mal graduada de gravas, arenas finas y arenas gruesas, con o sin poco material fino bien graduado. El 79,1% de las muestras de este grupo (31/43) presentan un predominio de gravas o fragmentos de rocas, excepto en las muestras #: 11,15, 16,18,20,21,22,31,37,50,53 y 64 donde predomina más arenas.

El 39,29% (33 muestras de 84) se clasifican como un suelo tipo A-1-b, es decir, corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas y finos, constituido principalmente por arenas (tanto finas como gruesas), con contenidos de material fino bien graduado, excepto en algunas muestras que posee una cantidad casi despreciable.

Tres muestras de suelo (equivalente al 3.57% del total de muestras de suelo ensayadas) tuvieron una caracterización A-2-4 (Suelo de material granular que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz N°200, característico por que además de contener arenas gruesas y finas, en gran medida presenta apreciable cantidad de limos (arenas limosas).

Solo dos muestras de material (2.38%), se clasifican como suelo tipo A-2-6, conformado por gravas y arenas con contenidos de limos o arcillas. Pueden comportarse como suelos arcillosos, sin embargo, también pueden no tener plasticidad. El porcentaje de los finos de este tipo de suelo superan el 15%.

El 2.38% de las muestras (2 de 84) presentan una composición granulométrica propia del tipo de suelo A-3, que conforme a los análisis y bajo los parámetros de clasificación según la norma AASTHO, se encuentran constituidos en gran magnitud por arenas finas con una pequeña cantidad de finos, específicamente limos mezclado con mínimas proporciones de gravas.

Por último 1 muestra de suelo que representa el 1.19 %, se incluye dentro del grupo A-4, correspondiente a un material limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 35% o más de material que pasa por el tamiz No. 200.

3.2 Desviación estándar de los sedimentos

El cálculo de la desviación estándar de los sedimentos del Río San Alberto del Espíritu Santo, se realizó a través de la relación logarítmica entre el % pasa y la abertura de los tamices (mm), obteniendo así el valor de D84 y D16, datos necesarios para conocer la uniformidad en la distribución de los diámetros (Tabla 3).

$$\sigma_g = \frac{D84}{D50} = \frac{D50}{D16} = (1)$$

D84 = Diámetro tal que el 84% de la muestra en peso tiene partículas menores que él, lo mismo para D16.

Tabla 3. Promedio % pasa según la abertura de los tamices.
Table 3. Average % passes according to the sieve opening.

N° TAMIZ	ABERTURA TAMIZ(mm)	(% PASA) PROMEDIO
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	95,87
1"	25,4	84,05
3/4"	19,1	80,14
1/2"	12,7	74,92
3/8"	9,52	82,13
N°4	4,76	61,67
N°10	2	50,23
N°40	0,42	19,63
N°200	0,074	4,52

Fuente: Autores. Source: Authors.

Cálculo de D84:

$$D84 = \frac{84,05-80,14}{\log(25,4)-\log(19,1)} = \frac{84,05-84,0}{\log(25,4)-\log(x)} (2)$$

$$D84 = \log(x) = \log(25,4) - \frac{(84,05-84,0)}{(84,05-80,14)} * 4,05(25,4) - \log(19,1) (3)$$

D84 = 25,308 mm

Cálculo de D16:

$$D16 = \frac{19,63-4,52}{\log(0,42)-\log(0,074)} = \frac{19,63-16,0}{\log(0,42)-\log(x)} (4)$$

$$D16 = \log(x) = \log(0,42) - \frac{(19,63-16,0)}{(19,63-4,52)} * (\log(0,42) - \log(0,074)) (5)$$

D16 = 0,277 mm

3.3 Cálculo de σ_g (desviación típica granulométrica promedio)

Con base a estos resultados la distribución es extendida, es decir, existe una amplia variación de diámetros de las partículas sedimentológicas.

$$\sigma_g = \left(\frac{25,308mm}{0,277mm} \right)^{\left(\frac{1}{2} \right)} = 9,56 (6)$$

$$A = 224,2 * R * K * Ls * C * P (7)$$

Dónde:

A: erosión superficial media anual o producción bruta específica de sedimentos [(T/ha) /año];

T: toneladas métricas;

R: factor de erosividad de lluvia-escorrentía;

K: factor de erosionabilidad del suelo;

LS: factor topográfico de longitud y pendiente del terreno;

C: factor de cobertura vegetal;

P: factor de prácticas conservacionistas para control de erosión y 224,2 es un coeficiente de conversión de unidades.

Para evaluar la cobertura vegetal se determinó el tipo y clase de cobertura presente en el área, y se calculó el porcentaje de las microcuencas tomadas para el análisis. El mayor porcentaje es el que determina y permite establecer un patrón para llegar a un estimado razonable. Se tomó igual a 0.07 (constante para pasto).

La Erosividad R puede ser calculada utilizando la expresión [24]:

$$R = 6,866 (8)$$

Dónde:

R: Índice medio de erosividad anual

p: Precipitación media mensual 201,65mm/mes

P: Precipitación media anual 2419,78mm
 R = 75,56

La erodabilidad (K) representa la susceptibilidad del suelo a la acción erosiva, existen rangos estipulados para suelos tipo A el rango de variación de erodabilidad es de 0,16-0,23, suelos tipo B el rango es de 0,13-0,38, suelos tipo C tienen rango entre 0,13-0,18 y los tipos D oscilan entre 0,07-0,12. Para la implementación de la ecuación se pondero el valor para suelos tipo B de 0,20. El factor topográfico Ls se obtiene por medio de la expresión [25, 26]:

$$Ls=0,00984 * L,0,63 * S * 1.18 \quad (9)$$

Donde:

Ls: Factor topográfico.

L: Longitud de pendiente en m. y expresa la distancia entre el punto donde cae la gota de lluvia hasta el punto donde disminuye la pendiente y comienza la deposición, o hasta un curso de agua definido. El valor es 12383 m.

S: Pendiente del terreno en porcentaje, el valor para la cuenca San Alberto es de 3.66%.

Se obtuvo un valor de Ls = 17,23 para toda la cuenca

El factor P es adimensional y contempla la reducción de la erosión superficial debido a las prácticas conservacionistas, el cual se toma como valor de 0,1.

Para evaluar la cobertura vegetal se recurrió a fotografías aéreas tomadas desde un dron, las líneas de vuelo C-2601 (fotos 194-196), C-2641 (fotos 37-38, 74-75), C-2646 (fotos 59-60, 75-76), C-2642-F94-38.8-98 (fotos 140- 154); y visitas a campo, que permitieron establecer un patrón para llegar a un estimado razonable. C se tomó igual a 0.07.

Reemplazando todos los valores en la ecuación universal de pérdida de suelos se obtuvieron los siguientes valores.

$$A = 224.2 * 75,56 * 0,20 * 17,23 * 0.1 * 0.7 \quad (10)$$

$$A = 4086,39995 \text{ ((Ton/Ha)/año)}$$

Es necesario notar que no todo el sedimento producido por erosión superficial ingresa a la red hidrográfica y es transportado por los cursos de agua hasta la sección de control. En general, el sedimento que efectivamente alcanza la sección de control (SY) es menor que la cantidad de sedimento producido por erosión superficial (A). La relación entre estas dos magnitudes se denomina relación de erogación de sedimentos y es menor que la unidad: $SY = SDR * A$

Para calcularlo se utilizó la siguiente fórmula Bañón (1975):

$$DSR= 0,47 * F^{-0,125} \quad (11)$$

$$SDR= 0,47 * \quad (12)$$

$$SY= 0.1930 * 4086,39995 \text{ ((Ton/Ha)/año)} \quad (13)$$

$$SY=788,67519 \text{ ((Ton/Ha)/año)} \quad (14)$$

$$SY=(788,67519 * 10002 * 1233,69) / 10.000 = 97298070 \text{ Ton/año} \quad (15)$$

Para calcular el volumen de sedimentos se toma el valor medio de densidad obtenidos en los ensayos de laboratorio $Q= 2.2 \text{ gr/cm}^3$ o $Q= 2.2 \text{ ton/m}^3$.

$$SY \text{ (m}^3\text{/año)} = 97.298.070 / 2,2 \quad (16)$$

$$SY= 44,226.36 \text{ m}^3\text{/año} \quad (17)$$

La cuenca del Río San Alberto del Espíritu Santo, genera 44.226, 36 m³/año de sedimentos constituido por arenas medias a gruesas.

4. CONCLUSIONES

Con base a los resultados de la desviación estándar se concluye que la distribución es extendida, es decir, que en el Río San Alberto existe una amplia variación de diámetros de las partículas sedimentológicas, con un aporte de sedimentos de 44.226,36 m³/año; encontrándose en mayor proporción gravas, arenas finas y arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado, con predominio de gravas o fragmentos de rocas.

La relación logarítmica entre el % promedio Pasa y la abertura de los respectivos tamices (mm) permitió establecer el valor de D84 y D16, datos necesarios para conocer la uniformidad en la distribución de los diámetros, como dicha distribución es extendida, se concluye que existe una amplia variación de diámetros de las partículas sedimentológicas.

Para la aplicación de EUPS, se considera apropiado las unidades de paisaje, por cuanto ellas condensan información relacionada con las geoformas del relieve, suelos, escorrentía, cobertura y uso del suelo; que, constituyen factores tenidos en cuenta para la formulación de la ecuación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] D. Manco Jaraba, E. Rojas Martínez, A. Rudas Muñoz, and Y. Moscote Daza, "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, p. 19, 2018.
- [2] 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.
- [3] F. Goldsmith, R. F. Marvin, H. H. Mehnert. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U. S. Geological Survey Prof. Paper 750-D, D44-D49., H., 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina), Bol. Geol. INGEOMINAS Bogotá, Vol 23, N° 1, p 1-174, 1971.
- [4] D. Ward, R. Goldsmith, J. Cruz, and R. Restrepo. Geología de los cuadrangulos H-12 ilucaramangay H-13 Pamplona departamento de San-

- tander, Colombia. Boletín Geológico, volumen XXI, No. 1 • 3, Pp: 1-132, 1973.
- [5] D. Ward, R. Goldsmith, J. Cruz, L. Jaramillo, And R. Vargas. Mapa Geológico del Cuadrángulo H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas, Bol. Geol., 21(1-13), 1970.
- [6] P. Dickey. Pre-Cretaceous sediments in Cordillera Oriental of Colombia. Bulletin American Association of Petroleum Geologist, vol. 25, p. 1789-1795, 1 Fig. Tulsa, 1941.
- [7] W. Remy, R. Remy, H. W. Pfefferkorn, W. Volkheimer, and E. Rabe. Neueinstufung der Bocas-Folge (Bucaramanga, Kolumbien) in der unteren Jura anhand einer Phlebopteris-branneri- und Classopollis-Flora: Argumenta Paleobotanica, 4: 55-75, 1975.
- [8] F. Cediél. El Grupo Girón, una malasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Bol. Geol (Bogotá) 16 (1-3):5-96, 1968.
- [9] S. Garner. Suggested nomenclature and correlation of the geological formations of Venezuela. Am. Ist. Mining Metall. Engineers Trans., p.677-684, 1926.
- [10] M. Julivert. Lexique Stratigraphique International, merique latine Colombia (Premiere Parte). Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, p.651, 1968.
- [11] H. D. Hedberg, and L. C. Sass. Synopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela. Servicio Técnico de Geología y Minería, Caracas, Boletín de Geología y Mineralogía (Venezuela) 2-4: 83-84, 1937.
- [12] L. Morales. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In habitat of oil a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa. U.S.A, p. 641-695, 1958.
- [13] A. Jaime, M. Fúquen, C. Leonardo, M. Edwin, P. Alejandro, and P. Andrea. Geología de las planchas 98 - Durania y 99 - Villa del Rosario Norte de Santander – Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), p. 1-119, 2011.
- [14] F. B. Notestein, C. W. Hubman, and J. W. Bowler. Geology of the Barco Concession Colombia. Geol. Soc. Am. Bull., 55:1165-1216. New York, 1944.
- [15] H. Richards. Cretaceous section in Barco area of Northeastern Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (12): 2324-2326, 1968.
- [16] O. Wheeler. Tertiary Stratigraphy of the Middle Magdalena Valley, Proc. Acad. Nat. Science, p 7-30. Philadelphia 87, 1935.
- [17] J. De Porta, C. Cáceres, F. Etayo, R. Hoffstetter, M. Julivert, J. Navas, R. K. Robbins, N. Solé De Porta, B. Taborda, P. Taylor, N. Téllez, and D. Valencia. Lexique Stratigraphique International. Centre National Recherche Scientifique. Volume V. Amerique Latine, fascicule 4b, Colombie, p. 692, 1974.
- [18] Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Guía para la descripción de suelos, 2009.
- [19] Ministerio de Energía y Minas. Guía para el muestreo y análisis de suelo. República del Perú, 2000.
- [20] P. A. Basile. “Modelo Matemático para Pronóstico de Erosión Superficial Media Anual a Escala de Cuenca: EROSUP-U”. Informe técnico interno ICI-0104. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, FCEIA-UNR. 2004.
- [21] P. Basile. “Modelación de la Erosión de Márgenes por Mecanismo de Colapso Masivo Asociado a Falla Plana”. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza. Libro de resúmenes y CD-ROM. ISBN 987-22143-0-1, 2005.
- [22] W. Wischmeier and D. Smith. “Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide for Conservation Planning”. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, p. 537, 1978.
- [23] P. Basile, G. Riccardi, H. Stenta and M. García. “Evaluación de procesos de erosión/sedimentación en el sistema hidrológico del A° ludeña”, Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos – Neuquén, Argentina, ISBN 987-20109-4-3 (CD-ROM) & 987-20109-5-1, 2005.
- [24] F. Lombaf and R. Moldenhaue. “Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)”. Bragantia [online], vol.51, n.2, pp.189-196. ISSN 0006-8705, 1992.
- [25] R. Mattos. “Pequeñas obras hidráulicas”, Uruguay, 1999.
- [26] J. Bertoni, and Y. F. Lombardi Neto. “Conservação do solo”. 4. ed. São Paulo: Icone, Pp. 355, 1999.