

TRANSPORTE Y SEDIMENTACIÓN EN EL DELTA DE
SAN IGNACIO, LAGUNA DE TACARIGUA, ESTADO
MIRANDA, VENEZUELA*

Transportation and sedimentation in the San Ignacio Delta,
Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela

Orlando Cabrera y Luisa Fernández

RESUMEN:

El volumen de sedimentos transportados por la quebrada San Ignacio se estimó con la ecuación de Chacón (1982), requiriendo de la cuantificación de las variables: cobertura vegetal, pendiente promedio de la cuenca y del cauce principal, precipitación máxima para tres horas y cinco años de retorno, la precipitación promedio anual y la lámina de agua escurrida. Estas se analizaron con el empleo de sistemas de información geográfica y programas estadísticos para facilitar la comprensión de las interrelaciones entre el conjunto de datos espacializados. Adicionalmente, se efectuó la comparación de la geometría deltaica que exhibe el delta de San Ignacio en diferentes fuentes aerofotogramétricas y cartográficas, en particular fotografías aéreas de 1961, mapas topográficos de 1987 y ortofotomapas de 1999. La determinación de las relaciones entre la producción de sedimentos en la cuenca de la quebrada San Ignacio y la conformación de las facies sedimentarias de las diferentes partes del delta homónimo resultó en una relación directamente proporcional entre las

* Recibido: 29-10-2007.

Aceptado: 28-01-2008.

texturas de las facies y la intensidad de las lluvias; es decir, las variaciones en el régimen de precipitaciones inciden en la cuantía del gasto sólido transportado hacia el delta y por lo tanto cada episodio de precipitación quedará registrado en los sedimentos. Adicionalmente, se procedió a calcular la tasa de crecimiento (progradación) del delta de San Ignacio mediante la medición de las distancias y superficies de los lóbulos deltáicos en diferentes momentos, esto arrojó una tasa de crecimiento de aproximadamente 5 y 3,5 metros por año para el lóbulo occidental y oriental respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Transporte, sedimentación, delta, laguna, mapa, distribución.

ABSTRACT:

The sediment volume transported by the San Ignacio stream was estimated with the equation by Chacon (1982) requiring the quantification of the variables: plant cover, mean inclination for the basin and for the main river, maximum precipitation for three hours and five years return; mean annual maximum precipitation and the waterbearing stratum. These were analyzed using GIS and statistical programs in order to facilitate the understanding of interrelations of particular special data. Additionally, a comparison of delta geometries shown by the delta of the San Ignacio Stream in different aerophotogrametric and chartographic sources was carried out, particularly in aerial photographs from 1961, topographic maps from 1987 and orthophotomaps from 1999. The determination of the relations between sediment production in the San Ignacio Basin and the conformation of the sedimentary facies of the different parts of its delta showed a directly proportional relation between the texture of the facies and the intensity of rain. That is to say, the variations in precipitation affect the quantity of solid expense transported to the delta and so each precipitation episode will be reflected in the sediments. Additionally, the growth rate (progradation) of the San Ignacio Stream Delta was calculated by means of the measurement of distances and surfaces of the delta lobules at different moments. The result was a growth rate of approximately 5 and 3.5 meters per year for the western and eastern lobule respectively.

KEY WORDS: Transport, sedimentation, deltas, lagoon, maps, distribution.

I. INTRODUCCIÓN

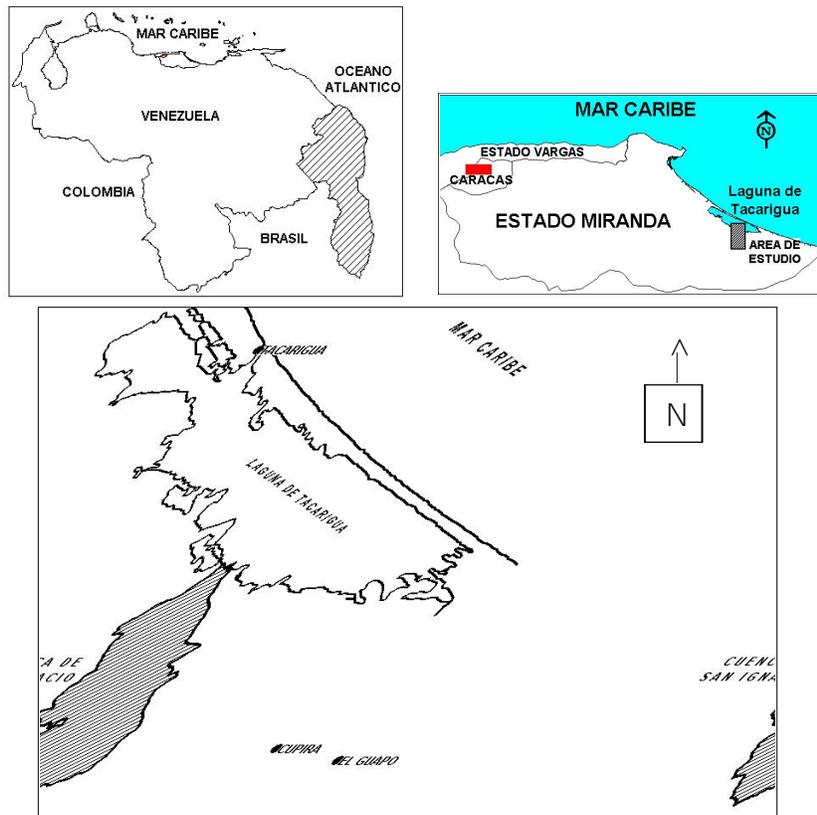
Los procesos sedimentarios conducen a la conformación de facies únicas en cada ambiente depositacional, sin embargo, pocas investigaciones resaltan la vinculación entre las características intrínsecas de los depósitos y los factores ambientales que afectan a la fuente de sedimentos, siendo de interés estos procesos físicos en el presente trabajo. Para analizar las relaciones entre la producción de sedimentos en la cuenca de la quebrada San Ignacio y su repercusión en la conformación de las facies sedimentarias del delta del mismo nombre, es necesario tomar en cuenta numerosos aspectos como el clima, geología de superficie, hidrografía, geomorfología, cobertura vegetal y tipos de suelos predominantes en la cuenca hidrográfica, de manera tal, que al ser interrelacionados se comprenderá el funcionamiento integrado entre la fuente y el ambiente de depósito. Es así que se plantea como objetivo general de esta investigación establecer la correspondencia entre el transporte de sedimentos desde la cuenca de la quebrada San Ignacio estado Miranda, y su expresión sedimentológica en el delta de San Ignacio y como objetivos específicos estimar la producción de sedimentos en la cuenca, mediante la aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG) y en segundo lugar, una vez obtenidos los montos anuales de sedimentos acarreados hasta su nivel de base, identificar las facies que se ajustan a los períodos de máxima y mínima producción de sedimentos dentro del modelo sedimentológico propuesto para el delta.

II. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de la quebrada San Ignacio tiene una superficie de 28,71 Km², se ubica entre el sureste del sector Laguna Grande

de la laguna de Tacarigua y noreste de la Serranía del Interior Central, específicamente entre los $10^{\circ} 13' 41''$ y $10^{\circ} 08' 08''$ de latitud norte y los $65^{\circ} 46' 54''$ y $65^{\circ} 49' 14''$ de longitud oeste (figura 1) en el estado Miranda.

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio



III. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Las nacientes de la quebrada San Ignacio se localizan en el extremo noreste de la Serranía del Interior Central a una altitud promedio de 580 m.s.n.m, específicamente en la vertiente norte de los cerros El Bachiller. Este sector según Campos *et al* (1980), corresponde a la Formación Guárico, compuesto por una secuencia paleocena predominantemente lutácea con ocasionales niveles rítmicos de areniscas y/o limolitas en capas intercaladas con lutitas. En transición progresiva, desde el conjunto de laderas de los cerros El Bachiller hasta la llanura de Barlovento, se localizan las metalavas de Las Hermanas, que según Urbani *et al* (1991), están compuestas predominantemente por metaconglomerados volcánicos gruesos, mal escogidos, contentivos de fragmentos redondeados a subredondeados de lava porfirítica vesicular, rica en plagioclasa y piroxeno de edad cretácico.

Hacia la llanura de Barlovento dominan sedimentos holocénicos que conforman la planicie costera. Estos sedimentos, de origen reciente, consisten básicamente en lentes de arcilla, arenas de granulometría variada desde muy finas a gruesas, gravas, y en algunos casos conglomerados pobremente consolidados y estratificados.

Según Chacartegui y Baldy (1985), la laguna de Tacarigua se formó durante la transgresión marina ocurrida a finales del Holoceno. Chacartegui *et al* (1997a) determinan que el delta de la quebrada San Ignacio se ha desarrollado en aguas lagunares tranquilas y someras del sector Laguna Grande, al sureste de la laguna de Tacarigua, y corresponde con un delta del tipo elongado, dominado por procesos fluviales.

IV. FACIES EN EL DELTA DE SAN IGNACIO

Chacartegui, *et al* (1997a), analizaron y describieron aproximadamente 85 pies de núcleos tomados con el sistema "Vibracore", en el delta del río San Ignacio lo que les permitió definir cuatro facies arenosas (A, A2, A4 y A5) y cuatro facies limo-arcillosas (L, L1, Lt2 y LM) de un conjunto de 15 facies identificadas en un estudio más amplio que abarca la totalidad de la Laguna de Tacarigua. De este modo, se presenta una descripción de cada una de las ocho facies que son de interés para el presente estudio:

Facie A: Arena de grano medio inferior a superior, moderadamente escogida (ocasionalmente bien escogida), asimétrica hacia lo grueso y leptocúrtica; y con fragmentos de madera y/o roca y/o conchas de moluscos. Puede presentar estratificación cruzada a carácter masivo.

Facie A2: Arena de grano fino intermedio a inferior, muy bien escogida (ocasionalmente bien escogida), casi simétrica y leptocúrtica; y con fragmentos de conchas de moluscos comunes. Localmente puede presentar laminación cruzada.

Facie A4: Arena de grano fino inferior a superior, bien escogida a muy bien escogida, asimétrica hacia lo fino y leptocúrtica; y de matriz arcillosa. Puede presentar laminación cruzada y fragmentos de conchas de moluscos y de materia orgánica de color gris oscuro a negro.

Facie A5: Arena de grano fino inferior, bien escogida a moderadamente escogida, casi simétrica y leptocúrtica; y masiva. Puede presentar abundantes restos dispersos de materia orgánica.

Facie L: Arcilla y limo de color gris y/o verde, moteado en bandas y plástico. Contenido escaso de materia orgánica y puede presentar restos de conchas de moluscos.

Facie L1: Limo arenoso-arcillo, muy asimétrico hacia lo fino y leptocúrtico. El contenido de materia orgánica puede llegar a ser muy abundante.

Facie Lt2: Limo arenoso-arcilloso, asimétrico hacia lo fino y muy leptocúrtico. Puede presentar rizaduras marcadas por la presencia de materia orgánica o ser de carácter masivo, así como fragmentos de conchas de moluscos.

Facie LM: Arcilla de color gris oscuro a negra y fétida. Abundante contenido de materia orgánica dispersa y en niveles, presenta restos de conchas de moluscos.

Seg n Chacartegui, *et al* (1997a) los depósitos asociados a este sistema deltáico, incluyen: canales abandonados y activos, planicie de inundación, frente deltáico (incluye barras de desembocadura) y prodelta, los cuales se describen brevemente a continuación:

Depósitos de canales abandonados: se caracterizan por secuencias granodecrecientes con espesores que varían entre 0,3 m (1') y 1,5 m. (5'). Frecuentemente se presentan secuencias de canales apilados que pueden tener hasta 2,44 m (8') de espesor. Dichas secuencias se inician en la base con facies A2, continúan con facies A4 y finalizan en el tope con facies Lt2. Sin embargo, algunas consisten de facies A ó A5 en la base y terminan en el tope con facies L1.

El contacto inferior de estos depósitos es erosivo sobre acumulaciones de frente deltaico, prodelta, laguna, planicie de inundación. El contacto superior es erosivo con otras secuencias de canal o transicional con los de planicie de inundación. Lateralmente, pueden estar en contacto erosivo con los depósitos de frente deltaico, prodelta, laguna o planicie de inundación (cuadro 1).

Depósitos de frente deltaico y prodelta: se caracterizan por secuencias granocrecientes con espesores que varían entre 0,61 m (2') y 2,3 m (7,5'). Estos depósitos se inician en la base con facies L y/o L1, que pasan transicionalmente hacia arriba a facies Lt2 con ocasionales intervalos de facies LM y/o A4 intercaladas. En el tope, en contacto transicional, aparecen facies A2 correspondientes a los depósitos de barra de desembocadura; el contacto inferior de estos depósitos es abrupto con sedimentos arcillosos o negros, fétidos y ricos en materia orgánica de lagunas/estuarios restringidos. El contacto superior es erosivo con secuencias de canales fluviales o transicionales con los sedimentos arcillosos de la planicie de inundación. Lateralmente pueden estar en contacto erosivo con secuencias de canales fluviales o en contacto transicional con sedimentos de la planicie de inundación y/o laguna (cuadro 1).

Depósitos de planicie de inundación: se caracterizan por facies Lt2, con espesores variables entre 0,3 m (1') y 0,91 m (3'). El contacto inferior es transicional sobre depósitos de frente deltaico. El contacto superior está expuesto o es erosivo con secuencias de canales fluviales. Lateralmente pueden estar en contacto transicional con sedimentos del frente deltaico y/o laguna, o en contacto erosivo con secuencias de canales fluviales (cuadro 1).

Cuadro 1. Secuencia de facies en los depósitos del delta de San Ignacio

Depósitos de canales Abandonados		Depósitos del Frente Deltaico	Depósitos de la Planicie de Inundación
Lt2 A4 A2	ó A/A5	L1	A2 Lt2(LM/A4) L/L1
Lt2 A4 A2	ó A/A5	L1	A2 Lt2(LM/A4) L/L1
Lt2 A4 A2	ó A/A5	L1	A2 Lt2(LM/A4) L/L1

METODOLOGÍA EMPLEADA

En primer lugar, se consultaron exhaustivamente los antecedentes de metodologías sobre la estimación de los acarreo sólidos en cuencas sin mediciones de aforo. De igual manera se revisó el material cartográfico (mapas geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, cobertura vegetal y uso de la tierra) de la zona, así como también se obtuvieron las series pluviométricas anuales y la precipitación para 3 horas de la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR. Posteriormente se confeccionaron los mapas temáticos de la cuenca, tal y como se describe a continuación:

Se vectorizó la información topográfica de las cartas a escala 1:25.000, números 7046-III-NE y 7046-IV-SE del IGVSB con la utilización del software Win Topo Profesional y los vectores generados se exportaron en formato shape para su posterior apertura y trabajo en el software MapInfo 7.0, donde se delimitó la cuenca de la quebrada San Ignacio y se calculó su área. Seguidamente, se le incorporó la cota a los vectores previamente digitalizados y

corregidos, para así generar el modelo de elevación del terreno (MET) mediante el empleo del software ILWIS 3.1. Con el MET se determinó la pendiente media tanto de la cuenca como del cauce principal.

El cálculo de la pendiente media, tanto de la cuenca como del cauce principal consistió en la confección de dos mapas de pendiente para el área de estudio, uno expresado en porcentaje (%), y el otro en (m/km), ambos exhiben el valor de pendiente mediante polígonos individuales, cada uno con su respectivo atributo (dato) de pendiente. Ulteriormente, mediante la utilización del software Vertical Mapper, se transformaron los polígonos en puntos (un total de 55.540 puntos) que conservan su dato, y de esta manera se realizó la sumatoria de los valores de pendiente, la cual se dividió entre el total de puntos para obtener la pendiente media de la cuenca y del cauce principal. El coeficiente de masividad (CM) muestra la relación entre el relieve dominante y la altura media de la cuenca. El CM crece, mientras que la altura media del relieve aumenta y la superficie de la cuenca disminuye, e indica alta susceptibilidad a fenómenos de torrencialidad. El CM se determina al dividir la pendiente media de la cuenca entre la superficie de ésta.

Para determinar la variación temporal y espacial de la precipitación se analizaron las series de datos de lluvia registrados en las estaciones climáticas más cercanas a la cuenca de la quebrada San Ignacio. Adicionalmente se determinó la precipitación media anual caída particularmente en la cuenca. Para ello, se trianguló el área tomando como nodos la ubicación de las estaciones meteorológicas según el método de los polígonos de Thiessen. La explicación del procedimiento en su totalidad se explicará detalladamente en los tópicos subsiguientes.

Posterior al análisis de la precipitación se estimó el escurrimiento superficial de la cuenca; para ello se estudiaron las características de suelos del área objeto de estudio, así como la cobertura vegetal de la zona, con lo cual se estimó el Coeficiente de Escurrimiento (CE) del área, y con éste se procedió al cálculo del escurrimiento superficial.

Para determinar el CE fue necesario la digitalización del mapa de geología de la región de San Ignacio (Urbani, 2002), así como también se analizó la cobertura vegetal de la cuenca, que se determinó mediante la interpretación visual de los ortofotomapas de la zona (cartas catastrales a 1:25.000 San Pedro 7046-III-NE y Palmarito 7046-IV-SE ambas del año 1999), con la finalidad de delimitar unidades homogéneas de cobertura vegetal con su correspondiente chequeo de campo. De manera complementaria, se utilizó la información de suelos del informe técnico elaborado para la zona por el Ministerio de Agricultura y Cría, MAC (1963).

Una vez conocida la geología de superficie de la cuenca, los tipos de suelos y la cobertura vegetal del área, se determinó finalmente el CE, que depende de las variables anteriores, específicamente de la textura del suelo y la cobertura vegetal. El procedimiento simplemente consistió en la asignación de valores de CE a cada área zonificada según la tipología de cobertura vegetal y textura de suelos y luego se determinó el valor promedio del CE para toda la cuenca.

El cálculo del coeficiente de escurrimiento (CE) de la cuenca se fundamentó en la consideración de los valores promedios de los CE estimados para las diferentes asociaciones entre tipo de suelo y cobertura vegetal ya descritos (cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de escorrentía según tipo de suelo y cobertura vegetal

Tipo de Suelo	Densidad de la Cobertura Vegetal	Coeficientes de Escorrentía
Arenoso	Sin vegetación	0,50
	Ligera	0,40
	Densa	0,30
Margoso	Sin vegetación	0,60
	Ligera	0,50
	Densa	0,35
Arcilloso	Sin vegetación	0,75
	Ligera	0,60
	Densa	0,50

Fuente: Hernández (1997).

Con el valor del coeficientes de escurrimiento superficial y con los datos pluviométricos registrados en las cinco estaciones cercanas al área; específicamente Tacarigua de la Laguna (1661), Cúpira (1667), Machurucuto (1674) y la estación El Guapo (1682), se procedió al cálculo del escurrimiento medio anual o lámina media anual escurrida (K) en la cuenca mediante la ecuación:

$$K = \text{Precipitación media anual} \times \text{Coeficiente de Escurrimiento (Ce)} \quad (1)$$

Con este valor y con el CE se calculó la lámina de agua escurrida en la cuenca mediante la multiplicación del CE por el valor de precipitación media anual para cada año de estudio. Paralelamente, se estableció el valor de la precipitación máxima para tres horas y cinco años de retorno, mediante la aplicación de las ecuaciones propuestas en la metodología para la definición de regiones, subregiones y áreas naturales, MARNR (1983) (cuadro 6).

Finalmente, y después de calcular cada variable y con el empleo de SIG, se procedió a la estimación del volumen de sedimentos producidos en la cuenca anualmente mediante la aplicación de la ecuación propuesta por Chacón (1982), y se expresa a continuación:

$$S = 1.368 + 0.72 X_1 - 49,6 X_2 + 5119,5 X_3 - 235,4 X_4 - 32,7 X_5 - 306,7 X_6 + 2128,6 X_7 \quad (2)$$

Donde:

S = Producción de sedimentos en 10^3 Ton/año

X_1 = Área de la cuenca (Km^2)

X_2 = Pendiente media del cauce (m/Km.)

X_3 = Pendiente media de la cuenca (%)

X_4 = Coeficiente de masividad $x_3/x_1 * 1000$

X_5 = Precipitación máxima en 3 horas y 5 años Tr (mm.)

X_6 = Lámina media anual escurrida (m)

X_7 = Cobertura vegetal (% de área)

Obtenidos los valores de las variables requeridas en la ecuación (1), se procedió a estimar los volúmenes de sedimentos producidos en la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la aplicación del software MapInfo 7.5 se cuantificaron las variables requeridas para aplicar la ecuación de Chacón (1982), de este procedimiento se obtuvo que el área de la cuenca de la quebrada San Ignacio es de $28,76 \text{ Km}^2$. Mientras que a partir del MET se determinaron las pendientes media, tanto de la

cuenca, como del cauce principal siendo de 0,133% y 8,733 m/km. respectivamente, y el CM resultó ser igual a 0,005.

La variación temporal y espacial de la precipitación se determinó al analizar las series de datos de lluvia registrados en las estaciones climáticas más cercanas a la cuenca (cuadro 3).

Cuadro 3. Estaciones climáticas seleccionadas. Delta de San Ignacio, estado Miranda

Estaciones	Periodo	Serial	Tipo	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)
Tacarigua de la Laguna	1963-1994	1661	PR	10°18'30''	66°52'32''	2
Machurucuto	1963-1994	1674	PR	10°12'28''	65°39'05''	4
Cúpira-Tesoro	1963-1994	1667	PR	10°09'27''	65°42'56''	22
El Guapo	1963-1994	1682	C1	10°09'10''	65°58'11''	20

PR= Estación pluviométrica (registra sólo precipitación)

C1= Estación climatológica de primer orden (registra todos los parámetros meteorológicos)

Fuente: Con base en los datos del M.A.R.N.

Según los datos de la Dirección de Hidrología del M.A.R.N. (2004), la precipitación mensual de las estaciones cercanas a la zona de estudio varía considerablemente desde el punto de vista temporal. En el cuadro 4, se presentan los promedios mensuales y anuales de precipitación registrados en cada una de las estaciones seleccionadas.

Cuadro 4. Promedios mensuales y anuales de precipitación (mm) en la cuenca de la Quebrada San Ignacio. Estado Miranda

ESTACIÓN	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Tacarigua Lag.	42,5	22,6	13,8	33,0	70,3	100,3	99,9	141,7	107,5	147,0	163,3	99,9	1041,7
Machurucuto	32,3	12,4	10,9	18,7	49,6	84,9	77,0	93,8	100,5	114,9	150,1	73,6	818,7
Cúpira	68,6	30,8	24,9	33,3	97,2	126,9	147,4	151,4	129,7	161,3	246,8	152,2	1370,4
El Guapo	129,2	79,4	60,0	91,6	144,8	192,4	296,0	255,4	190,9	199,9	282,2	231,1	2152,9

Fuente: Con base en los datos del M.A.R.N.

El régimen de precipitación en la zona es biestacional con una distribución de las lluvias muy parecida en todas las estaciones seleccionadas, donde el primer período lluvioso se presenta entre los meses de mayo-agosto con un leve descenso en septiembre-octubre, incrementándose las lluvias de noviembre a diciembre, siendo éste el segundo período húmedo; mientras que la temporada seca se extiende de enero hasta abril con valores mínimos en marzo. Las precipitaciones sobre la zona de estudio presentan una estacionalidad bastante marcada. El período seco es de 4 meses, de enero a abril, y a partir de mayo las lluvias comienzan a aumentar de manera gradual, siendo mayo el mes de transición entre el periodo seco y el lluvioso; éste último se extiende de junio a diciembre (siete meses), adicionalmente se determinó la precipitación media anual caída en la cuenca. En la figura 2, se puede observar que la cobertura de la estación Cúpira (1667) abarca un área de influencia del 81,2% de la superficie total de la cuenca de la quebrada San Ignacio; seguidamente, y en orden de cobertura las estaciones Tacarigua de la Laguna (1661) y El Guapo (1682) cubren el 8,7% y el 8,4% de la superficie de la cuenca respectivamente, mientras que el área de cobertura de la estación Machurucuto (1674) es de sólo el 1,69% de la extensión del área de estudio (cuadro 5). La determinación de las áreas de cobertura de cada estación meteorológica se empleó para estimar la cantidad de lluvia efectiva en la cuenca.

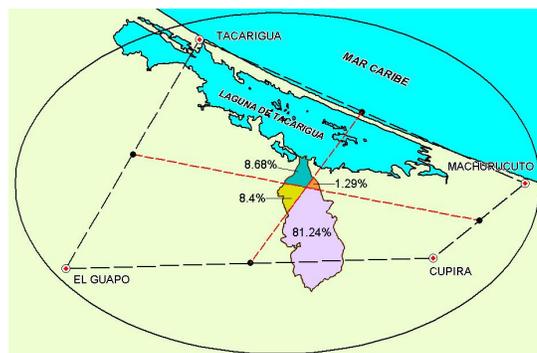


Figura 2. Áreas de influencia de las estaciones meteorológicas de Tacarigua de la Laguna, Machurucuto, Cúpira y El Guapo, según los polígonos de Thiessen.

Cuadro 5. Precipitación en la cuenca por superficie de cubrimiento (%) para cada estación meteorológica según los polígonos de Thiessen

Estaciones	Pp anual	Porcentaje (%) de cubrimiento de cada estación en la cuenca	Proporción de Pp en la cuenca (mm.)
Cúpira	1370,4	81,2	1.113,3
Tacarigua Lag.	1041,7	8,7	90,4
Machurucuto	818,7	8,4	68,7
El Guapo	2152,9	1,7	36,4
Total anual			1.308,9

Al estudiar las características del suelo y su relación con la capacidad de transformación del agua caída en la cuenca en escurrimiento superficial, se empleó el informe técnico del MAC (1963), donde se establece que en el área de estudio son fundamentalmente de texturas pesadas a livianas, y más específicamente se tiene que:

- a) Existe un conjunto de suelos fuertemente gleysados originados por sedimentaciones finas en aguas tranquilas, dando como resultado texturas pesadas (arcillosos). Estos suelos están en los bordes de la laguna de Tacarigua, en las antiguas lagunas colmatadas y en las áreas pantanosas de la planicie aluvial.
- b) Otro conjunto de suelos con características similares a los anteriores son los regosoles, que se han formado por acumulaciones sucesivas de aluviones recientes en la llanura de desborde, conforman una superposición de estratos de texturas variables predominando las texturas pesadas a ligeramente pesadas. Tienen substratos menos

pesados en forma de lentes arenosos que favorecen la ocurrencia de una mesa de agua colgante ubicada subyacentemente al horizonte superficial (A) en profundidades variables, además suele presentarse una mesa de agua permanente a una profundidad de 1,5 metros.

Del análisis de la cobertura vegetal a partir de mediciones hechas sobre la interpretación visual de los ortofotomapas que abarcan la cuenca, se obtuvo que el 73,5% de la superficie total está cubierta por vegetación natural, donde el 71,2% es bosque tropical semidecíduo y 2,3% manglares, mientras que el 26,5% de la superficie restante corresponde a uso agrícola y/o pecuario. La caracterización de la vegetación en el área objeto de estudio facilitó el entendimiento de las interacciones que tiene con el resto de los componentes ambientales, y permite inferir la naturaleza e intensidad de los procesos erosivos que se manifiestan en la cuenca a raíz de la influencia de la precipitación sobre el suelo, más aún al tomar en cuenta que la intensidad de la lluvia en un momento dado (erosividad de la lluvia) propicia la activación de la remoción de la capa superficial del suelo; éste proceso es de significativa importancia en la producción de los sedimentos que serán acarreados posteriormente hacia el nivel de base de la quebrada San Ignacio (laguna de Tacarigua); conformándose así las facies sedimentarias características del ambiente deltaíco.

Con la información de suelos y cobertura vegetal se determinó el coeficiente de escurrimiento de la cuenca considerando sus valores promedios estimados para las diferentes asociaciones entre tipo de suelo y cobertura vegetal ya descritos, donde el resultado de esta operación es un CE de 0,43.

Con el valor del coeficiente de escurrimiento superficial y con los datos pluviométricos registrados en las cinco estaciones cercanas al área, se procedió al cálculo del escurrimiento medio anual o lámina media anual escurrida (K) en la cuenca (cuadro 6) mediante la ecuación 1.

Cuadro 6. Determinación de los valores promedios anuales de precipitación y escurrimiento en la cuenca de la quebrada San Ignacio. Período (1963 –1994). Estado Miranda

Cubrimiento (%) de cada estación meteorológica en la cuenca de la Qda. San Ignacio. Según los Polígonos de Thiessen

Año	Cúpira		Laguna Tacarigua		El Guapo		Machurucuto		Ce	K
	100%	81,24%	100%	8,68%	100%	8,4%	100%	1,69%		
1963	1809,0	1469,6	1558,5	135,3	2447,9	205,6	1203,5	20,3	0,43	66,1
1964	1586,9	1289,2	977,5	84,9	2566,2	215,6	818,7	13,8	0,43	57,9
1965	1439,9	1169,8	1106,6	96,1	2056,0	172,7	908,9	15,4	0,43	52,5
1966	1869,7	1518,9	1567,8	136,1	2394,4	201,1	1294,1	21,8	0,43	67,8
1967	1773,1	1440,5	1546,5	134,2	2312,1	194,2	771,9	13,1	0,43	64,3
1968	1554,2	1262,6	771,6	66,9	2322,6	195,1	745,9	12,6	0,43	55,5
1969	1583,7	1286,6	1722,8	149,5	2307,9	193,9	885,6	14,9	0,43	59,4
1970	1890,6	1535,9	2031,8	176,4	2926,5	245,8	1319	22,3	0,43	71,5
1971	1416,5	1150,8	828,4	71,9	1997,1	167,7	723,4	12,2	0,43	50,7
1972	1104,0	896,9	702,6	60,9	2034,6	170,9	469,9	7,9	0,43	41,1
1973	1292,0	1049,6	1118,9	97,1	2210,2	185,7	707,7	11,9	0,43	48,5
1974	866,3	703,8	802,1	69,6	1788,8	150,3	573,5	9,7	0,43	33,7
1975	1660,8	1349,2	1130,9	98,2	2592,0	217,7	930,4	15,7	0,43	60,7
1976	1056,6	858,4	841,8	73,1	1655,1	139,0	809,9	13,7	0,43	39,2
1977	1229,8	999,1	668,2	58,0	1981,5	166,5	730,3	12,3	0,43	44,6
1978	1056,2	858,1	1095,9	95,1	1700,2	142,8	711,0	12,0	0,43	40,0
1979	1648,6	1339,3	1424,4	123,6	2549,0	214,1	1174,7	19,8	0,43	61,3
1980	1052,7	855,2	794,3	68,9	2004,9	168,4	688,7	11,6	0,43	39,9
1981	1797,1	1459,9	1643,2	142,6	2608,1	219,1	1130,8	19,1	0,43	66,5
1982	844,6	686,2	669,4	58,1	1509,6	126,8	690,6	11,7	0,43	31,9
1983	1307,5	1062,2	760,3	65,9	1288,2	108,2	818,7	13,8	0,43	45,2
1984	1381,4	1122,3	1349,1	117,1	2361,9	198,4	818,7	13,8	0,43	52,4
1985	1311,7	1065,6	1477,9	128,3	3266,0	274,3	818,7	13,8	0,43	53,5
1986	920,8	748,1	1230,8	106,8	1904,1	159,9	818,7	13,8	0,43	37,2
1987	1200,2	975,0	1202,9	104,4	1957,1	164,4	667,2	11,3	0,43	45,3
1988	1558,2	1265,9	1638,3	142,2	2939,6	246,9	1090,7	18,4	0,43	60,4
1989	860,4	698,9	704,5	61,2	1462,7	122,9	615,6	10,4	0,43	32,3
1990	1552,7	1261,4	1071,2	92,9	2712,0	227,8	1049,8	17,7	0,43	57,8
1991	1398,9	1136,5	863,4	74,9	1920,7	161,3	743,0	12,6	0,43	50,1
1992	1492,3	1212,3	549,9	47,7	2063,2	173,3	859,5	14,5	0,43	52,3
1993	1140,4	926,5	647,2	56,2	2041,9	171,5	863,5	14,6	0,43	42,2
1994	1371,1	1113,8	1043,7	90,6	2152,9	180,8	818,7	13,8	0,43	50,5

Ce: Coeficiente de escurrimiento (constante).

K: Lámina media anual escurrida (Ce* suma de la Pp de las estaciones en la cuenca para cada año).

El valor de la precipitación máxima para tres horas y cinco años de retorno se obtuvo mediante el procedimiento que se detalla en el cuadro 7.

Cuadro 7. Procedimiento para calcular la precipitación en 3 horas y 5 años de retorno

N° filas usadas operacionalmente	Operaciones	Estaciones Meteorológicas			
		Tacarigua de la Laguna	Machurucuto	El Guapo	Cúpira
1	Suma de Pp. en 3h (mm)	1997,7	1469	3373	2025
2	N° de datos	31	23	46	33
3	Media Aritmética	64,44	63,87	73,33	61,36
7	Varianza	903,30	1015,59	618,13	389,02
8	Sx	30,0549	31,8600	24,8621	19,7236
9	Gm	1,1159	1,0811	1,1538	1,1226
10	Yn	0,5371	0,5283	0,5468	0,5388
11	Sx/Gm	26,9333	29,4700	21,5480	17,5695
12	Yn*Sx/Gm	14,4659	15,5690	11,7825	9,4665
13	(3)-(12)	49,98	48,30	61,54	51,90
14	(11)*0,3665	9,87	10,80	7,90	6,44
15	(11)*0,24999	6,73	7,37	5,39	4,39
16	(11)*0,22502	6,06	6,63	4,85	3,95
17	(11)*0,31985	8,61	9,43	6,89	5,62
18	(11)*0,39019	10,51	11,50	8,41	6,86
19	(11)*0,46001	12,39	13,56	9,91	8,08
20	X2=(13+14)	59,85	59,10	69,44	58,34
21	X5=(13+15)	56,71	55,67	66,93	56,29
Cobertura por estación (%)		8,68	1,62	8,4	81,24
Pp para 3 h y 5 años de retorno		4,92	0,90	5,62	45,73

Sx: Desviación Típica.

Yn y Gm: son las desviaciones medias y estandar de los extremos reducidos.

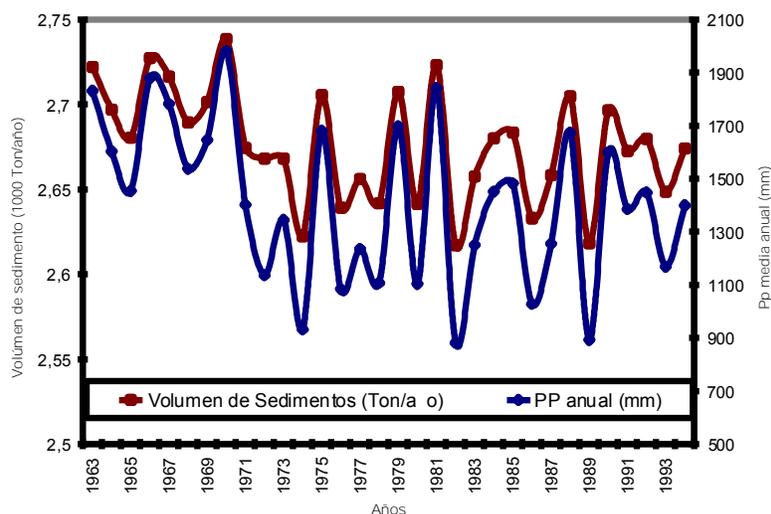
Los números entre paréntesis, corresponden a las filas usadas en las operaciones

X2. Intensidad de la lluvia para tres horas y retorno de 2 años en mm.

X5. Intensidad de la lluvia para tres horas y retorno de 5 años en mm.

Obtenidos los valores de las variables requeridas en la ecuación (1), se procedió a estimar los volúmenes de sedimentos producidos en la cuenca, y los resultados arrojados se muestran en la figura 3.

Figura 3. Valores estimados de los volúmenes de sedimentos y la pp anual en la cuenca de la quebrada San Ignacio. Período (1963-1994). Laguna de Tacarigua, estado Miranda



Cabe destacar que los volúmenes de sedimentos estimados mediante la ecuación propuesta por Chacón (1985), poseen alta incertidumbre, ya que justamente su estimación se fundamenta en la ausencia de información en estaciones de aforo y por lo tanto, sólo se deben considerar como un indicador de correlación entre la precipitación anual y el acarreo de sedimentos.

En la figura 3, se observa el comportamiento de la producción de sedimentos año a año en la cuenca durante el periodo 1963-1994, con una estrecha relación de dependencia entre las oscilaciones

temporales de la precipitación y la cuantía en los volúmenes de sedimentos, lo que significa que el acarreo de partículas desde la fuente es obviamente proporcional a las intensidades de lluvia. Por esta razón, es lógico asumir que las variaciones verticales y transversales en la secuencia de facie en el delta de San Ignacio son una manifestación directa de los cambios periódicos de la precipitación, por lo cual, el desarrollo y la velocidad de crecimiento del delta en cuestión dependerá de la variación de la lluvia y del grado de intervención de la cuenca hidrográfica.

CORRELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y SEDIMENTOLGÍA DELTAICA

Cabe destacar que la variación en la producción de sedimentos en la cuenca cambia insignificamente en la zona, con una desviación estandar de los volúmenes anuales de sedimentos estimados de tan sólo 0,033. Por ello, la correlación entre los tipos de facies y los valores pluviométricos de la cuenca, se debe realizar realmente entre los períodos de máximas y mínimos de precipitación, y para cada una de las partes del delta. De esta manera, y considerando el carácter biestacional de la lluvia en la cuenca, se tienen los máximos en: mayo-agosto y septiembre-octubre, siendo el primer período el de mayor potencia (energía de arrastre), corresponden ambos a la conformación de las facies A y A4, siendo la facie de transición al período seco la A5, que coincide con los meses de noviembre y diciembre, mientras que las inclusiones de las facies L1 y Lt2 se relacionarán con la temporada seca que se extiende desde enero hasta abril, justamente en este período seco se formarán los lentes de las facies L y LM en el mes de marzo, por ser el más seco y por ende el de menor energía, esta correlación entre los tipos de facies y la variación de la precipitación en la cuenca, se da únicamente para los depósitos del frente deltaíco.

En los depósitos de canal abandonados, debido a su complejidad, y por ser de carácter granodecreciente se asume que las facies Lt2 del tope coinciden con la inactividad del canal y por tanto, podrían ser depósitos que se conformaron en cualquiera de las temporadas del régimen de precipitaciones. Mientras que las facies A4 definirán un estado de transición entre la actividad y pasividad del canal, finalmente las facies A2 corresponderán a los antecesores períodos activos del canal.

Los depósitos de la planicie de inundación por ser de facies Lt2 uniformes, que se conforman en la parte alta del sistema sedimentario deltaico, a diferencia de los dos sectores anteriores, corresponden con las temporadas de máximas precipitaciones cuando el espejo de agua de la laguna avanza hacia el continente, y en concordancia con el frenaje biótico que ofrece la vegetación de manglar e inciden en la sedimentación en aguas tranquilas de la fracción limosa areno-arcillosa.

CONCLUSIONES

La relación entre la precipitación y el acarreo de sedimentos en la cuenca de la quebrada San Ignacio es, sin lugar a duda, directamente proporcional, y por lo tanto, cualquier variación entre las intensidades de la lluvia caída en la cuenca de esta quebrada, se traducirá en una alteración en la producción y transporte de sedimentos, lo que a su vez quedará plasmado en la conformación de las facies sedimentarias del delta con sus respectivos marcadores (intercalación de facie arena-arcillosa).

Los litotipos expuestos en la cuenca hidrográfica, (predominantemente clásticos de grano fino), la textura de los suelos (limo-arcillosos) en la planicie de Barlovento, así como la presencia durante gran parte del año de una mesa de agua colgante en la cuenca baja de la quebrada en cuestión, favorecen el escurrimiento superficial, por lo que la lluvia y la cobertura vegetal, resaltan como las variables de mayor

peso en el cálculo de la generación de sedimentos en cuencas hidrográficas parcialmente homogéneas en sus características litológicas, pedológicas, e hidrológicas.

El delta de la quebrada San Ignacio es ciertamente muy constructivo tal y como lo afirman Chacartegui, Delgado y Cortiula en 1997, con tasas de progradación de hasta siete metros lineales de crecimiento de la línea costera anualmente. Sin embargo, la evolución de este sistema deltaíco es anterior a 1985, fecha propuesta por los mismos autores, quedando así demostrado en la evidencia pluviométrica de años anteriores.

Es notable la correspondencia entre el tipo de facies y la variación anual de la precipitación. En este sentido el carácter biestacional de la lluvia en la cuenca, definido por un período húmedo entre mayo-agosto y otro de septiembre-octubre, siendo en el primer período (el de mayor potencia, lo que es igual a mayor energía de arrastre) el momento durante el cual se conformarán las facies A y A4, correspondiendo a una de transición al período seco la facies A5 que coincide con los meses de noviembre y diciembre, mientras que las inclusiones de las facies L1 y Lt2 se relacionarán con la temporada seca, que se extiende desde enero hasta abril, y período en que formarán los lentes de las facies L y LM, donde marzo es el mes más seco y de menor energía.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UCV), por el financiamiento otorgado al Proyecto N° 07-14-5476-2004, que hizo posible llevar a término la presente investigación, y fortalece los estudios geomorfológicos en la Escuela de Geografía de la UCV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campos, V.; S. Osuna y V. Vivas (1980). Geología del borde oriental del frente de montañas de la Serranía del Interior, estados Miranda, Guárico y Anzoátegui. *Bol. Geol.*, Caracas, 14(26): 137-196.
- Chacartegui, F. y P. Baldy. (1985). Consideraciones preliminares sobre la sedimentación en la Laguna de Tacarigua. *Boletín de la Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo*. 20:101-143.
- Chacartegui, F. M. Delgado y B Cortiula. (1997a). *Modelo Sedimentológico de un Sistema Deltaico de flujo intermitente en clima tropical húmedo: Delta de la Quebrada San Ignacio, Estado Miranda, Venezuela*. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geología Tomo 1-193-200, noviembre 1997.
- Chacartegui F. M. Delgado y B. Cortiula (1997b). *Laguna de Tacarigua. Complejo sedimentario Isla de Barrera – Laguna Litoral progradante en una costa micromareal dominada por la energía de las olas, Estado Miranda, Venezuela*. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geología. Tomo 1 -175-183, noviembre 1997.
- Chacón M, Fradique (1982). *Estudio para desarrollar una metodología conducente a la evaluación preliminar de los acarrees de sedimentos en cuencas sin mediciones*. MARNR. DGSPOA. IT 119. Caracas.
- Hernández, Aurelio (1997). *Saneamiento y alcantarillado. Vertidos residuales*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1997.
- Ministerio de Agricultura y Cría MAC (1963). *Estudio agrológico tipo reconocimiento zona de Barlovento*. Ministerio de Agricultura y Cría, Dirección de Agricultura, Centro de Investigaciones Agronómicas Sección Suelos. Maracay, 95 p.

- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables MARNR (1983). *Metodología para la definición de regiones, sub-regiones y áreas naturales. Indicadores, instructivos y formatos. Sistemas Ambientales Venezolanos. Proyecto VEN/79/001.* 146 p.
- Urbani, Chirinos y Marquina (1991). Geología del área de Guatopo - El Guapo, estados Miranda y Guárico. *Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas*, 6(1): 5-52.
- Urbani, F., (2002). *Cartografía geológica de la cordillera de la costa a escala 1:25.000, Mapa geológico Región de San Ignacio, Hoja 7046-VI-SE 7046.* UCV. Escuela de Geología Minas y Geofísica.

Orlando Cabrera. Licenciado en Geografía-UCV (2000). Master en Geología-UCV (2006). Profesor Instructor a Tiempo Completo en Geomorfología en la Escuela de Geografía de la Facultad de Humanidades-UCV. Miembro actual de la Maestría en Análisis Espacial y Gestión FHE-UCV. Correo electrónico: cabrera.orlando@gmail.com.

Luisa Fernández De Andrade. Profesora Agregado. Doctor en Ciencia del Suelo, UCV, 2001. Magíster en Ciencia del Suelo, UCV, 1994. Licenciada en Geografía, UCV, 1988. Directora de la Escuela de Geografía de la Facultad de Humanidades. Miembro actual de la Maestría en Análisis Espacial y Gestión FHE-UCV. Profesora en Edafología I y II en la Escuela de Geografía-UCV. Correo electrónico: luisafer@cantv.net.

