



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

TEMA

**COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS DE LAS CUENCAS DEL RÍO
ATACAMES Y SÚA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR

HENRY ADRIAN MONTAÑO VÉLEZ

ASESOR

PhD. JON MOLINERO ORTIZ

Esmeraldas-Marzo, 2018

HOJA DE DISERTACIÓN

Disertación aprobada luego de dar el cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de la PUCESE previo a la obtención de título de INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Director de disertación

Lector 1

Lector 2

Directora de Escuela

Director de Tesis

Esmeraldas-Marzo del 2018

AUTORÍA

Yo, **MONTAÑO VÉLEZ HENRY ADRIAN** con C.I. 0802950139 declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo es absolutamente original, autentica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.

.....

Henry Adrián Montaña Vélez

C.I. 0802950139

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho amor y cariño a mis padres Violeta Vélez Morrillo y Henry Montaña Winninter quienes supieron guiarme e inspirarme con su ejemplo, dedicación y mucha paciencia. A mi hermana Alhice Montaña Caicedo quien me inspira amor, me motiva a seguir creciendo para convertirme en un buen ejemplo y así ella pueda seguir mis pasos y superar mis logros.

A toda mi familia, que siempre confió en mí y supo apoyarme de distintas formas en las que les fue posible aportar.

A mis amigos, que siempre supieron estar ahí en todo momento con sus consejos y motivación para conseguir mis metas.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres, Violeta Vélez Morrillo y Henry Montaña Winninter por creer en mí y brindarme el apoyo incondicional que con certeza permitió que el camino hacia la culminación de mi carrera como profesional fuera lo menos difícil posible y por siempre impulsarme a ser mejor, seguir creciendo como ser humano y profesional.

A mi asesor, Jon Molineros quien con su profesionalismo y sapiencia supo guiarme en la elaboración de este trabajo.

A Diana Saquisari, quien me apoyó a lo largo de toda mi carrera profesional y a mi gran amiga Arantxa Drouet, por su colaboración en el levantamiento de información para la elaboración de este trabajo.

A todo el cuerpo de docentes que tuve a lo largo de este difícil camino en la PUCESE, quienes supieron transmitir con mucha paciencia y certeza los conocimientos necesarios para completar mi formación como profesional.

Índice

AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
Resumen	1
Abstract	2
Capítulo I.....	3
1. Introducción	3
Capítulo II	7
2. Materiales y Métodos	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Selección y caracterización de las estaciones de muestreo	8
2.3. Trabajo de campo	13
2.4. Análisis estadísticos.....	14
Capítulo III.....	15
3. Resultados	15
3.1. Diámetro de sedimento	15
3.2. Sustratos Inorgánicos.....	17
3.3. Sustratos orgánicos	18
3.4. Pozas.....	20
3.5. Barras de sedimento.....	22
3.6. Factores que controlan la morfología de los ríos Atacames y Súa.....	23
4. Discusión	30
5. Conclusiones	33
6. Recomendaciones	33
7. Referencias Bibliográficas	34
8. Anexos	39

Lista de Figuras

Figura 1 Mapa de estaciones de muestreo en los ríos Atacames y Súa.....	10
Figura 2. Percentiles de los datos granulométricos del lecho de las estaciones de muestreo en los ríos Atacames y Súa.....	16
Figura 3. Composición del lecho fluvial en los ríos Atacames y Súa.	18
Figura 4. Comparación de porcentaje de sustratos orgánicos por estaciones.	19
Figura 5. Densidad de pozas (A, B), promedio de pozas (C, D) y barras de sedimento (E, F) por estación.....	21
Figura 6. Barras de sedimento.....	22
Figura 7. Comparación de características geomorfológicas con el orden de los ríos Atacames • y Súa °.....	25
Figura 8 Comparación de características geomorfológicas con el área de los ríos Atacames • y Súa °.....	26
Figura 9 Comparación de características geomorfológicas con el componente 1 de los ríos Atacames • y Súa °.....	27
Figura 10 Comparación de características geomorfológicas con la pendiente de los ríos Atacames • y Súa °.....	28
Figura 11 Comparación de características geomorfológicas con el orden de los ríos Atacames • y Súa °.....	29
Figura 12 Registro GPS de estación de muestreo.....	39
Figura 13. Medición de secciones.....	40
Figura 14. Medición de sustrato.....	41

Lista de tablas

Tabla 1 Características de las estaciones de los ríos Atacames y Súa	12
Tabla 2. Clasificación de tamaños de sustrato del lecho fluvial escala modificada de Wenworth (1922)	14
Tabla 3. Valores medios de los indicadores geomorfológicos en los ríos Atacames y Súa. Se muestran la comparación entre los dos ríos mediante t de Student (n. s., diferencias no son significativas).	24

Resumen

La geomorfología fluvial se define como la disciplina que se encarga del estudio de los procesos formativos relacionados con la escorrentía superficial y los cauces fluviales (Thorndy Craft, Benito & Gregory, 2008). En este estudio se seleccionaron los ríos Atacames y Súa en los cuales se definieron 10 y 9 estaciones de muestreo representativamente para el estudio. En cada estación se determinó el orden del río, el área de drenaje, la pendiente, la anchura del valle y el porcentaje de bosque utilizando sistemas de información geográfica. En el campo se delimitaron tramos de 200 m donde se caracterizó el sustrato aplicando la escala modificada de Wentworth (1922), se determinó el número de barras de sedimento presentes en el tramo, el número de pozas, su profundidad y longitud, a su vez la caracterización de los sustratos orgánicos se realizó de forma visual registrando la presencia de madera, materia orgánica y macrófitos. Posteriormente se realizó una comparación aplicando t de Student, seleccionando aquellos indicadores que diferían entre los ríos. Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando variables ambientales. No hubo diferencias significativas al comparar las características geomorfológicas con los las variables ambientales, pero se determinó que en ambos ríos existe abundante sedimento fino. La comparación de características geomorfológicas entre ríos si tuvo diferencias significativas debido a la presencia de una represa que influye en la dinámica del cauce en el río Atacames.

Abstract

Fluvial geomorphology is defined as the discipline that is responsible for the study of the formative processes related to surface runoff and fluvial channels (Thorndy Craft, Benito & Gregory, 2008). In this study, the Atacames and Súa rivers were selected, in which 10 and 9 sampling stations were defined representatively for the study. In each station the order of the river, the drainage area, the slope, the width of the valley and the percentage of forest using geographic information systems were determined. In the field 200 m sections were delimited, where the substrate was characterized by the application of the modified scale of Wentworth (1922), the number of sediment bars present in the stretch, the number of pools, its depth and length also were determined. The characterization of the organic substrates was carried out visually registering the presence of wood, organic matter and macrophytes. Subsequently, a comparison was made applying Student's t, selecting those indicators that differed between the rivers. In addition, a principal component analysis (PCA) was performed using environmental variables. There were no significant differences when comparing the geomorphological characteristics with the environmental variables, but it was determined that in both rivers there is abundant fine sediment. The comparison of geomorphological characteristics between rivers did have significant differences due to the presence of a dam that influences the channel dynamics in the Atacames river.

Capítulo I

1. Introducción

La geomorfología se comprende como la disciplina que estudia las formas de la superficie terrestre, sus causas y su evolución en el tiempo (Christofolletti, 1981). Por otro lado, Gutiérrez (2004) define la geomorfología como una disciplina de la tierra que se origina en la geología y se encarga del estudio de la evolución de la corteza terrestre. La geomorfología fluvial se entiende como la disciplina que se encarga del estudio de los procesos formativos relacionados con la escorrentía superficial y los cauces fluviales, que puede evidenciar cambios mediante la combinación de observaciones de campo, estudios experimentales y modelos numéricos (Thorndy Craft, Benito & Gregory, 2008). Otra concepto de la geomorfología fluvial se refiere a esta disciplina como el análisis de la conformación de los entornos en los que tiene influencia un río (Thomas & Goudie, 2008). Dicho de otra forma la geomorfología fluvial es el estudio de la morfología y dinámica de las corrientes de las cuencas (Hogan & Luzi, 2010).

El hábitat es la combinación de factores bióticos y abióticos que podemos encontrar en los lugares geográficos (Pérez Porto & Gardey, 2009). Mientras que microhábitat se define como un pequeño hábitat situado dentro de un ecosistema más grande, como lo sería un tronco en estado de descomposición dentro de un río, con condiciones físicas y químicas que permiten su ocupación por un grupo de

organismos adaptados a la mismas (Houghton, Mifflin & Harcourt, 2010). La capacidad de transportar sedimentos y materia orgánica a la vez permite que se distribuyan a lo largo del cauce diferentes hábitats y microhábitats (Ballarín & Rodríguez, 2013). Los hábitats fluviales determinan las especies que pueden desarrollarse en el río y por lo tanto, la evaluación del hábitat debe de ser integrada en la valoración ecológica de estos cuerpos de agua (Elosegui & Díez, 2009).

Los cauces fluviales se pueden clasificar en tres tipologías principales: rectilíneos, caracterizados por baja sinuosidad y mucha inestabilidad; meandriformes, que presentan una alta sinuosidad con curvas sobre el canal generando velocidades distintas en cada una de las orillas; y por último, anastomosados, que presenta canales múltiples que se vuelven a unir en algún punto. La clasificación de los tramos fluviales en función de la forma y composición del lecho es importante para el estudio de la geomorfología fluvial. En función del lecho podemos distinguir: cascada, con una pendiente pronunciada y con presencia de sedimentos gruesos aportados principalmente por transporte fluvial y deslizamientos; escalonado, que se identifica por una secuencia de escalones formados por acumulaciones de sedimento grueso y pozas con materiales más finos, cuyo aporte de sedimento es fluvial y de ladera como en la tipología anterior; y lecho plano, caracterizado por la ausencia de formas bien definidas en el lecho, aparentando apariencia plana, el aporte de sedimento es fluvial y por desprendimiento lateral desde las orillas ya que poseen

margenes inestables. (Ballarin, Ferrer & Rodriguez Muñoz, 2013; Montgomery & Buffington, 1993)

Los diferentes tipos de cauce son el resultado de los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos que ocurren en los sistemas fluviales (Elliot, 2010). El transporte de sedimentos es una de las funciones principales de un sistema fluvial que consiste en la movilización de material sólido desde las cabeceras hasta la desembocadura. A lo largo de su recorrido, también se suman materiales sólidos que son aporte de las vertientes que se unen al cauce principal. Las acumulaciones de sedimento dentro del cauce se denominan barras de sedimento, las cuales pueden llegar a permanecer por varios años si llegan a ser ocupadas por vegetación. Estas barras tienen un efecto directo sobre la dirección del cauce, incluso pueden llegar a formar islas y dividirlo. Las barras se forman debido a una pequeña obstrucción que disminuye la velocidad del agua, creándose una zona de deposición de sedimento que aumenta el tamaño de la obstrucción inicial (Elliott, 2010).

La composición del lecho de un río depende del efecto de la erosión y el transporte en los ríos. Los sedimentos no se caracterizan según la composición mineral del sustrato sino que la propiedad más importante a estudiar es su tamaño asegura Martín Vide (2002). Por este motivo, se han desarrollado numerosas clasificaciones de los sedimentos fluviales según su diámetro medio, como la escala de Wentworth (1922) que utilizaremos para este estudio.

La morfología de los ecosistemas acuáticos depende de procesos físicos y perturbaciones que pueda tener este sistema (Bisson, Montgomery y Buffington, 2006). Los cambios en el uso del suelo se manifiestan como cambios en la morfología del cauce porque alteran las transferencias de agua y sedimento en el sistema (Romero & López, 1987). Se presentan modificaciones como cambios en la forma del cauce, erosión de las orillas debido a la eliminación de la vegetación ribereña, presencia de pequeñas presas por acumulación de sedimentos producidos por el exceso de erosión y compactación del lecho, entre otras, que ocasionan un fuerte impacto en la biodiversidad y funcionamiento normal del cauce (Elosegui y Díez, 2009). Actualmente García-Chevesich (2010) asegura que las características de las concentraciones de sedimento dependen casi exclusivamente del manejo o uso de la tierra, ya que los lugares en construcción representan un impacto representativo sobre la erosión del terreno debido a la agresividad de las mismas, a esto se suman actividades forestales, raleos, construcción de caminos, actividades agropecuarias. Todas estas actividades mencionadas ocasionan gran cantidad de erosión y sedimentación.

El laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE) ha realizado algunos estudios sobre la ecología fluvial de los cuerpos de agua de la provincia (Ortiz, 2015; Guijarro 2015; Jiménez & Beárez, 2004). Pero el conocimiento ecológico que se tiene sobre los ríos de la provincia es muy limitado y establecer una base de datos de

las condiciones actuales de nuestras cuencas es de vital importancia para gestionar estos sistemas, ya que el crecimiento demográfico de la zona y las actividades productivas ocasionan cambios rápidos en su morfología y funcionamiento. En este trabajo, se estudia la relación entre el uso de suelo y las características geomorfológicas de los ríos Atacames y Súa, ubicados en la provincia de Esmeraldas. La hipótesis de trabajo supone que se observarán diferencias geomorfológicas entre estos dos ríos porque el río Atacames presenta un mayor grado de poblamiento y de usos agropecuarios que el río Súa.

Capítulo II

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El río Atacames es de orden 4, con una longitud de 42,5 km y un área de drenaje de 117,6 km² que mantiene un porcentaje de bosque del 34,8 %. El uso de suelo se concentra mayoritariamente en la actividad agropecuaria que ocupa el 50% de la cuenca, siendo en su mayor parte (47,56% de la cuenca) pasto cultivado. La red hidrográfica tiene como cauce principal al río Atacames siendo sus principales afluentes los esteros Repartidero, El Mono, La Peña, Plaza, Matambe, Tabaque, Del Barrio y Cumba. Una característica singular es la presencia de 2 represas, una a la altura de la cabecera parroquial (La Unión de Atacames) y otra en el Recinto Las Luchas (GAD Parroquial La Unión de Atacames, 2015).

El río Súa es de orden 3, con una longitud de 27,6 km y un área de drenaje de 63,7 km² que mantiene un porcentaje de bosque del 25,8 %. El uso de suelo también se concentra en la actividad agropecuaria que ocupa el 70% de la cuenca. La red hidrográfica de la zona tiene como cauce principal el río Súa y sus principales afluentes los esteros Cacao, Cascajal, Angostura, Portugués, Muchin, Ceón, San Pablo y Chapil (GAD Parroquial de Súa, 2015).

El clima en el área de estudio es tropical mega térmico semi-húmedo con un promedio de 2250 mm/año en la cuenca del río Atacames y de 1500 mm en la cuenca del río Súa, mientras que la temperatura oscila entre 24 y 26°C (Gobierno Autónomo Parroquial de Súa, 2015). Los dos ríos comparten la formación geológica Viche (600-900m) con presencia de lunitas, arenitas y roca sedimentaria (Gobierno Autónomo Parroquial de Súa, 2015). Además, las cabeceras de los ríos Atacames y Súa están dentro de la Reserva Ecológica Mache Chindul (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2005).

2.2. Selección y caracterización de las estaciones de muestreo

Las estaciones de estudio se seleccionaron de tal forma que abarquen zonas representativas y de fácil acceso en cada cuenca. En el río Atacames, se seleccionaron 10 estaciones situadas a intervalos regulares a lo largo del cauce, mientras que en el río Súa, se seleccionaron 9 estaciones debido a su menor longitud (Fig. 1). En cada estación se determinó el orden del río, el área de drenaje, la pendiente y la anchura del valle a partir de los mapas topográficos a escala 1:50000,

el porcentaje de bosque en la cuenca a partir del mapa de usos del suelo de Ecuador (MAE, 2014) y la anchura media a partir de 10 medidas de la sección del río a intervalos regulares.

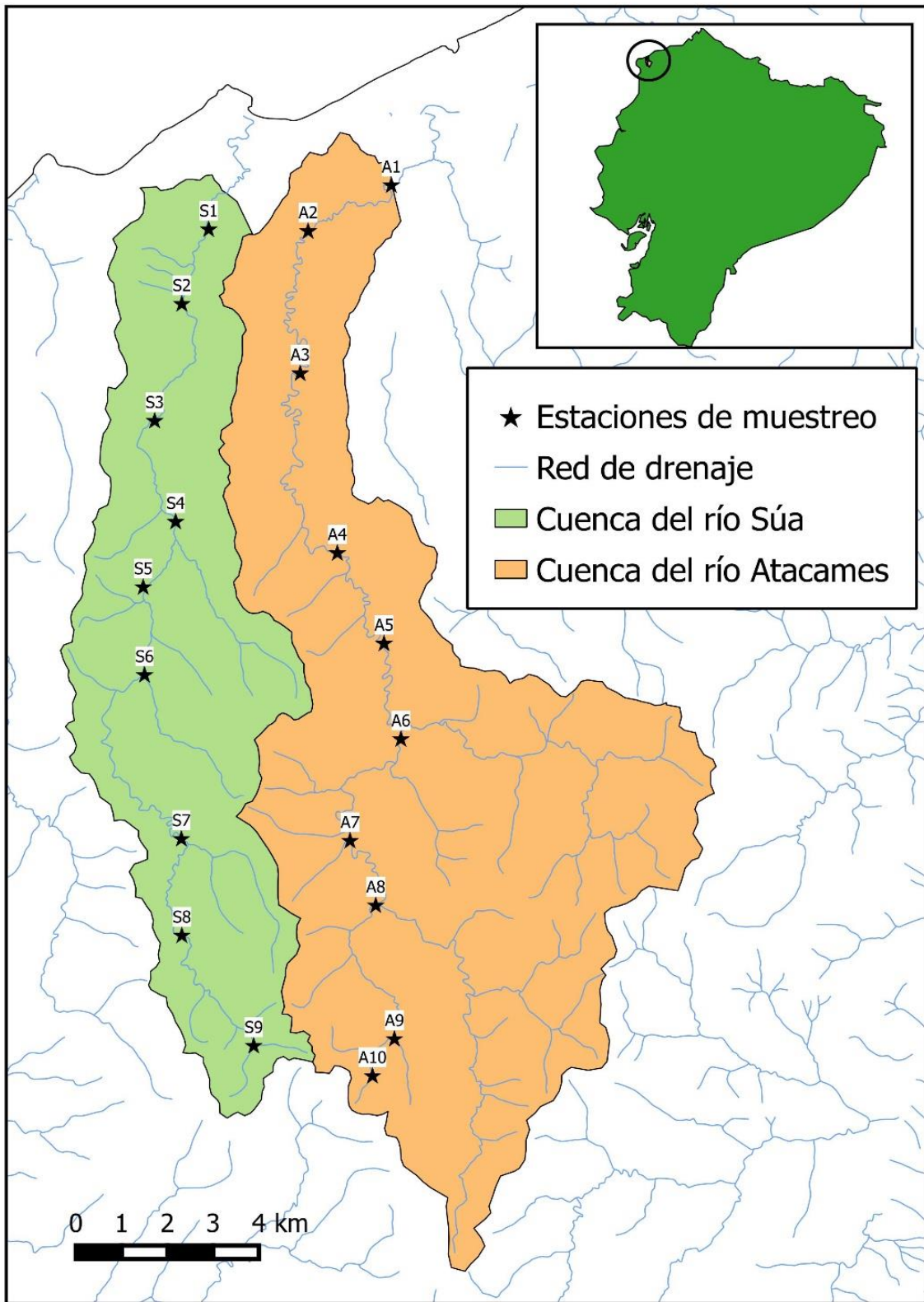


Figura 1 Mapa de estaciones de muestreo en los ríos Atacames y Súa

Todos los análisis espaciales se realizaron con el programa QGIS. Además se estimó la fuerza de la corriente unitaria o FCU (Ω , $W m^{-1}$) cuya fórmula es:

$$\Omega = \frac{\gamma Q S_f}{W}$$

dónde γ es peso unitario del agua en $kg m^3$, Q es la descarga en $m^3 s^{-1}$, S_f = pendiente de energía en $m m^{-1}$ y W es la anchura del cauce en m. Para estimar el caudal medio en cada estación se utilizó un valor de esorrentía de, calculado a partir de los registros de caudal del río Teaone.

Las estaciones en el río Atacames se encontraron en cauces que oscilaron entre orden 1 y 4, con un área de drenaje entre 0,7 y 113 km^2 , en cuanto al porcentaje de bosque el mayor registro se obtuvo en la estación A9 con el 60,9% mientras en las otras estaciones tuvieron valores entre 28,4 % y 48,6 % a su vez la pendiente que osciló entre 0,0009 y 0,0132 $m m^{-1}$, el ancho de valle se registró en 108 m en la estación A10 con una pequeña disminución en la estación siguiente desde la cual fue aumentando hasta llegar a 1398 m en la estación A1, en cuanto a la anchura del río máxima se registró en la estación A5 con 16,3 m mientras que la menor se registró en la estación A10 4,28 m, la FCU se registró su mayor fuera en la estación A1 con 0,00140 $W m^{-1}$. Las estaciones del río Súa están en cauces que oscilaron entre 3 y 2, con un área de drenaje que varió entre 3,5 y 63,7 Km^2 , en cuanto al porcentaje de bosque su mayor registro se obtuvo en la estación S6 con 30,7% mientras que en las

otras se mantuvo entre 22,8 y 28,6% a su vez la pendiente se registró entre 0,0017 y 0,0073 m m⁻¹, el ancho de valle osciló entre 80 y 617 m, el ancho del río registró valores de 4,90 hasta 14,05 m, la FCU mayor fue registrada en la estación S6 con

Tabla 1 Características de las estaciones de los ríos Atacames y Súa

Estación	Orden	A. drenaje (km ²)	Bosque (%)	Pendiente (m m ⁻¹)	Anch. Valle (m)	Anch. Río (m)	FCU (W m ⁻¹)
A1	4	117,6	34,8	0,0009	1398	8,05	0,00140
A2	4	113,0	35,2	0,0009	1286	9,40	0,00115
A3	4	104,8	37,5	0,0009	1011	10,84	0,00093
A4	4	92,4	40,4	0,0009	507	13,46	0,00066
A5	4	84,0	41,0	0,0016	379	16,03	0,00089
A6	3	52,8	40,8	0,0016	443	13,37	0,00067
A7	3	39,9	44,9	0,0016	225	16,90	0,00040
A8	3	36,2	48,6	0,0016	114	15,55	0,00040
A9	2	4,6	60,9	0,0132	101	7,92	0,00082
A10	1	0,7	28,4	0,0237	108	4,28	0,00043
S1	3	63,7	25,8	0,0017	617	7,78	0,00149
S2	3	59,6	22,9	0,0017	250	10,05	0,00108
S3	3	51,8	22,8	0,0017	554	10,43	0,00090
S4	3	45,4	23,9	0,0017	137	8,73	0,00094
S5	3	36,4	27,6	0,0017	80	13,69	0,00048
S6	3	30,8	30,7	0,0110	119	14,05	0,00257
S7	3	16,6	28,5	0,0032	111	10,89	0,00052
S8	2	10,4	28,6	0,0055	191	8,86	0,00069
S9	2	3,5	37,3	0,0073	98	4,90	0,00055

un valor de 0,00257 W m⁻¹.

2.3.Trabajo de campo

En cada estación de muestreo, se delimitaron tramos de estudio de 200 m tomando las coordenadas de inicio y final del tramo con un GPS y se caracterizó el sustrato del lecho en 10 secciones transversales del cauce y realizando una medida cada 0,5 m con el fin de obtener un total de 150 a 200 caracterizaciones por estación. Para caracterizar el sustrato, se recogió una partícula de sedimento en cada punto del transecto y se determinó su radio mayor y radio menor con un calibre. Los sustratos menores de 1 cm o mayores de 25 cm de diámetro se caracterizaron visualmente según la escala modificada de Wentworth (Tabla 2). A partir de estos datos, se calculó el tamaño medio de cada partícula y se construyó la distribución granulométrica de cada estación. La distribución granulométrica se utilizó para calcular el D_{25} , el D_{50} y el D_{75} del lecho, los cuales corresponden a los percentiles 25%, 50% y 75% de los datos granulométricos.

La caracterización de los sustratos orgánicos en campo se realizó de forma visual determinando si hubo madera, materia orgánica y macrófitos, registrando su presencia en cada punto del transecto se obtuvo el porcentaje de sustrato orgánico en cada río.

Tabla 2. Clasificación de tamaños de sustrato del lecho fluvial escala modificada de Wenworth (1922)

Tipo de sustrato	Diametro (mm)	Detalle
Arenas y Limo	0.2<0.006	Tacto aspero , no mancha. Tacto suave, mancha.
Grava	0.2-60	Menor que la uña del pulgar
Cantos	60-250	Entre un puño y la palma
Roca	>250	Mas grande que la palma de la mano
Lecho Rocoso	-	Rocas mayores de 1 m

Adicionalmente, se determinó el número de barras de sedimento presentes en el tramo, el número de pozas, su profundidad media y su longitud utilizando una cinta métrica y una regleta numerada. La estructura de un cauce y sus características geomorfológicas son estables a lo largo del tiempo, excepto si ocurren crecidas considerables (Elosegui y Díez, 2009). Por esta razón, la caracterización geomorfológica se realizó durante la estación seca, entre mayo y diciembre de 2016.

2.4.Análisis estadísticos

Los indicadores geomorfológicos se compararon mediante una t de Student, para identificar aquellos indicadores que diferían entre los dos ríos. Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando todas las variables ambientales de la tabla 1 para identificar aquellas que son más importantes y determinan las diferencias entre las estaciones. Finalmente, se realizaron correlaciones lineales entre los indicadores geomorfológicos y las variables ambientales para identificar los factores que regulan las características geomorfológicas de estos ríos. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R (R Core Team, 2013)

Capítulo III

3. Resultados

3.1. Diámetro de sedimento

El D_{25} del río Atacames fue mayor que el del río Súa (Fig. 2) pero en las cabeceras de ambos ríos, disminuyó aguas abajo donde mostró valores similares en la parte baja (Fig. 2A y 2B). Las diferencias entre los dos ríos en el D_{25} medio no fueron significativas (Tabla 3).

El D_{50} del río Atacames también fue mayor que el del río Súa (Fig. 2C y 2D). El D_{50} del río Atacames osciló entre 53 y 67 mm en la cabecera (estación A10) y en la parte media del río, pero disminuyó a 2 mm de una forma abrupta entre las estaciones 5 y 6 y se mantuvo constante en toda la parte baja del río (Fig. 2C). El

D₅₀ en la cabecera del río Súa (estación S9) alcanzó un valor de 54 mm y disminuyó progresivamente hacia la parte baja del río, donde osciló entre 2 y 10 mm (Fig. 2D).

Las diferencias entre los dos ríos en el D₅₀ medio no fueron significativas (Tabla 3).

Por el contrario, el D₇₅ medio fue menor en el río Atacames que en el río Súa (Fig. 2E y F). En el río Atacames (Fig. 2E), el valor más alto del D₇₅ se observó en la cabecera (estación A10), mientras que en el resto de las estaciones osciló entre 2 y

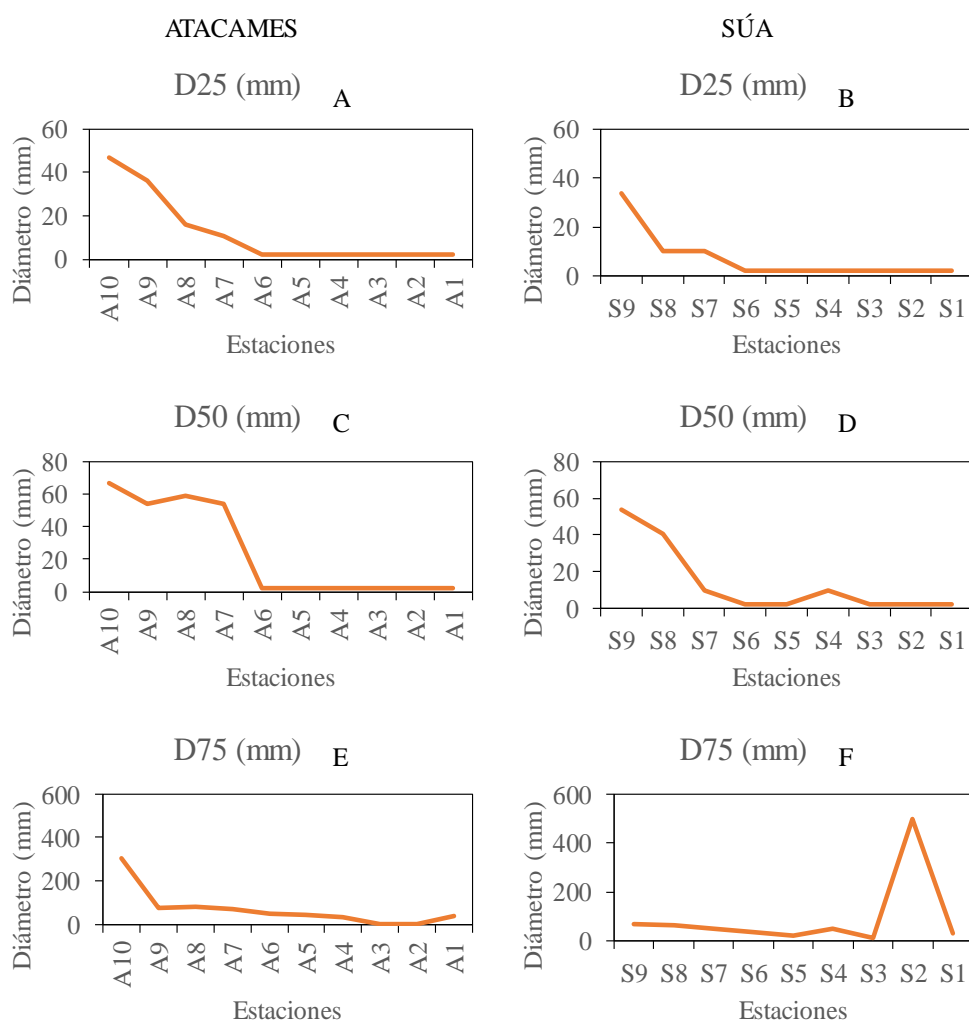


Figura 2. Percentiles de los datos granulométricos del lecho de las estaciones de muestreo en los ríos Atacames y Súa.

76 mm, registrándose los valores más bajos en la parte baja de la cuenca (estaciones A2 y A3). En el río Súa (Fig. 2F), el D_{75} osciló entre 10 y 69 mm en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación S2 dónde se observó un valor de 500 mm. Las diferencias entre los dos ríos en el D_{75} medio no fueron significativas (Tabla 3).

3.2.Sustratos Inorgánicos

En el río Atacames (Fig. 3A), se observó que el porcentaje de lecho rocoso fue muy bajo en todos los puntos, exceptuando la estación A10 que denotó un porcentaje de lecho rocoso mayor al 30%. En el río Súa (Fig. 3B), también se observó claramente el dominio de lecho aluvial en las estaciones, excepto las estaciones S9 y S7 donde el porcentaje de lecho rocoso superó el 10%. Las diferencias en el porcentaje de lecho rocoso entre los dos ríos no fueron significativas (Tabla 3).

Respecto al sedimento aluvial, los sustratos finos, gravas, arenas y limos, registraron un aumento progresivo desde la cabecera hasta la parte baja de la cuenca en ambos ríos (Fig. 3C, 2B). Los sustratos, gruesos rocas y cantos, aparecen en la cabecera de ambos ríos, pero la abundancia de estos sustratos en el río Atacames es algo mayor que en el río Súa (Fig. 3C, 3B). A pesar de estas observaciones, ningún sustrato mostró diferencias significativas en los dos ríos (Tabla 3).



Figura 3. Composición del lecho fluvial en los ríos Atacames y Súa.

3.3.Sustratos orgánicos

En el río Atacames (Fig. 4A), la presencia de madera aumentó entre la estación A9 y la estación A2, con porcentajes que oscilaron entre 0,67% a 13,37%. En el río Súa (Fig. 4B), la presencia de madera no superó el 10% en ninguna estación de muestreo, manteniéndose constante a lo largo del río, excepto en la estación S3 en la

que no se registró la presencia de madera. La media de la presencia de madera entre los dos ríos no es significativa (Tabla 3). El registro de materia orgánica en el río Atacames (Fig. 4A) osciló entre 47,31% y 7,03% fue mayor que en el Súa (Fig. 4B) con tendencia decreciente desde la estación S9 hasta la S3, registró su porcentaje máximo en la estación S1 con 32,92%. Las diferencias en el porcentaje de materia orgánica en el lecho entre los dos ríos fueron significativas (Tabla 3). En el río Atacames (Fig. 4A) el registro de macrófitos no sigue un patrón definido igual que en el Súa donde las estación S4 registra el mayor porcentaje correspondiente a 26,71%. Las diferencias en la presencia de macrófitos no fueron significativas

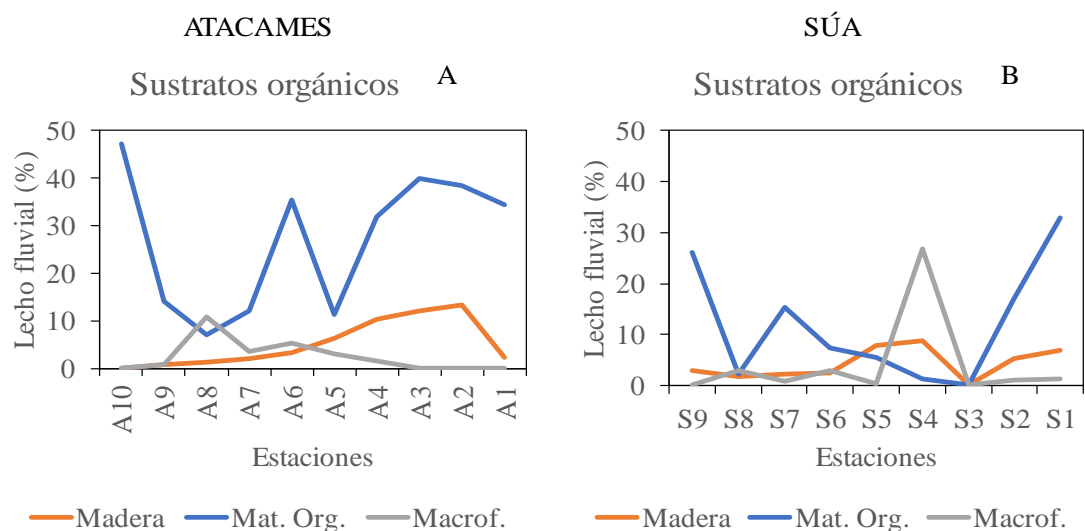


Figura 4. Comparación de porcentaje de sustratos orgánicos por estaciones. (Tabla 3).

3.4.Pozas

La densidad de pozas en el río Atacames (Fig. 5A) cambia de la estación A10 a la A9 luego tiene poca variación en las estaciones restantes, en el río Súa (Fig. 5B) la densidad de pozas disminuye de forma progresiva desde la cabecera hasta la parte baja. La diferencia de la densidad de pozas entre ríos es significativa (Tabla 3). La profundidad máxima registrada en los ríos Atacames (Fig. 5C) y Súa (Fig. 5D) mostraron patrones similares al aumentar de forma progresiva desde la cabecera hasta la parte baja. Las diferencias de la media y máxima profundidad de pozas entre los ríos no son significativas (Tabla 3).

En la relación entre rápidos y pozas (Fig. 5E y 5F) de los ríos Atacames y Súa respectivamente, tenemos que en la cabecera se registró una alta densidad de pozas, pero son pequeñas y ocupan una fracción longitudinal pequeña del cauce del río. En la parte baja, hay una densidad baja de pozas, pero son de mayor longitud y ocupan longitudinalmente la mayor parte del cauce. Las diferencias de densidad de rápidos y pozas entre ríos no son significativas (Tabla 3).

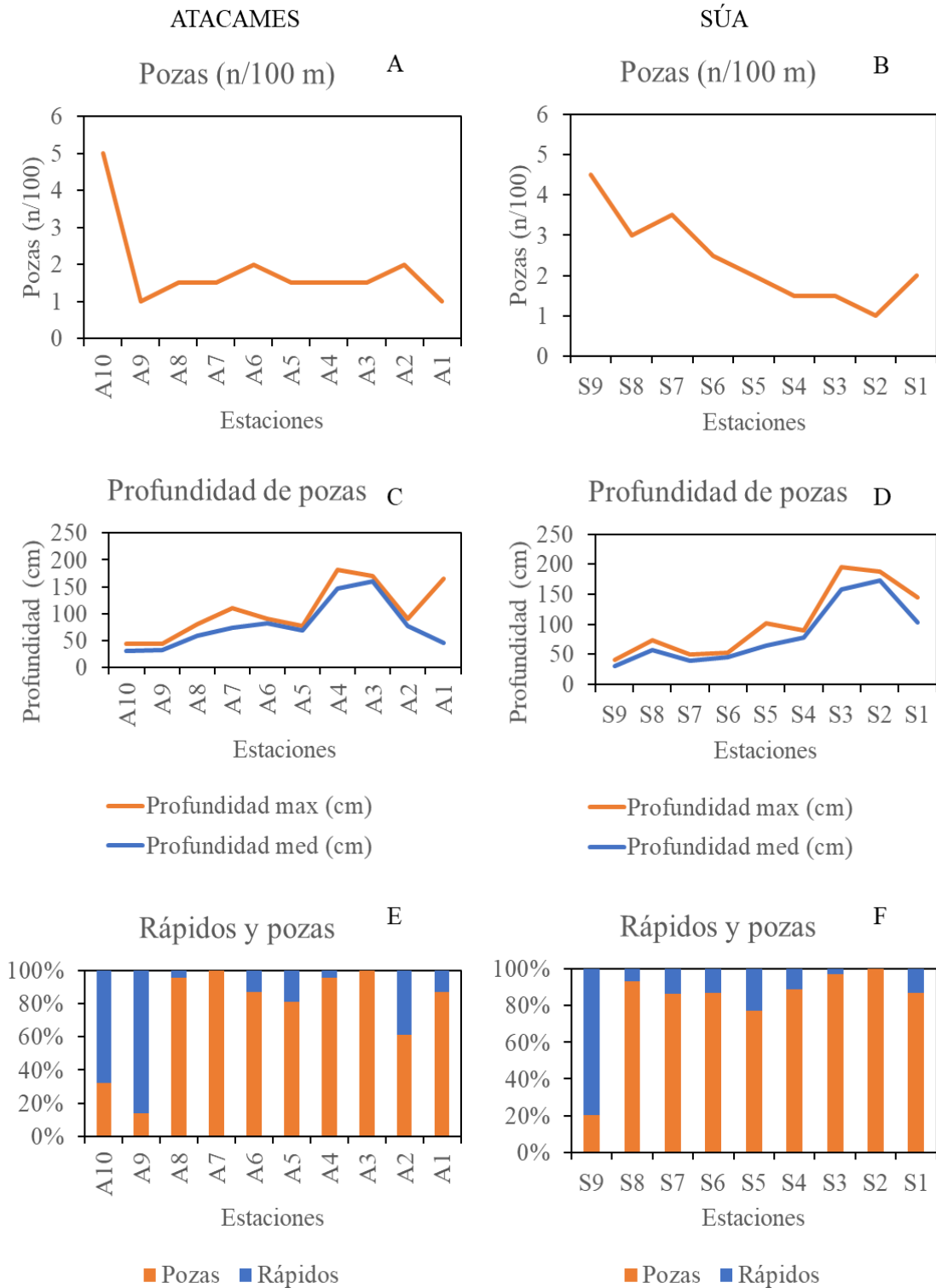


Figura 5. Densidad de pozas (A, B), promedio de pozas (C, D) y barras de sedimento (E, F) por estación.

3.5. Barras de sedimento

La densidad de barras de sedimento en el río Atacames (Fig. 6) osciló entre 1,5 y 2 barras/100 m desde la estación A10 hasta la A4, luego disminuye progresivamente hacia la desembocadura. En el río Súa (Fig. 6B), se registró un mayor número de barras de sedimento, que osciló entre 2,5 y 4 barras/100 m. La excepción fue la estación S2 donde no se registró ninguna barra de sedimento. La diferencia entre los dos ríos en la densidad de barras de

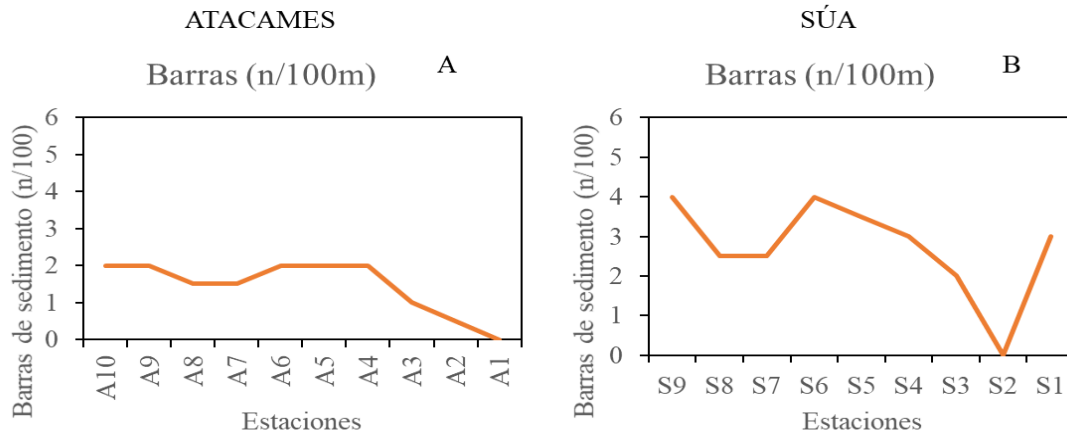


Figura 6. Barras de sedimento

sedimento fue significativa (Tabla 3).

3.6. Factores que controlan la morfología de los ríos Atacames y Súa.

Los factores que tienen que ver con el tamaño de la cuenca como orden (Fig. 7), área (Figura. 8), y componente 1 que es la relación entre el área y el orden de los ríos (Fig. 9) son significativos al comparar con las características geomorfológicas medidas como lecho rocoso, arenas y limos, grava, cantos, rocas, madera, barras de sedimento, D50, número de pozas, porcentaje de pozas, profundidad máxima, profundidad media. Respecto al orden del río la característica geomorfológica que más significativa fue el lecho rocoso con un valor de $R^2=0,67$ (Fig. 7-1). El área tiene valores de R^2 mayores a 30 en la comparación de la mayoría de las características geomorfológicas, sólo en el número de barras de sedimento el valor de $R^2=0,16$ (Fig. 8-7). El componente 1 tiene la comparación más significativa en arenas y limos con un $R^2=0,66$ (Fig. 9-2).

La pendiente y FCU tienen que ver con características físicas del río. La pendiente no es significativa en la comparación con la característica geomorfológica cantos (Fig. 10-4). La FCU es significativo al comparar con lecho rocoso, arenas y limos, grava, cantos, D50 y número de pozas (Fig. 11-1, 2, 3, 4, 8, 9).

Tabla 3. Valores medios de los indicadores geomorfológicos en los ríos Atacames y Súa. Se muestran la comparación entre los dos ríos mediante t de Student (n. s., diferencias no son significativas).

	Variable	Río Atacames $\bar{X} \pm DE$	Río Súa $\bar{X} \pm DE$	t-student
Diámetro	D ₂₅ (mm)	8 ± 12	7 ± 11	n. s.
	D ₅₀ (mm)	20 ± 27	14 ± 19	n. s.
	D ₇₅ (mm)	43 ± 29	92 ± 154	n. s.
Sustratos inorgánicos	Lecho rocoso (%)	1,2 ± 1,8	2,8 ± 4,7	n. s.
	Sedimento aluvial (%)	99 ± 2	97 ± 5	n. s.
	Arena y limo (%)	49 ± 30	43 ± 25	n. s.
	Grava (%)	34 ± 17	41 ± 20	n. s.
	Cantos rodados (%)	11 ± 12	6,3 ± 9,2	n. s.
	Rocas (%)	5,4 ± 6,9	10 ± 11	n. s.
	Materia orgánica (%)	25 ± 13	12 ± 12	t ₁₇ = -2.53 p < 0.05
Sustratos orgánicos	Madera (%)	5,8 ± 4,9	4,2 ± 3,1	n. s.
	Macrófitos (%)	2,8 ± 3,6	4 ± 8,6	n. s.
Barras de sedimento	Densidad (n/100 m)	1,4 ± 0,7	2,7 ± 1,2	t ₁₃ = 2.71 p < 0.05
Pozas	Densidad (n/100 m)	1,5 ± 0,4	2,4 ± 1,1	n. s.
	Profundidad media (cm)	83 ± 43	83 ± 52	n. s.
	Profundidad máxima (cm)	112 ± 49	104 ± 59	n. s.
	Longitud pozas (%)	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2	n. s.
	Longitud rápidos (%)	0,2 ± 0,3	0,1 ± 0,2	n. s.

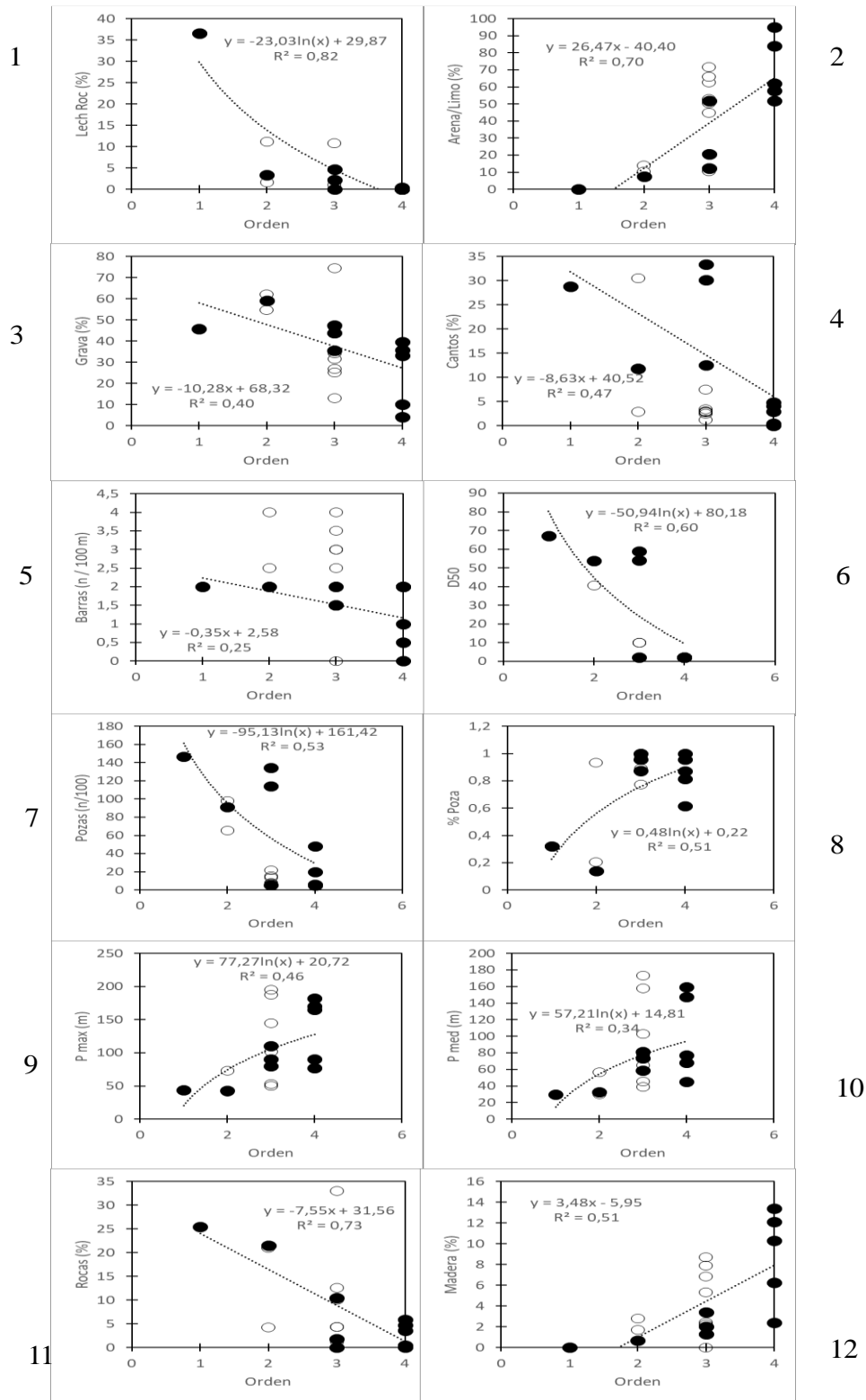


Figura 7. Comparación de características geomorfológicas con el orden de los ríos Atacames • y Súa ◦

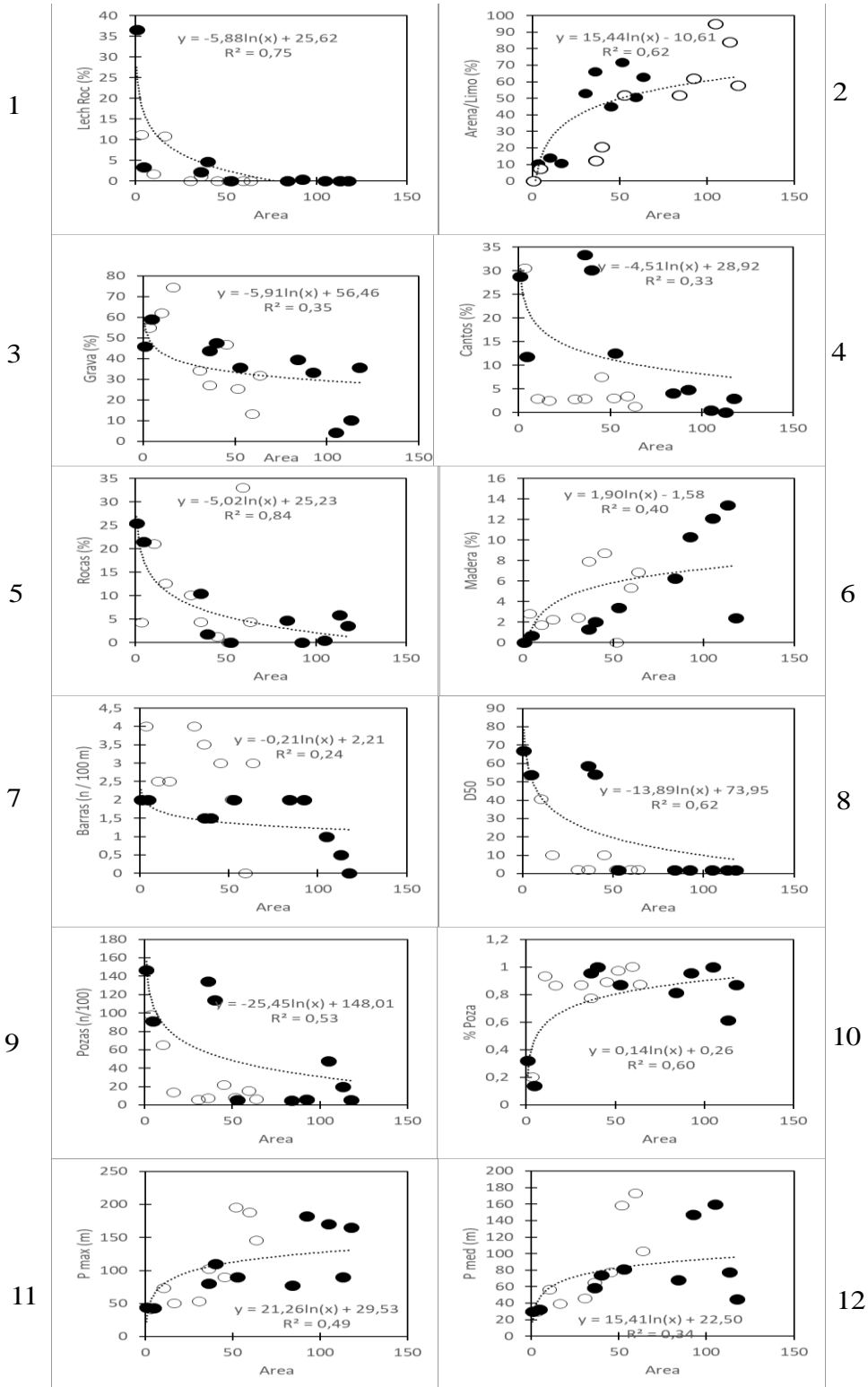


Figura 8 Comparación de características geomorfológicas con el área de los ríos Atacames • y Súa ◦

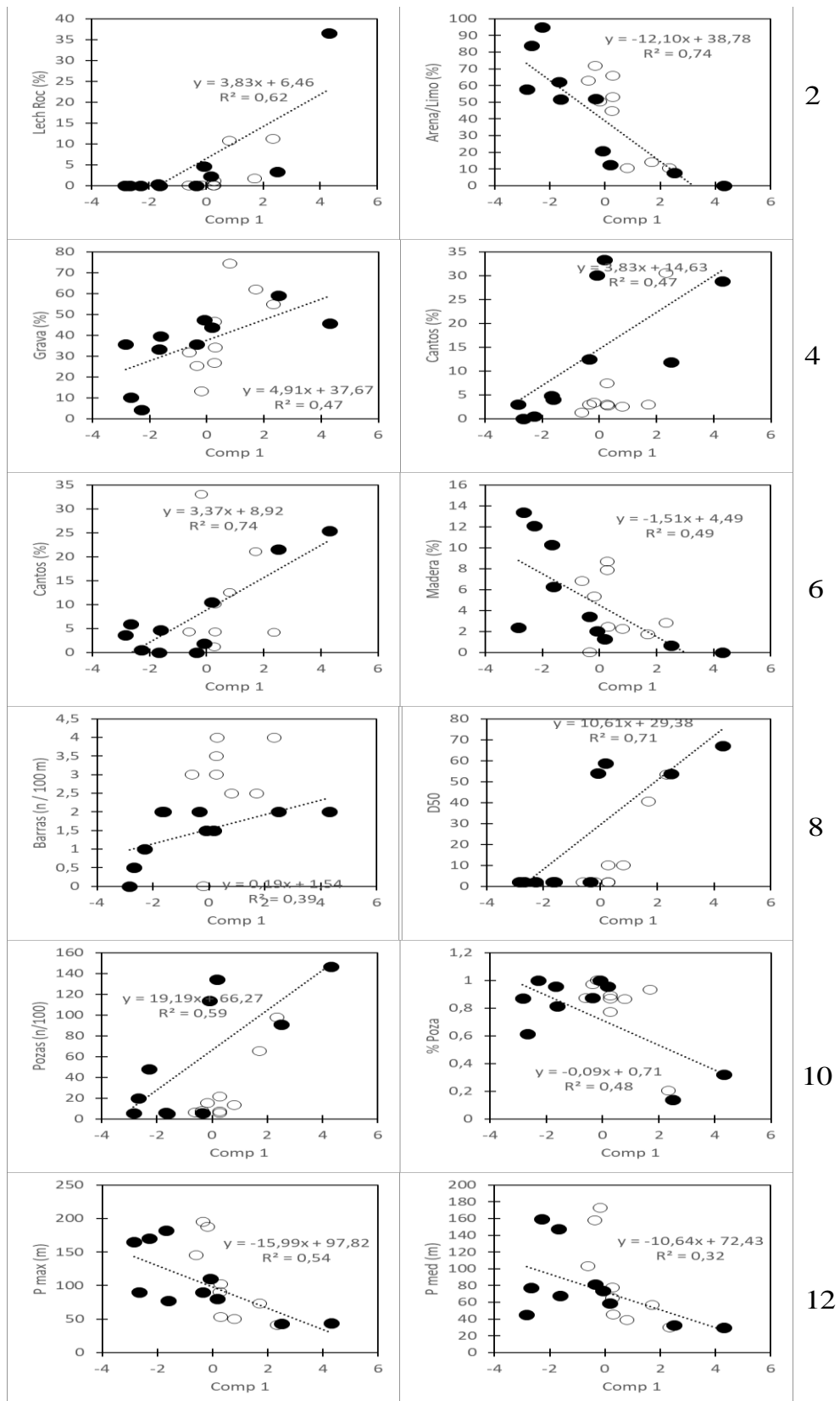


Figura 9 Comparación de características geomorfológicas con el componente 1 de los ríos Atacames • y Súa ◦

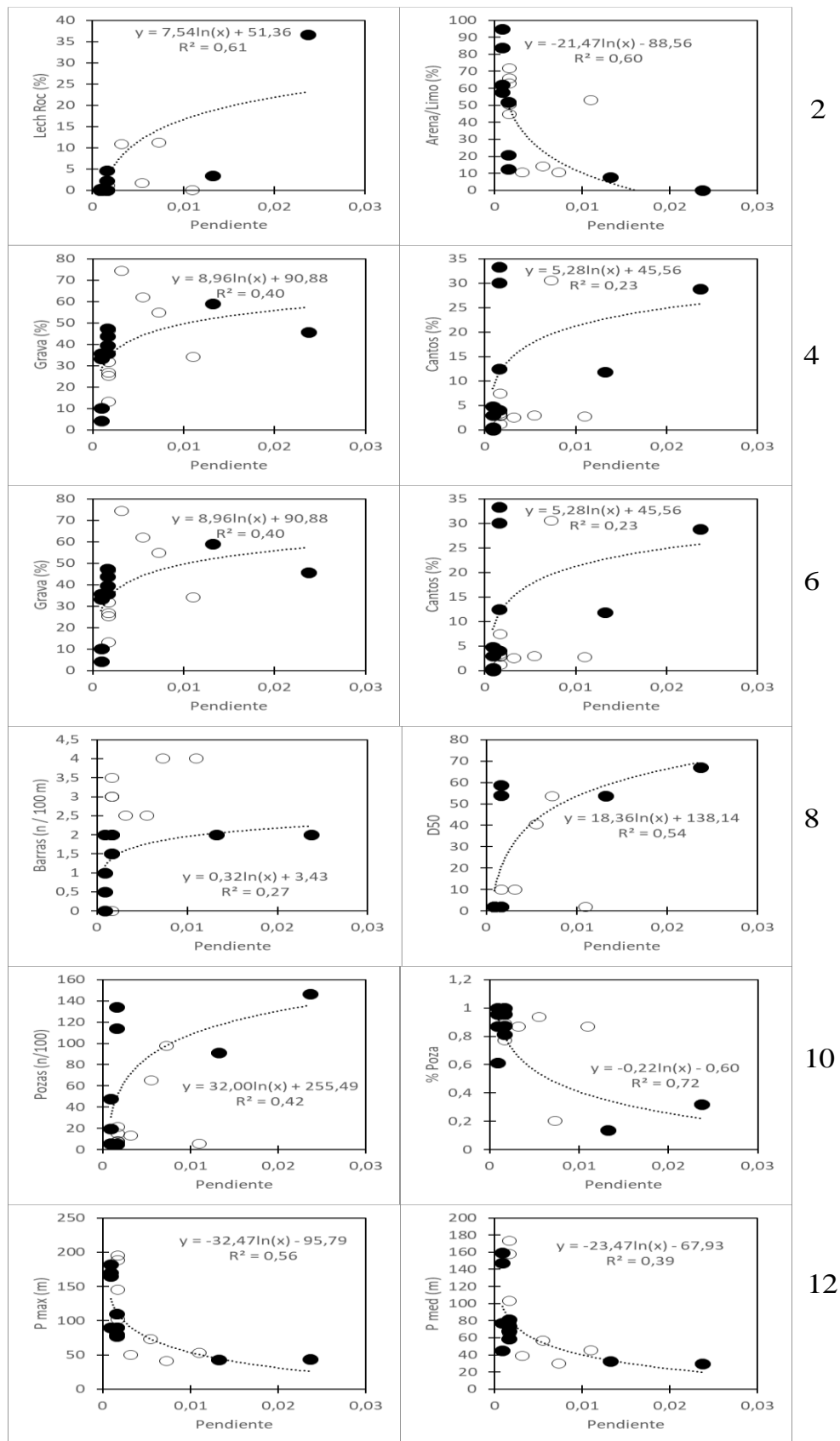


Figura 10 Comparación de características geomorfológicas con la pendiente de los ríos Atacames • y Súa °

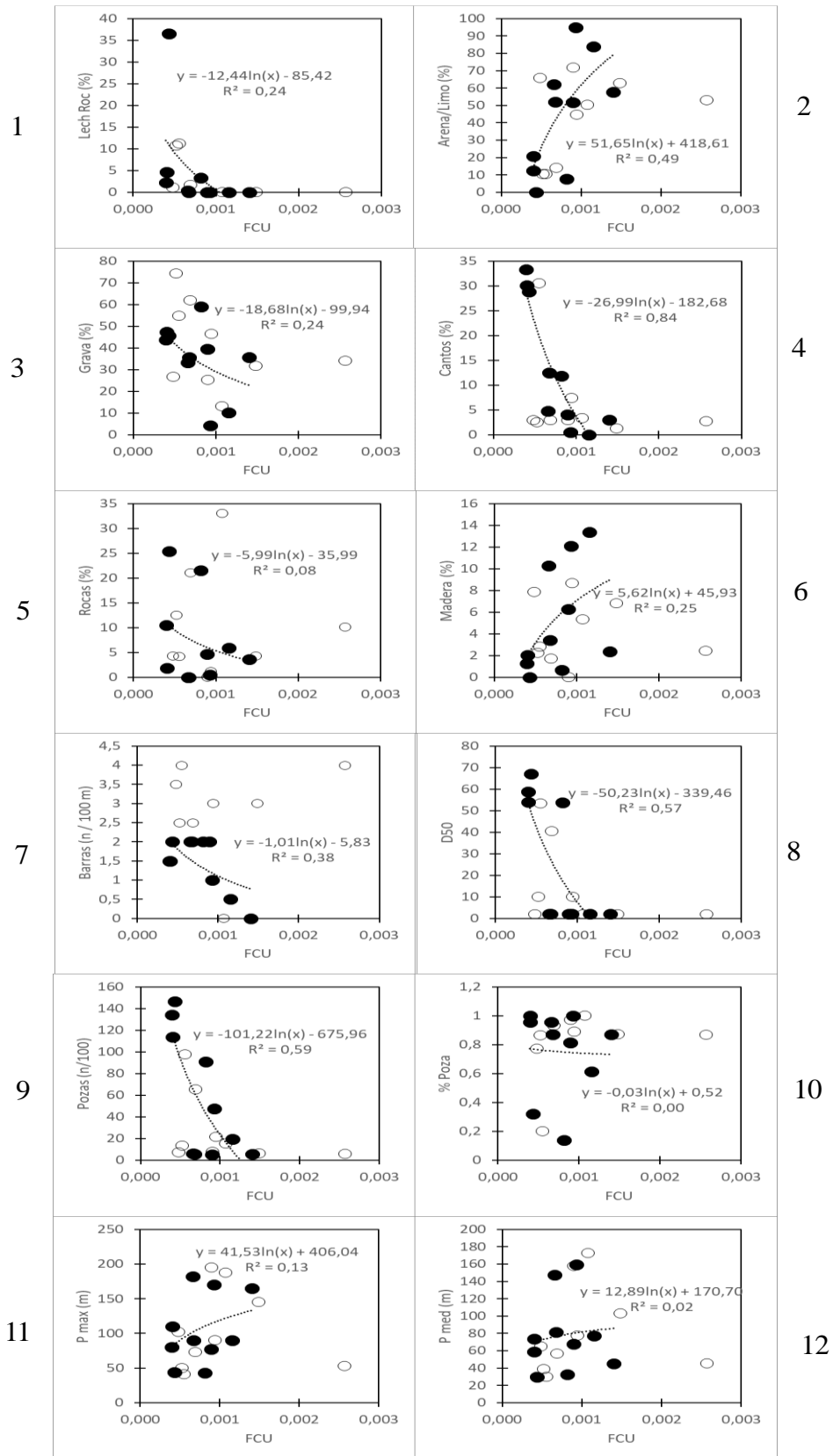


Figura 11 Comparación de características geomorfológicas con el orden de los ríos Atacames • y Súa ◦

4. Discusión

La discusión está basada principalmente en la comparación de las características geomorfológicas de los ríos Atacames y Súa, para lo cual se seleccionaron resultados relevantes que se señalan a continuación:

En tamaño de sustrato, en el río Atacames el D_{25} y D_{50} fue mayor mientras que en el del río Súa el D_{75} tuvo un pico muy elevado, en ninguna de las tres comparaciones las diferencias fueron significativas pero estos resultados determinan que en ambos ríos existe abundante presencia de sustratos finos como otro estudio en Ecuador realizado por Soledispa (2002). Es posible que la abundancia de sustratos finos en el río Atacames se deba a la presencia de las represas en el cauce activo las cuales acumulan sedimento alterando su flujo natural aportando a la acumulación del mismo, mientras que en el río Súa a pesar de no tener represas la poca alteración por presencia de cultivos aumenta la escorrentía que arrastra el sedimento que se acumula en el cauce activo debido a que los procesos en zonas costeras son muy dinámicos como asegura Ayon (1988).

La medición de los sustratos orgánicos: madera y macrófitos arroja diferencias considerables debido a que la velocidad influye sobre el transporte de la materia orgánica (Tamaris Turizo & Rodríguez Barrios, 2015), la presencia de represas disminuye la velocidad del cauce activo tal como sostiene Morris & Fan, (1997), las dos represas a lo largo del cauce del río Atacames serían entonces la principal causa

de disminución de la velocidad y por ello presenta mayor acumulación de sustratos orgánicos que el río Sua.

La densidad de pozas presenta diferencias posiblemente por la presencia de las represas en el río Atacames, mientras que la profundidad de pozas y la relación entre rápidos y pozas no mostraron diferencias significativas. El número de barras de sedimento presentó diferencias significativas ya que en el río Atacames la presencia de represas interrumpe la capacidad de transportar sedimentos aguas abajo (Kondolf, 1997).

El análisis de los factores que intervienen en la morfología y que se asocian al tamaño de la cuenca es significativo debido a que los procesos erosivos y el de transporte de sedimentos son producto de la interacción que tienen distribución espacial aseguran Brea & Spalletti (2010).

La pendiente fue significativa en la mayoría de comparaciones lo que podemos relacionar con la afirmación de (Chanson, 2004) quien sostiene que la pendiente tiene influencia directa en el movimiento de sedimentos y forma del lecho en el cauce. Por otra parte la pendiente es considerada por Martín Vide (2002) como la variable que establece un equilibrio en el río por lo que se explica su influencia en la comparación con las características geomorfológicas.

La FCU fue significativa para la relación de número de pozas $n/100$, esto se debe a que al ser ríos de cauce sinuoso el flujo que se dirige hacia las curvas genera la

concentración de caudal, lo que ocasiona la erosión del fondo. Este factor también influye de manera importante en el movimiento y distribución o arrastre de sedimentos, esto puede ser cotejado con los resultados de Ramirez Callejas, Bocanegra Vinasco, & Sandoval García (2009) en el estudio en el río Cauca donde se calculó el arrastre de sedimentos tomando en cuenta principalmente la carga de material de fondo en función de la FCU donde también se comprobó la influencia de este parámetro.

El uso del suelo es similar tanto en el río Atacames como en el río Sua, éste se destina a labores agrícolas y pecuarias principalmente, estas actividades no influyen en las características geomorfológicas de ambos ríos. Las diferencias geomorfológicas importantes entre el río Sua y Atacames no es producto del uso del suelo sino que son producto de las modificaciones producto de la construcción de dos represas que influyen en la dinámica del cauce activo.

Esta investigación proporciona datos de los dos ríos que fija una base histórica que pueden ser tomados como punto de partida de estudios futuros. Las actividades agrícolas y pecuarias en estos dos ríos no son un factor determinante para modificar su geomorfología. Este estudio también permite determinar que las alteraciones significativas en la geomorfología son producto de las modificaciones directas en el cauce activo.

5. Conclusiones

El muestreo geomorfológico de los ríos Atacames y Súa se realizó entre mayo y diciembre del 2016 mediante la clasificación de tamaños de sustrato del lecho fluvial aplicando la escala modificada de Wenworth.

No hubo diferencias significativas al comparar las características geomorfológicas con los usos de suelo, en ambos ríos existe abundante sedimento fino.

La comparación entre ríos de la materia orgánica, número de pozas y número de barras de sedimento fueron las características que determinaron diferencias significativas, estas diferencias son debido modificación del cauce activo por la presencia de represas que alteran la dinámica natural del cauce en el río Atacames.

6. Recomendaciones

Para comparar el efecto de los usos de suelo en las características geomorfológicas se debe seleccionar un río que no tenga ningún tipo de alteración.

Deben realizarse más estudios de geomorfología con el fin de generar una base de datos que permita conocer la dinámica de sedimento de un río determinado en el tiempo y así poder aplicar planes de gestión y aprovechamiento del recurso hídrico de manera eficiente.

Deben aplicarse otras técnicas de muestreo, cotejar los datos y realizar estudios complementarios que permitan conocer el estado de un río con más precisión

7. Referencias Bibliográficas

- Andrade, A. (2016). *Análisis de la influencia de la geodinámica y los impactos antrópicos en la geomorfología fluvial del río Coca: Impactos fluviales Coca Codo Sinclair*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Quito.
- Ayon, H. (1988). *Grandes rasgos geomorfológicos de la costa ecuatoriana*. Guayaquil.
- Ballarín Ferrer, D., & Rodríguez Muñoz, I. (2013). *Hidromorfología Fluvial* (Primera ed., Vol. I). Valladolid, España: Ambigés, S.L.
- Bisson, P., Montgomery, D., & Buffington, J. (2007). Valley Segments, Stream Reaches, and Channel Units. *Methods in Stream Ecology, I*, 23-49.
- Brea, J., & Spalletti, P. (2010). Generación y transporte de sedimentos en cuencas de ríos de montaña. En J. Brea, & F. Balocchi, *Procesos de erosión - sedimentación* (págs. 52-74). Talca.
- Cárdenas, G., & Cárdenas, J. (2009). *Agricultura, urbanización y agua*. IICA. Montevideo: Rafael Trejos y Tania López.
- Chanson, H. (2004). *The hydraulics of open channel flow: an introduction*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Christofolletti, A. (1981). La noción de equilibrio en geomorfología fluvial. *Revista de Geografía Norte Grande*(8), 69-86.
- Elliott, S. (2010). *El Río Y la forma: introducción a la geomorfología fluvial*. Santiago: RIL.
- Elosegui, A., & Díez, J. (Abril de 2009). *La estructura física de los cauces fluviales* (Primera ed., Vol. I). (A. Elosegui, & S. Sabater, Edits.) España: Fundación BBVA.
- GAD Parroquial de Súa. (20 de Octubre de 2015). Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de Sistema Nacional de Información: <http://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0860013570001_PDyOT%20-%20GAD%20SUA%20PARA%20IMPRIMIR_30-10-2015_21-20-01.pdf

GAD Parroquial La Unión de Atacames. (15 de Agosto de 2015). Obtenido de GAD Parroquial La Unión de Atacames.com: http://www.launionatacames.gob.ec/images/PDyOT_DE_LA_UNION_DE_ATACAMES_DIC_-_copia.pdf

García-Chevesich, P. (2010). Factores que afectan la erosión y la sedimentación. En J. Brea, & F. Balocchi, *Procesos de erosión - sedimentación* (págs. 9-21).

Gobierno Autónomo Parroquial de Súa. (2015). *Sistema Nacional de Información*. Recuperado el 13 de agosto de 2016, de Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/0860013570001_DIAGNOSTICO%20PDOT%20SUA%202015_18-05-2015_16-45-15.pdf

Guijarro Viteri, M. (2015). *Caracterización de la calidad de agua del río teaone utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores*. Previo a la obtención del Título de ingeniero en Gestión Ambiental.

Gutierrez, J. (2004). *Guía teorica e Geomorfología* (Primera ed., Vol. I). Mérida, Venezuela: ULA.

Hogan, D., & Luzi, D. (2010). Channel Geomorphology: Fluvial Forms, Processes, and Forest Management Effects. In R. Pike , T. Redding, D. Moore, R. Winkler, & K. Bladon, *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia* (Vol. I, pp. 331-371). Vancouver. Retrieved Julio 2, 2017, from https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/lmh/Lmh66/LMH66_volume1of2.pdf

Houghton Mifflin Harcourt. (2010). *Webster's New World College Dictionary* (cuarta ed.). Retrieved mayo 19, 2017, from <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/microhabitat>

Ivanova, Y., & Sarmiento, A. (2013). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, IV(2)*, 1-5.

- Jiménez Prado, P., & Beárez, P. (2004). *Peces Marinos del Ecuador Continental II*. Quito: Simbiioe.
- Kondolf, G. (1997). Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, XXI, 533-551.
- Martín Vide, J. (2002). *Ingeniería de ríos*. Barcelona.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (Julio de 2005). Obtenido de Sistema Unico de Información Ambiental: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/09+PLAN+DE+MANEJO+CHINDUL.pdf/aeb58b23-f095-4514-8213-c69b95b0f18c>
- Montgomery, D., & Buffington, J. (1993). *Channel classification, prediction of channel response, and assessment of channel condition*. reporte, Washington Department of Natural Resources, Seattle. Retrieved from Krisweb.
- Morris, G., & Fan, J. (1997). *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds*. New York: McGraw Hil.
- Ollero, A., Ibisate, A., Acín, V., Ballarín, D., Besne, P., Díaz, E., . . . Sánchez, I. (2014). Geomorfología y restauración fluvial: seguimineto del derribo de presas en Gipuzkoa. *Cuadernos de investigación geográfica*, I(40), 67-88.
- Ortiz Castro, M. (2015). *Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone*. Previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.
- Palmer, M. A., Swan, C. M., Nelson, K., Pamela, S., & Alvestad, R. (2000). Streambed landscapes: evidence that stream invertebrates respond to the. *Landscape Ecology*, 563-576.
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2009). Recuperado el 7 de Agosto de 2017, de Definición.de: <https://definicion.de/habitat/>
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Racca, J. (2010). Geomorfología de la cuenca del río Arroyo del Medio. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 72-75, 13-42.

- Ramirez Callejas, C., Bocanegra Vinasco, R., & Sandoval García, M. (2009). La carga sedimentaria en el río Cauca en su alto valle geográfico. *EIDENAR*, 68-82.
- Rangel-Buitrago, N. (Agosto de 2009). Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa caribe colombiana. *Gestión y Ambiente*, XII(2), 43-56.
- Rangel-Buitrago, N., & Posada-Posada, B. (2005). Geomorfología de procesos erosivos en la costa norte del departamento de Córdoba, caribe colombiano (Sector Pasto Nuevo-Cristo Rey). *Boletín de Investigaciones Marino Costeras*(34), 101-119.
- Rivera Trejo, F., Uh-Us, F., Soto Cortés, G., & Díaz Flores, L. L. (2013). Inspección de cauces: guía de reconocimiento en campo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(2), 149-161.
- Romero Díaz, A., & López Bermúdez, F. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalupe. *Papeles de Geografía (Física)*(12), 47-62.
- Soledispa P, B. (2002). Estudio de los sedimentos del sector donde convergen los ríos Daule y Babahoyo, y las posibles causas que están formando un nuevo islote en el sector. *Acta oceanográfica del Pacífico*, 11, 185-201.
- Tamaris Turizo, C., & Rodríguez Barrios, J. (2015). Transporte de materia orgánica a lo largo del un río tropical de montaña en la sierra nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 209-216.
- Thomas, D., & Goudie, A. (2008). *Physical Geography* (Third ed.). Oxford.
- Thorndy Craft, V., Benito, G., & Gregory, K. (2008). Fluvial geomorphology: a perspective on current status and methods. *Geomorphology*, 2-12.
- Wentworth, C. (1922). A escale of grade and class terms for clastic sediments. *Geology* 30, 377-392.
- Wiens, J. (2002). Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology*(47), 501-515. Retrieved Enero 2, 2016
- Yang, C., & Stall, J. (1974). *Unit stream power for sediment transport in natural rivers*. Illinois State Water Survey , Urbana.

8. Anexos



Figura 12 Registro GPS de estación de muestreo



Figura 13. Medición de secciones



Figura 14. Medición de sustrato