

Evaluación de los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Yamanigüey

Pedro Luis Dunán Ávila

pdavila@ismm.edu.cu

Amalia Beatriz Riverón Zaldívar

briveron@ismm.edu.cu

Moraima Fernández Rodríguez

mfernandez@ismm.edu.cu

Yaniset Fuentes Londres

yflondres@ismm.edu.cu

Lizabeth Marrero Doimeadios

Imdoimeadios@geologia.ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se evaluaron los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Yamanigüey para establecer su estado y tomar medidas para su conservación. Se identificaron las fuentes contaminantes naturales y antrópicas que existen en el área de estudio. Se tomaron 12 muestras en período de seca para la medición de la materia sedimentable con el empleo del cono de Imhoff y para el cálculo del caudal el método de área-velocidad o flotadores en ocho de los puntos muestreados. Las fuentes de contaminación que afectan al río se encuentran divididas en dos grupos: las naturales y las antrópicas. La materia sedimentable en el río Yamanigüey es menor de 0,1 mL/L.h para las 12 muestras estudiadas. La medición del caudal en el río oscila entre 0,36 m³/s y 64,80 m³/s en los ocho puntos muestreados. Los riesgos hidrogeológicos principales de la cuenca del río Yamanigüey son los cambios geomorfológicos e impacto paisajístico. Se propone un plan de medidas de prevención y mitigación de los impactos negativos para disminuir la contaminación.

Palabras clave: contaminación; calidad de las aguas; riesgos hidrogeológicos.

Recibido: 20 enero 2020/ Aceptado: 25 abril 2020.

Evaluation of erosive processes, sedimentable matter and flow in the Yamanigüey river basin

Abstract: Erosive processes, sedimentable matter and flow in the Yamanigüey river basin were evaluated to establish its current state and take measures for its conservation. For the evaluation, the natural and anthropogenic polluting sources that exist in the study area were identified. Twelve samples were taken in the dry period to measure the sedimentable matter using the Imhoff cone and to calculate the flow using the area-speed or float method at eight of the sampled points. The main results obtained are that the sources of contamination that affect the Yamanigüey River are divided into two groups: natural and anthropic. The sedimentable matter in the Yamanigüey river is less than 0,1 mL/L.h for the 12 samples studied. The flow measurement in the Yamanigüey river ranges from 0,36 m³ / s to 64.80 m³ / s in the eight sampled points. The main hydrogeological risks of the Yamanigüey river basin are geomorphological changes and landscape impact. A plan of measures for the prevention and mitigation of negative impacts is proposed with a view to reducing water pollution.

Key words: pollution; water quality; hydrogeological risks.

Introducción

La historia de la acción del hombre sobre los cauces fluviales es tan antigua como la historia de la humanidad; los ríos son la primera fuente que el hombre aprendió a aprovechar no solo para su abastecimiento y consumo sino también como fuente de alimento y vía de transporte. El comportamiento del caudal y el de las crecidas puede verse modificado por una serie de propiedades morfométricas de las cuencas, como son el tamaño, la forma y la pendiente, que resultan muy importantes en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar las crecidas (Ward y Robinson, 2000; Jones, 2014). La afectación en los procesos naturales del sistema hídrico es atribuida a la falta de conocimiento de los caudales reales disponibles y la capacidad de carga contaminante que podrían soportar estos ecosistemas para mantener su funcionalidad.

El municipio de Moa, tanto por su ubicación geográfica dentro del macizo Mayarí-Sagua-Baracoa, como por su desarrollo minero-metalúrgico, se ha convertido en una de las regiones de mayor importancia económico-social del país. Esto se debe a la existencia de una corteza de intemperismo rica en minerales ferroniquelíferos (Ni, Co, Fe, Mg, Al, etc.) que son explotados por las entidades niquelíferas Pedro Sotro Alba y Ernesto Che Guevara.

Zinck (2005) determinó que la erosión hídrica es el proceso dominante en la degradación de los suelos, inducida por intervenciones humanas, el cual afecta cerca de 11 000 000 km² (8,5 % de la superficie terrestre). En conjunto, la erosión hídrica, la eólica, la degradación química y la física afectan en diferentes niveles de intensidad; casi 20 000 000 km², esto es el 15 % de la superficie global.

Asimismo, Pérez-Cutillas, Conesa-García y Sánchez-González (2015) reflejan la necesidad de explorar el sistema fluvial del área para de esta manera conocer las medidas correctoras de la erosión más eficientes sin provocar un exceso de acumulación de sedimentos, lo que ocasiona la disminución de la erosión de fondo y un aumento en su cauce.

Desde el punto de vista ambiental en el territorio de Moa se han realizado varios estudios (Breff, 2002; Cervantes, Pierra-Conde y Guerrero-Almeida, 2007; Navarro,

2011; Céspedes, 2014; Batista y Cabrera, 2017; García-Breffé, Aldana-Aldana y Gamboa-Rodríguez, 2018; Kamilonga, 2019). Y con el objetivo de caracterizar la calidad de las aguas desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico se han llevado a cabo otras investigaciones para diferentes usos (de Oca, 2010; Rubio, 2017; Córdova, 2017; Crespo, 2018; Dunán, 2019; Rodríguez, 2019; Jardínez, 2019; Torres, 2019). A diferencia de estas no abundan los estudios concernientes a los procesos erosivos y evaluación del caudal (Hincapié-Gómez, 2011; Bárcenas, 2017; Deon, 2014; Rodríguez *et al.*, 2018).

A pesar de todas estas investigaciones, en el área de estudio no se han realizado trabajos de esta índole y no se tiene el conocimiento suficiente sobre el comportamiento de dichos parámetros en el municipio, por lo que esta investigación permitirá un acercamiento a la temática.

Materiales y métodos

Ubicación, clima y precipitaciones del área de estudio

El río Yamanigüey se encuentra ubicado en el poblado Yamanigüey, municipio de Moa, Holguín, Cuba, dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, el cual pertenece al macizo montañoso Nipe-Sagua-Moa-Baracoa. El asentamiento se encuentra a una distancia de 26 km de la cabecera municipal, con una extensión territorial de 8,2 km²; limita al norte con el océano Atlántico, al sur con el macizo montañoso Sagua-Baracoa y el municipio de Yateras, al este con el municipio de Baracoa, separado por los ríos Jiguaní y Jaguaní y al oeste con el Consejo Popular Punta Gorda. Este río constituye una de las reservas de agua superficial más importantes en el territorio (Figura 1).

El clima de la zona de estudio es tropical con abundantes precipitaciones, que está estrechamente relacionado con el relieve montañoso y la dirección de los vientos alisios provenientes del océano Atlántico cargado de humedad. La temperatura media anual oscila entre 22,6 °C–30,5 °C; en el verano se alcanzan valores de 30 °C hasta 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C, donde los meses más calurosos son desde julio hasta septiembre y los fríos de enero a febrero.

Las presiones atmosféricas presentan una media anual de 1017,3 hPa (hectopascal), donde la media máxima mensual es de 1 022,2 hPa en el mes de septiembre (Viltres-

Milán, 2010). La humedad relativa media anual es de 85 %; los meses de mayor humedad son diciembre con un 94 %, noviembre con un 86 % y octubre con un 90 %. Estos tres meses son el período de mayor humedad relativa del territorio. La evaporación anual presenta valores entre 2 200 mm-2 400 mm; los meses de julio y agosto son los más secos (Viltres-Milán, 2010).

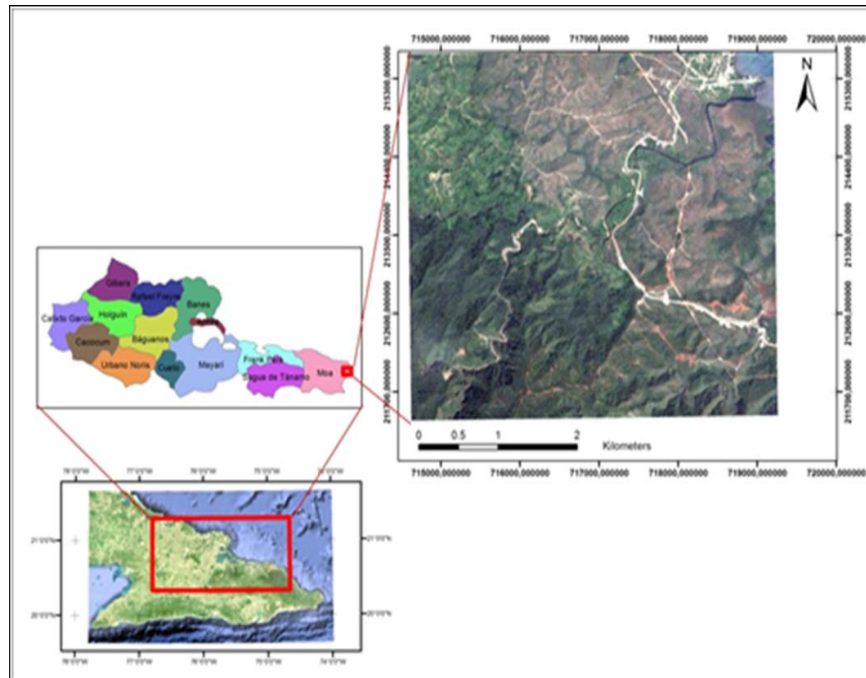


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Las precipitaciones en el período 2014-2018 oscilan entre 261,70 mm-1962,30 mm (milímetros), al ser unas de las mayores pluviometrías del país. Se identifican dos períodos de lluvia (mayo-junio y octubre-febrero) y dos de sequías (marzo-abril y julio-septiembre). En los cuatro años analizados los mayores valores de precipitaciones corresponden con el mes noviembre (1 962,30 mm) y los valores más bajos de precipitaciones se encuentran en el mes de junio (261,70 mm). El pluviómetro utilizado para analizar el comportamiento de las precipitaciones en el periodo investigado se encuentra en la localidad de Cañete, Moa, en las coordenadas X: 716,70 Y: 213,40 a una altura de 200 m sobre el nivel de mar.

Geología del área de estudio

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa, el cual se localiza en el extremo oriental de la isla de Cuba. En este macizo se pueden

distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores. La zona de estudio se encuentra localizada en la localidad de Yamanigüey, perteneciente al sector Este del municipio de Moa, con formaciones geológicas según el esquema geológico del área de estudio, escala original 1:100 000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) 2001 y modificado por Viltres-Milán (2010) tales como:

1. Formación Río Macío (Holoceno)
2. Formación Jutía (Pleistoceno-Holoceno)
3. Formación Jaimanitas (Pleistoceno superior)
4. Formación Yateras (Oligoceno inferior-Mioceno inferior parte baja)
5. Formación Sierra de Capiro (Eoceno superior)
6. Formación Castillo de Los Indios (Eoceno inferior-medio)
7. Formación Bucuey (Cretácico)
8. Rocas Serpentinizadas del complejo ofiolítico
9. Gabros del complejo ofiolítico.

Características hidrográficas

La abundancia de precipitaciones, combinada con el relieve de montaña y las características del clima, favorece la existencia de una red hidrográfica bien desarrollada, fundamentalmente del tipo dendrítica, que corre de sur a norte, aunque en algunos casos se observa la red subparalela. Generalmente, este río es alimentado por las precipitaciones atmosféricas y tienen su origen en las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa. Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica, con la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes y de su capacidad para el almacenamiento de aguas subterráneas.

Las aguas del río objeto de estudio corren por el complejo acuífero de las ofiolitas que se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente, se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia

es de 1,3-12 m. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1-14,7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1,2-4 L/s.

Metodología empleada para la evaluación de la materia sedimentable

Recolección, preservación y almacenaje de muestras

Debe recolectarse un volumen mínimo de un litro de forma separada, en frascos plásticos o de vidrio, lo que evitaría la adhesión de la materia en suspensión a las paredes del recipiente. Refrigerar inmediatamente. Realizar el análisis lo antes posible, preferiblemente al recibirse la muestra. En caso de requerirse almacenamiento, hacerlo a temperatura de 6 °C por un tiempo máximo de 48 h.

Equipos y materiales

1. Cono Imhoff y base para colocarlo
2. Varilla agitadora.

Procedimiento

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

1. En su propio frasco, dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente del laboratorio.
2. Mezclar bien la muestra por agitación.
3. Llenar el cono Imhoff. En casos excepcionales donde el volumen de muestra disponible sea menor a un litro, se verterá toda la muestra y anotará el volumen (esto último para realizar los cálculos).
4. Dejar sedimentar por 45 min.
5. Remover suavemente las paredes del cono con una varilla agitadora.
6. Dejar sedimentar 15 min más.
7. Anotar el volumen de sólidos sedimentables como ml/L.h.

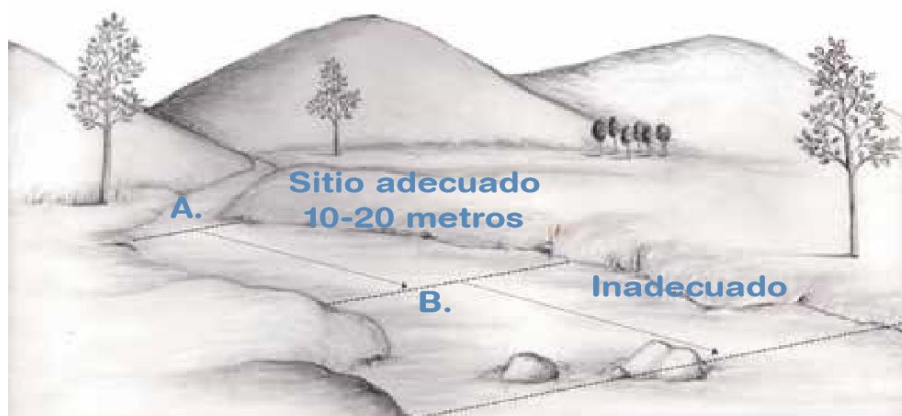
Medición de caudal por el método área-velocidad o flotadores (Valencia, Soto y Tamayo, 2014)

En este método, se mide la velocidad del agua en una sección de la quebrada o río. El método de flotadores es sencillo, pero inexacto. Los materiales que se necesitan:

1. Un objeto flotante, que sea arrastrado por la corriente del agua y no por el viento, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua (se recomienda que este objeto vaya sumergido la mitad por debajo de la lámina de agua, 50 %).
2. Un reloj o cronómetro.
3. Una cinta métrica.
4. Una regla o tabla de madera graduada.
5. Una cuerda, estacas y un machete, este último por si es necesario retirar maleza o vegetación que impida el libre movimiento del objeto flotante.

Paso 1: seleccionar el lugar adecuado.

Se selecciona en el río o quebrada, un tramo uniforme, sin piedras grandes ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, que sea recto.



Esquema para la medición de la velocidad de la corriente del río.

Figura 2. Definir el lugar adecuado. Tomado de Valencia, Soto y Tamayo, 2014.

Se elige en el centro del cauce un sitio inicial A y uno final B, a lo largo de la corriente (río o quebrada) el cual se llamará distancia, longitud o largo.

Paso 2: medición de la velocidad.

Es la relación entre la distancia que recorre el agua en un tiempo determinado. Por ejemplo, si el agua recorre un metro cada diez segundos, entonces la velocidad que lleva es de un metro/segundo.

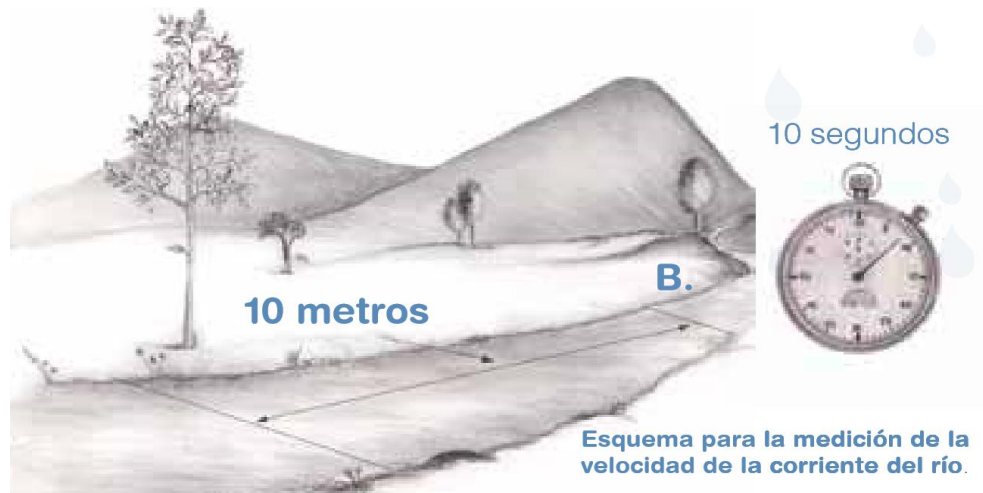


Figura 3. Cómo medir la velocidad. Tomado de Valencia, Soto y Tamayo, 2014.

Para su medición en campo, una persona se ubica en el punto A con el flotador y la otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al B. Se recomienda realizar un mínimo de diez mediciones y calcular el promedio.

La velocidad de la corriente de agua del río o quebrada se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia (en metros, m)}}{\text{Tiempo (en segundos, s)}} = \text{m/s}$$

Paso 3: medición del área de la sección.

Para determinar el área de una sección se debe realizar el siguiente procedimiento:

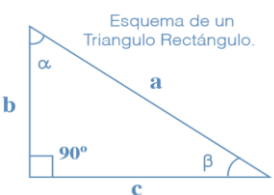
- Ubica los extremos de la sección en ambas orillas.
- Amarra una cuerda de dos estacas ubicadas en los extremos de la sección.
- Mide el ancho superficial.
- Divide en varias partes iguales (fajas) la sección (mínimo tres partes).

- Mide la profundidad del agua para cada faja.
- Registra los datos en el formato de campo.
- Calcula el área para cada faja.
- Suma el área de todas las fajas.

Para calcular el área de las fajas utiliza la fórmula para cada figura. Las figuras geométricas que se forman en la sección pueden ser:

Triángulo rectángulo: es aquel que tiene un ángulo recto y el área es igual al producto de sus catetos divididos en dos, "base por altura" al ser estos los catetos. La ecuación utilizada para hallar el área es:

$$A = \frac{\text{Base} \times \text{Altura}}{2}$$

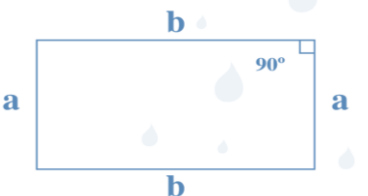
$$A = \frac{b \times c}{2}$$


Esquema de un Triángulo Rectángulo.

A. area en m²
b y c. catetos en m

Rectángulo: es igual a base por altura.

Area = Base * Altura = m²

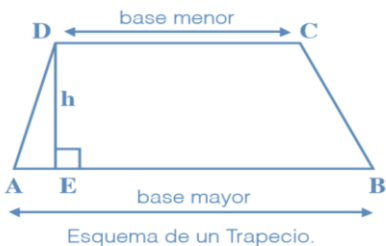
$$A = b \times a$$


Trapezio: Es igual a la suma de la base mayor y la base menor por la altura, y dividido por dos:

$$A = \frac{(\text{Base mayor} + \text{Base menor}) \times \text{Altura}}{2} = m^2$$

$$A = \frac{\overline{AE} + \overline{EB} + \overline{DC}}{2} \times h$$

\overline{AE} Distancia punto A a E
 \overline{EB} Distancia punto E a B
 \overline{DC} Distancia punto D a C
h Altura



Esquema de un Trapecio.

Finalmente, para conocer el caudal, se multiplica el área de la sección y la velocidad promedio:

$$\text{Caudal (Q)} = \text{Área de la sección (A)} * \text{Velocidad (V)} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

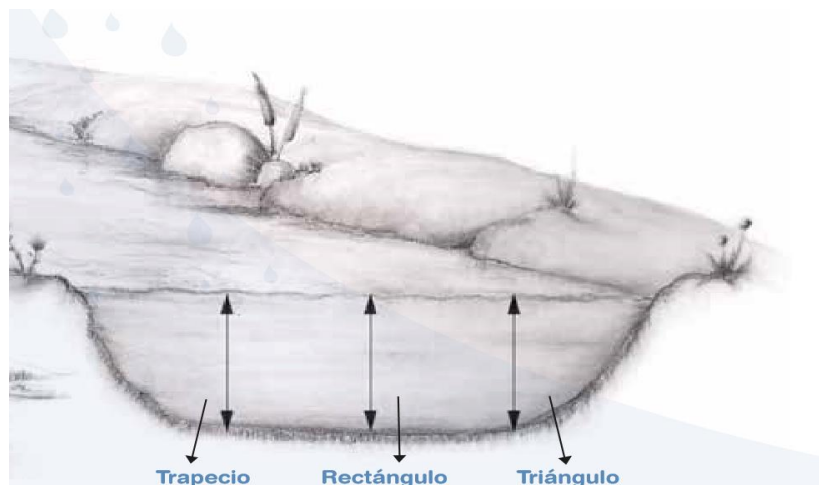


Figura 4. Esquema ideal para el cálculo del caudal en un río por el método de los flotadores.
Tomado de Valencia, Soto y Tamayo, 2014.

Principales fuentes de contaminación naturales y antrópicas que afectan al río Yamanigüey

En este punto se hace una descripción general de las principales fuentes contaminantes que llegan a la cuenca del río Yamanigüey.

Fuentes naturales

Los procesos erosivo-acumulativos pueden causar efectos negativos, como las inundaciones que se producen a través de la colmatación de los cauces de los ríos fruto de la intensa erosión y depósitos de sedimentos arrastrados e introducidos en el río cuando pierde la capacidad de transporte.

Temperatura

El aumento de la temperatura provoca que exista una mayor meteorización en las rocas existentes en la cuenca y una mayor disolución de los sólidos totales disueltos y los sólidos suspendidos en el agua.

Árboles dentro del cauce del río

La vegetación en la ribera del río es abundante; esta aporta gran cantidad de material orgánico al agua, lo cual representa una causa directa para la contaminación de las aguas. A todo lo largo del río hay presencia de árboles muertos dentro del agua o cerca del cauce del río a causa de los eventos hidrometeorológicos y por la actividad antrópica, tal como se puede apreciar en la Figura 5.



Figura 5. Árboles dentro del cauce del río en el punto de muestreo 1, b) árboles dentro del cauce del río en el punto de muestreo 4.

Deslizamientos

A causa de las intensas lluvias imperantes en la región ocurren deslizamientos a grande y mediana escala, donde los materiales que los componen afectan la calidad de las aguas y disminuyen el cauce del río porque todo el material se deposita en el cauce o cerca de este, que provoca que el río varíe su curso e incorpore a sus aguas nuevos elementos químicos (Figura 6).



Figura 6. a) Deslizamiento ocurrido a 10 m hacia el sur del punto de muestreo 5, b) deslizamiento ocurrido en el punto de muestreo 5.

Fuentes antrópicas

Desagües y basureros

En la ladera existente en el valle izquierdo del río, que corresponde al punto de muestreo 12, hay un basurero compuesto por nailon, plásticos y vidrios. Además, hay presencia de un corral de cerdo con descarga directa a través de una zanja en dirección al río (Figura 8).



Figura 7. a) Corral de cerdo con desagüe en dirección al río, b) basurero colocado en dirección al río.

Evaluación de la materia sedimentable en el río Yamanigüey

La materia sedimentable se evaluó en periodo de seca pero luego de varios días de intensos aguaceros en la localidad se tomaron 12 muestras. Los resultados muestran que en los 12 puntos de muestreo los valores de materia sedimentable son inferiores a

<0,1ml/L.h debido a la inexistencia de sólidos suspendidos en el agua al ser estas bastante claras, lo que no posibilitó la sedimentación de ellos en los conos de Imhoff.

Tabla 1. Resultados obtenidos de la materia sedimentable en el río Yamanigüey

| Punto de muestreo | Materia sedimentable (mL/L.h) |
|-------------------|-------------------------------|
| 1 | <0,1 |
| 2 | <0,1 |
| 3 | <0,1 |
| 4 | <0,1 |
| 5 | <0,1 |
| 6 | <0,1 |
| 7 | <0,1 |
| 8 | <0,1 |
| 9 | <0,1 |
| 10 | <0,1 |
| 11 | <0,1 |
| 12 | <0,1 |

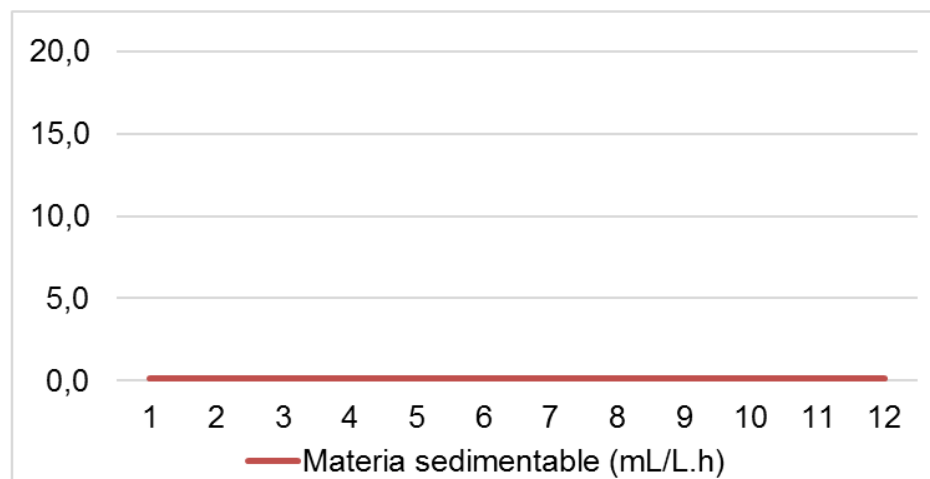


Figura 8. Resultado de la materia sedimentable evaluada en el río Yamanigüey.

Evaluación del caudal por el método área-velocidad o flotadores en el río Yamanigüey

Se evaluó el caudal en el río Yamanigüey en tiempo de seca (luego de varios días de intensos aguaceros) mediante el método de los flotadores. Este se evaluó en ocho puntos del río para comprobar el comportamiento en diferentes tramos. Se realizaron tres mediciones en cada punto de muestreo para obtener una mayor confiabilidad de los resultados. Los valores indican que el caudal del río Yamanigüey oscila entre 0,36 m³/s y 64,80 m³/s. El resultado de caudal más alto corresponde al punto 8

(desembocadura) con un valor de 64,80 m³/s. El resultado más bajo de caudal pertenece al punto 1 (nacimiento) con un valor de 0,36 m³/s.

Se puede apreciar un ligero aumento en los puntos 6, 7 y 8 debido a la existencia de algunos manantiales en el valle del río y afluentes provenientes de las montañas. Además, el caudal se evaluó en tiempo de seca pero luego de varios días de intensas lluvias, lo que posibilitó el aumento del nivel freático y la surgencia de nuevos manantiales.

Tabla 2. Resultados de la medición del caudal en el río Yamanigüey

| Punto de muestreo | Coordenadas | | Resultado m ³ /s |
|-------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| | X | Y | |
| 1 | 715731.04934 | 212803.40813 | 0,36 |
| 2 | 715838.06127 | 213292.20503 | 1,32 |
| 3 | 712756.03529 | 213068.27074 | 0,51 |
| 4 | 716136.68177 | 213723.48652 | 3,21 |
| 5 | 716259.89011 | 213602.05328 | 5,41 |
| 6 | 717112.3961 | 213529.96024 | 19,24 |
| 7 | 717568.28629 | 214566.0436 | 34,25 |
| 8 | 718122.38212 | 214383.45551 | 64,80 |

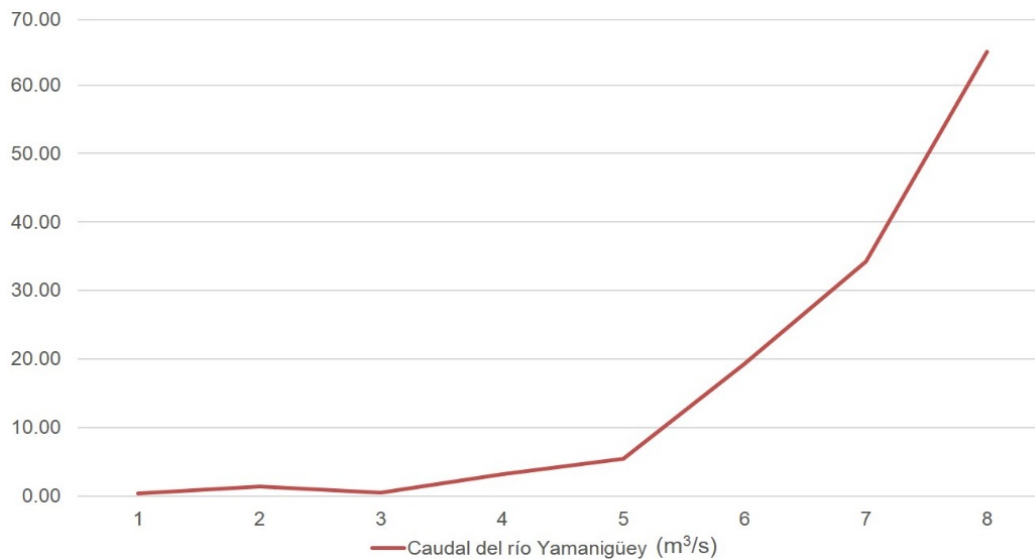


Figura 9. Caudal en el río Yamanigüey en periodo de seca.

Plan de medidas para el control y mitigación de contaminación de las aguas del río Yamanigüey

Las medidas de prevención y mitigación se presentan como el conjunto de acciones tendientes a la prevención, control, atenuación, restauración y compensación de los

impactos ambientales negativos generados por el desarrollo de un proyecto, el actuar del hombre, a fin de tender hacia el uso sustentable de los recursos naturales y la protección del ambiente.

Estas medidas de prevención y mitigación han sido elaboradas en función de erradicar y minimizar los impactos ambientales provocados sobre los distintos componentes del medio físico-natural y antrópico (especialmente sobre aquellos componentes donde se identificaron los mayores impactos negativos).

En la tabla 3 se exponen las medidas de prevención y mitigación a aplicar en la cuenca del río Yamanigüey.

Tabla 3. Medidas de prevención y mitigación a aplicar en la cuenca del río Yamanigüey

| Fuentes contaminantes | Acciones |
|---|--|
| Árboles muertos dentro del cauce del río | <ul style="list-style-type: none"> - Eliminar los árboles dentro del cauce del río - Crear una conciencia ambiental que permita la protección del medio ambiente |
| Basurero cerca del cauce del río | <ul style="list-style-type: none"> - Ubicar un micro-vertedero para el poblado Yamanigüey según normas nacionales e internacionales establecidas - Puesta en práctica de una política de reciclaje de los desechos en el micro-vertedero - Realizar campañas de educación ambiental |
| Zanjas de aguas residuales que desembocan directamente al río | <ul style="list-style-type: none"> - Crear fosas con repello en las paredes y fondo de concreto que no permitan la infiltración del agua y donde ahí se depositen las aguas residuales de los corrales de cerdos - Sancionar a las personas que viertan sus aguas residuales a los ríos |

Conclusiones

Las principales fuentes de contaminación que afectan al río Yamanigüey son árboles muertos dentro del cauce del río, basureros dentro del cauce del río y zanjas de aguas residuales que desembocan directamente al río.

Se obtiene como resultado en el laboratorio que la materia sedimentable evaluada en el río Yamanigüey en periodo de seca es menor de <0,1 ml/L.h. Los resultados obtenidos están en el rango permisible por las normas cubanas y de la OMS.

Se evalúa el caudal en el río Yamanigüey por el método de los flotadores donde los valores oscilan entre 0,36 m³/s y 64,80 m³/s en los ocho puntos muestreados.

Se propone un plan de medidas de prevención y mitigación de la contaminación de las aguas del río Yamanigüey.

Referencias bibliográficas

BÁRCENAS, M. 2017. *Evaluación de pérdida de suelos por erosión en el sector Los Pinos-La Veguita, del río Cabaña, Moa*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

BATISTA, Y. T. y CABRERA, M. R. 2017. La gestión ambiental en función del desarrollo local. Estudio de caso: municipio Moa, provincia Holguín. *Revista: Caribeña de Ciencias Sociales*. Consulta: 15/05/2019. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2017/05/problemas-ambientales-moa.html>.

BREFF, J. 2002. *Impacto socio ambiental en la comunidad urbana de Moa*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.

CERVANTES, Y.; PIERRA-CONDE, A. y GUERRERO-ALMEIDA, D. 2007. *Propuesta de indicadores para evaluar el desempeño ambiental de la actividad minera en la bahía de Moa*. Consulta: 15/05/2019. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3424>

CÉSPEDES, Y. 2014. *Análisis de la degradación de los suelos en el municipio Moa*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

CÓRDOVA, Y. 2017. *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Moa a partir del índice Integrador ICA_{sp}*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

CRESPO, M. 2018. *Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

DE OCA, A. 2010. Principales fuentes contaminantes de las aguas superficiales del río Moa. *Cub@: Medio Ambiente Y Desarrollo* 10, 18.

- DEON, A. 2014. *Estimación de la pérdida de suelos por erosión en el sector Norte del Municipio Moa*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- DUNÁN, P. L. 2019. *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Yamanigüey mediante el Índice de Calidad de Agua ICA-NSF*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- GARCÍA-BREFFE, I. M.; ALDANA-ALDANA, Y. y GAMBOA-RODRÍGUEZ, R. 2018. *Estrategia de educación ambiental para implementar la Tarea Vida en la comunidad de Moa*. En: XV Congreso Internacional de Información Info'2018.
- HINCAPIÉ-GÓMEZ, E. 2011. *Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia.
- JARDÍNEZ, A. S. 2019. *Índices de calidad de agua del río Moa y su influencia en los costos para el tratamiento de potabilización*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- JONES, J. A. A. 2014. *Global hydrology: processes, resources and environmental management*. Routledge, Londres.
- KAMILONGA, C. 2019. *Perfeccionamiento del procedimiento para el diagnóstico ambiental en los yacimientos lateríticos*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- NAVARRO, Y. 2011. *Propuesta de estrategia de Educación Ambiental para la comunidad "El Pesquero" a partir de sus potencialidades endógenas*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- PÉREZ-CUTILLAS, P.; CONESA-GARCÍA, C. y SÁNCHEZ-GONZÁLVEZ, M. 2015. Ajustes morfológicos asociados a obras de corrección hidrológica y de control de la erosión en un sistema fluvial mediterráneo: Río Chico (Vélez Rubio, Almería). *Revista de Estudios Andaluces* 32: 151-176.
- RODRÍGUEZ, M. F.; ZALDIVAR, B. R.; AVILA, P. D.; JARDÍNEZ, A. S.; SÁNCHEZ, A. I.; HECHAVARRÍA, Y. R.; RIVERO, G. T.; SAMÉ, V. B. y LEYVA, A. O. 2018. *Evaluación de los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Cabaña*.

- RODRÍGUEZ, Y. 2019. *Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de Agua CCME_WQI*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- RUBIO, D. de la C. 2017. *Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- TORRES, G. 2019. *Calidad de las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores del municipio Moa*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- VALENCIA, A. G.; SOTO, J. D. R. y TAMAYO, M. V. 2014. *Manual piragüero 3 - Medición del caudal*. 24. Consulta: 15/05/2019. Disponible en: http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medición_de_Caudal.pdf
- VILTRES-MILÁN, Y. 2010. *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- WARD, R. C. y ROBINSON, M. 2000. *Principles of Hydrology*. 4th ed. McGraw-Hill Publishing Company, London. 450 p.
- ZINCK, A. 2005. Suelos, información y sociedad. *Gaceta Ecológica* 76: 7-22.