




Metodología para estudios de sedimentación en fuentes de agua. Caso del embalse “Niña Bonita”

Methodology for sedimentation studies in water sources. Case of the “Niña Bonita” reservoir

 Luis Rivero Ramos^{1*},  Teresa Fraser Gálvez¹ y  Orlando Laiz Averhoff²

¹Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: tfrasergalvez@gmail.com

²Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), La Habana, Cuba. E-mail: orla.laiz46@gmail.com

*Autor para correspondencia: Luis Rivero Ramos, e-mail: luisrrg235@gmail.com

RESUMEN: Se analiza la importancia de tener en cuenta a todos los factores clave que inciden en el proceso de arrastre y deposición de sedimentos en el embalse Niña Bonita, en la provincia La Habana, Cuba. Este embalse se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Río Jaimanitas y recibe los aportes de agua de una de las subcuencas. Es un territorio que sirve de referencia, desde el punto de vista metodológico, para abordar esta problemática en otras cuencas hidrográficas del País. Entre los factores de mayor incidencia están el suelo, la cubierta de la tierra, corrientes superficiales de agua y la pendiente. Es necesaria una estrategia en el uso y manejo de los recursos naturales, con énfasis en el agua, los suelos y la cubierta de la tierra. Dar seguimiento al problema con tecnologías avanzada de la información: Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS); Teledetección (TD); Modelo Asistido por Computadoras (CAD) y Sistema de Información Geográfica (SIG). Los objetivos del trabajo se sintetizan en: (1) crear el Sistema de Información Geográfica (SIG) para el territorio que aporta los sedimentos al referido embalse; (2) caracterización integral del territorio incidente sobre el embalse Niña Bonita, con énfasis en los aportes de sedimentos.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Arrastre y deposición, Cubierta de la tierra.

ABSTRACT: The importance of taking into account all the key factors that affect the process of sediment entrainment and deposition in the Niña Bonita reservoir, in the province of Havana, Cuba, is analyzed. This reservoir is located within the Jaimanitas River watershed and receives water supplies from one of the sub-basins. It is a territory that serves as a reference, from the methodological point of view, to address this problem in other watersheds of the Country. Among the factors of greatest incidence are the soil, the land cover, surface water currents and the slope. A strategy is needed in the use and management of natural resources, with emphasis on water, soils and land cover. To follow up the problem with advanced information technologies: Global Positioning System by Satellite (GPS); Remote Sensing (TD); Computer-Aided Model (CAD) and Geographic Information System (GIS). The objectives of the work are summarized in: (1) to create the Geographic Information System (GIS) for the territory that contributes the sediments to the aforementioned reservoir; (2) comprehensive characterization of the incident territory on the Niña Bonita reservoir, with emphasis on the contributions of sediments.

Keywords: Watershed, Entrainment and deposition, Land cover.

INTRODUCCIÓN

La deposición de sedimentos en los embalses es un proceso que contribuye, de forma significativa, al deterioro de esas fuentes de agua, las cuales se usan en diversas actividades, entre las cuales sobresalen el consumo humano y el riego de los cultivos. La importancia económica, medioambiental y social de este problema requiere que se analicen los aspectos fundamentales del mismo (Gonzalo & Mora, 2021). Entre esos aspectos sobresalen el volumen y características de los sedimentos en cada uno de los embalses que se estudie; uso que se le puede dar a los sedimentos extraídos de los embalses; procedencia de los sedimentos, en relación con el comportamiento de una serie

de componentes clave de los ecosistemas terrestres (ET) y agroecosistemas (AES) que inciden sobre el embalse en cuestión (Rivero et al. 2024). A este último aspecto está dedicado el presente trabajo, el que toma como ejemplo al embalse Niña Bonita, en la provincia La Habana.

El análisis integral del territorio donde se encuentre el embalse, es un problema clave para abordar lo referente al volumen y características de los sedimentos, así como su posible uso. Para esto tenemos en cuenta los principales factores incidentes, como la geología, el suelo, corrientes superficiales de agua, cubierta vegetal, pendiente del terreno, uso de la tierra y población, todos dentro de los límites de la cuenca y/o subcuenca que abastecen al embalse de que se trate.

Recibido: 12/10/2025

Aceptado: 20/03/2026

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores: **Conceptualización; Investigación; Validación:** Luis Rivero Ramos, Teresa Fraser Gálvez, Orlando Laiz Averhoff. **Curación de datos; Metodología; Redacción-borrador original:** Luis Rivero Ramos. **Análisis formal; Redacción, revisión y edición:** Luis Rivero Ramos, Teresa Fraser Gálvez.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Lo anterior implica que el análisis debe ser bajo un enfoque sistémico Rivero et al. (2024), para lo cual se aprovechan los avances que han alcanzado las tecnologías de la información, con su eje central en la Geomática y las cuatro áreas tecnológicas primarias de la misma (en lo adelante *ATPG*): Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS); Teledetección (TD), Modelo Asistido por Computadoras (CAD) y Sistema de Información Geográfica (SIG). En lo que va de este siglo estas tecnologías se han fortalecido con el desarrollo de programas muy avanzados para la adquisición, organización, procesamiento, análisis e integración de información McBratney et al. (2003); Malone et al. (2017) todo lo cual favorece la caracterización de los territorios donde están enclavadas las principales fuentes de agua, con énfasis en los embalses.

Lo planteado en el párrafo anterior ha permitido desarrollar una línea de trabajo en el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura, enfocada a la caracterización integral de territorios como paso previo al estudio de variables e indicadores de los componentes clave de ET y AES, en cuyo marco se inscribe el problema de los sedimentos en los embalses. Trabajos realizados en esta dirección se refieren a la incidencia conjunta de la cubierta vegetal, el clima y relieve sobre la erosión de los suelos y sus consecuencias Rivero et al. (2013), evaluación de indicadores de calidad del suelo García et al. (2024) y un esquema para la aplicación de tecnologías avanzadas de la información (TAInf) en el estudio, conservación y mejoramiento de ecosistemas terrestres (ET) y agroecosistemas (AES) propuesto por Rivero et al. (2025).

En el amplio marco de esta compleja problemática, es necesario considerar el aprovechamiento de la lluvia, lo que está relacionado con el hecho de que la agricultura de secano ocupa una gran parte de las áreas de cultivo en el mundo (Droogers & van de Giesen, 2010). De acuerdo con Herrera et. al (citados por Arcia & Herrera (2023), en Cuba solo está bajo riego el 8,7 % del área cultivable, lo que implica la necesidad de incrementar las áreas de riego. Al mismo tiempo, la necesidad del ahorro de agua.

En correspondencia con lo planteado en los párrafos anteriores, este trabajo se propone los siguientes objetivos: (1) crear el Sistema de Información Geográfica (SIG) para el territorio que aporta los sedimentos al referido embalse; (2) caracterización integral del territorio incidente sobre el embalse Niña Bonita, con énfasis en los aportes de sedimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y caracterización general del área de estudio

El área de mayor incidencia sobre el embalse Niña Bonita, desde el punto de vista del aporte de sedimentos y su posible uso, se muestra en la Figura 1. Se delimita la parte media superior de la cuenca hidrográfica del Río

Jaimanitas (línea roja), así como la subcuenca que abastece al embalse (línea amarilla). El Río Jaimanitas desemboca en la costa norte, en las inmediaciones del pueblo costero del mismo nombre; sin embargo, el área de mayor interés para este trabajo es la parte de la subcuenca cuyas aguas vierten directamente a la presa, situada al sur de la línea discontinua de color rojo. En la imagen se muestran áreas a ambos lados del límite de la subcuenca y hasta unos 3.5 km al norte de la línea roja discontinua, debido a que también se tiene en cuenta el posible uso de los sedimentos en el mejoramiento de suelos de pequeñas fincas, huertos, organopónicos y otros tipos de unidades productivas.

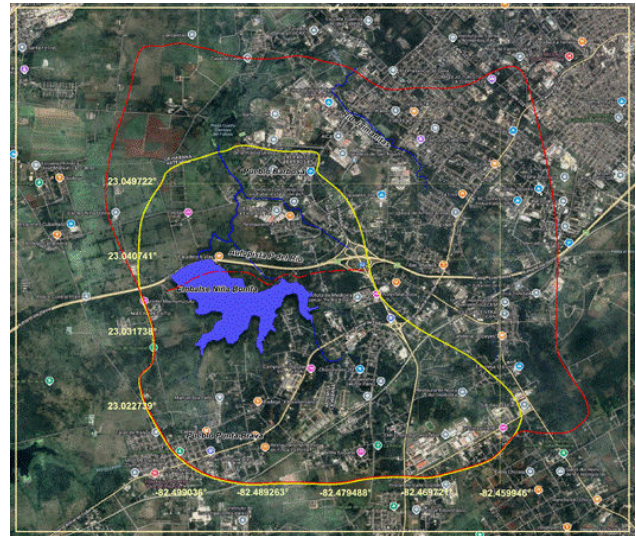


Figura 1. Límites de la parte media superior de la cuenca y subcuenca.

El centro del embalse se ubica por el Sistema de Coordenadas Long/Lat (WGS 84) (EPSG: 4326).

Longitud: -82.490462, Latitud: 23.034939

Coordenadas planas: 347232 m E, 356895 m N.

Área del embalse: 92.07 ha (920700 m²).

Capacidad de embalse aproximada: 4603500 m³

Área de vertimiento directo al embalse: 1014.56 ha

Año de construcción: 1970

Análisis previo del territorio

Se realizó el análisis previo del territorio sobre la base de imágenes de Google Pro de alta resolución, en las que se pudieron apreciar los elementos de superficie que resultan de mayor interés en el aporte de sedimentos al embalse de referencia. Se hizo énfasis en la configuración de la red de corrientes superficiales de agua que tributan al embalse (ríos y arroyos). Para esto, además de las imágenes, se utilizó el modelo de elevación digital del terreno (MEDT) creado a partir de curvas de nivel a intervalos de 2,5 metros. Se visualizó la distribución geoespacial (DGE) de la cubierta de la tierra en el referido territorio, la que está compuesta por diferentes formaciones vegetales, construcciones fabriles e infraestructura poblacional.

Para la visualización previa del relieve se utilizó un mapa de pendiente, creado a partir de las mismas curvas de nivel utilizadas para crear el MEDT. También se utilizó el mapa de suelos del territorio a escala 1: 25 000, al cual se le hicieron arreglos para adecuarlo a los objetivos de este trabajo. Después de los arreglos se hizo la correlación entre la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba utilizada en el Mapa Nacional de los Suelos de Cuba a escala 1: 25 000 [DNSF \(1998\)](#) y la Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 ([Hernández et al. 2015](#)).

El contenido de materia orgánica del suelo (MO %) y densidad aparente (d en Mg m^{-3}) se determinaron en cinco sitios de muestreo, distribuidos en la referida subcuenca (ver [Figura 2](#)). La MO se determinó en el laboratorio del Instituto de Suelos de acuerdo con NC 1043: 2014. La d se determinó por el método de los cilindros ([NC ISO 11 272, 2003](#)). Los datos se dan para la profundidad de 0 - 30 cm del suelo.

El criterio para definir grados de erosión es el siguiente:

- Débil o débilmente erosionado: el suelo ha perdido menos del 25 % del horizonte “A”
- Media o medianamente erosionado: el suelo ha perdido entre 25 y 75 % del horizonte “A”
- Fuerte o fuertemente erosionado: pérdida completa del horizonte “A” y entre 25 y 75 % del horizonte “B”

Creación del Sistema de Información Geográfica (SIG)

Para la creación del SIG se utilizaron los materiales e información referidos en el epígrafe anterior, procesada con el programa QGIS versión 3.14, a partir de lo cual se realizaron los arreglos pertinentes antes de conformar la versión final de la salida en formato digital.

Concepción metodológica para el análisis integral de factores incidentes

Se partió de la concepción de la incidencia de un conjunto de factores en cualquier tipo de proceso que ocurra en ET y AES, en este caso el proceso referido al arrastre y deposición de sedimentos en un embalse. Esos factores están estrechamente interrelacionados y se pueden clasificar de acuerdo con sus características y propiedades. Por ejemplo, un suelo aportará menos sedimentos al embalse en la misma medida en que esté protegido contra la erosión hídrica y, al mismo tiempo, esa protección está determinada por el comportamiento de otros factores como la cubierta vegetal, la pendiente del terreno y el uso de la tierra. Sobre esta línea y con tecnologías avanzadas de la información [Rivero et al. \(2024\)](#), podemos llegar a un valor único que define la medida en que una fracción del área total, incide sobre el objeto en cuestión, en este caso el embalse Niña Bonita. La fracción de área se definió como una cuadrícula de 10 x 10 m, sobre cada una de las cuales hay un determinado tipo de coincidencia de factores, y como estas coincidencias son finitas y repetitivas en el espacio, podemos crear una distribución geoespacial que define la forma en que cada sección de área ejerce

la incidencia sobre el embalse. Todas las salidas quedan contenidas en el SIG en forma de capas de información, cada una con la componente espacial (mapa) y una base de datos asociada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de Información Geográfica (SIG) del territorio

En cada territorio es de suma importancia contar con una distribución geoespacial y una base de datos, de modo que se facilite el monitoreo de los principales indicadores y variables que caracterizan al área de mayor incidencia sobre el embalse, lo que se puede extender al territorio que, de una u otra forma, tiene que ver con la fuente de agua en cuestión. El SIG incluye todos los elementos para la ubicación geográfica de la cuenca y la subcuenca que abastece al embalse. Con el modelo de elevación digital del terreno (MEDT), a partir de curvas de nivel cada 2.5 m y la pendiente, de conjunto con las corrientes superficiales de agua, queda determinada el área de aportes directos a la fuente de agua.

El SIG también contiene la información sobre los suelos del área y la cubierta de la tierra, los que resultan imprescindibles para el análisis de la problemática que se plantea el trabajo. En el análisis de la dimensión político-social del problema intervienen la distribución geoespacial de la población, la que está asociada a una forma determinada de la red vial y otros elementos del terreno, todo de forma interrelacionada con el arrastre y deposición de los sedimentos y las características específicas de estos.

Toda la información contenida en el SIG se puede apreciar sobre imágenes georreferenciadas de alta resolución, con la posibilidad de la ubicación exacta de objetos en las formas más modernas de aplicar los sistemas de coordenadas globales, con adaptaciones adecuadas para nuestro País ([Rivero et al. 2025](#)). A modo de ejemplo del SIG, se presenta la [Figura 2](#) para el área de aportes directos al embalse, con capas de información (temas) superpuestas y ejemplo de una serie de sitios de muestreo ([Tabla 1](#)). El SIG está conformado por conjuntos de archivos propios del programa (en este caso QGIS) y se maneja de forma automatizada en el momento de realizar las aplicaciones que corresponda.

El suelo representado en el sitio 3 pudo haber perdido el 50 % de su horizonte “A” de 0,18 m de espesor. De aquí deriva que de cada hectárea (ha) de ese suelo, se han ido con las aguas de escorrentía un aproximado de 1100 Mg. Una parte considerable de esa cantidad de partículas de suelos ha ido a parar al fondo del embalse, el que fue construido en el año 1970, hace algo más de 50 años. De esta forma, el suelo ha contribuido a formar la capa de sedimentos y al proceso de colmatación de la referida fuente de agua, así como a la afectación de su calidad. Nótese que nos estamos refiriendo solo a una ha de uno de los suelos, por lo que podemos imaginar lo que daría el cálculo para toda el área que tributa directamente al embalse.

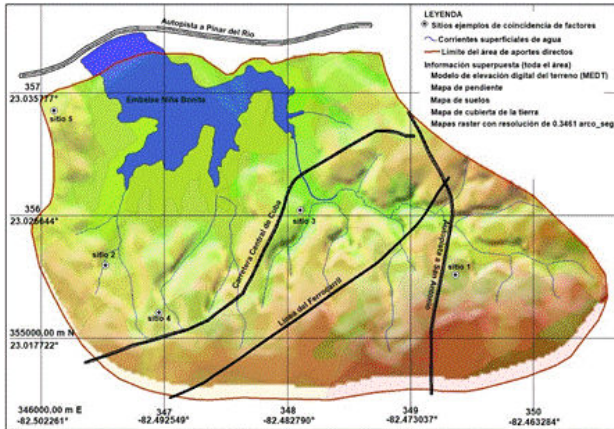


Figura 2. Ejemplo representativo del SIG del área de aportes directos al embalse.

Caracterización integral del territorio incidente sobre el embalse

El problema de los sedimentos no solo tiene incidencia sobre la fuente de agua afectada, sino también sobre el territorio circundante, que puede abarcar mayor o menor extensión y ser más o menos complejo (Figura 3). Es necesario integrar información, conocimientos y experiencia práctica (base cognitiva), lo que en la actualidad es posible a partir de una adecuada racionalización de tiempo y recursos a emplear en este empeño, para lo cual se han desarrollado tecnologías avanzadas de la información (TAInf).

La mayor parte de los sedimentos que llegan a los embalses en general, y específicamente para el caso de estudio, proceden de la erosión de los suelos que se encuentran aguas arriba y dentro de los límites de la cuenca hidrográfica y/o subcuencas que abastecen a estos tipos de depósitos de agua. También pueden llegar sedimentos procedentes de desechos sólidos y líquidos que van a parar a los cauces de ríos y arroyos, sobre todo en áreas con alta densidad de población, como es el caso que nos ocupa (Figura 3). Esto puede causar la contaminación de las aguas

con sustancias que son dañinas para la salud humana y animal, lo que se agrega al daño causado por la colmatación y la disminución de la capacidad de embalse.

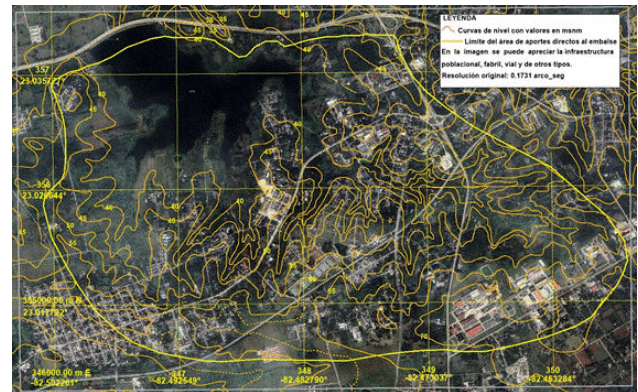


Figura 3. Vista del relieve y otros factores incidentes sobre el embalse Niña Bonita.

Para abordar los aspectos señalados en el párrafo anterior es necesario definir el área de mayor incidencia sobre el embalse, cuyos límites son los parteaguas que determinan los aportes a la fuente estudiada. En la Figura 3 esta área está delimitada con la línea amarilla para las partes sur, este y oeste de una subcuenca dentro de la cuenca hidrográfica Jaimanitas, mientras que el límite norte de los aportes está delimitado con la línea roja discontinua. El área de aportes ocupa una superficie de 1014,56 ha de tierra, dentro de la cual existen cuatro subtipos de suelos, de acuerdo con la Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 (Hernández et al., 2015). Por ser este el componente de mayor incidencia sobre el embalse, en la Tabla 2 se muestran los datos de mayor interés, de acuerdo con los objetivos del presente trabajo.

Por los subtipos de suelos y los grados de erosión, pudiera pensarse que los aportes de sedimentos no alcanzan valores muy altos; sin embargo, de la Tabla 2 se deduce que existen 586.50 ha con grados de erosión entre media y fuerte, las que han estado aportando sedimentos durante algo más de

Tabla 1. Ejemplos de coincidencia de los factores de mayor relevancia

Sitio No.	Factor suelo				Factor pendiente	Factor cubierta de la tierra
	Subtipo de suelo	Grado erosión	MO (%)	d en Mg * m ⁻³	Pend (%)	Tipo de cubierta y grado de cubrimiento
1	Ferralítico Rojo Agrogénico	Débil	4,18	1,23	0,50 a 1,00 Llano	Superficie arbolada con buena cobertura
2	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	Madia	2,89	1,21	1,10 a 2,00m Casi llano	Manigua, con una cobertura de la superficie deficiente
3	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	Media	2,75	1,22	4,10 a 8,00 Ondulado	Arboles con cultivos varios intercalados, cobertura de la superficie que varía entre adecuada y deficiente
4	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	Media	3,05	1,17	4,10 a 8,00 Ondulado	Arboles con cultivos varios intercalados, cobertura de la superficie que varía entre adecuada y deficiente
5	Fersialítico Rojo Erogénico	Fuerte	3,75	1,25	4,10 a 8,00 Ondulado	Manigua con cultivos varios intercalados. Cobertura de la superficie deficiente

50 años. En un trabajo de este tipo también es necesario considerar el régimen de lluvias y los cambios ocurridos por el efecto del cambio climático según Cutié & Lapinel (2013); no obstante, el presente artículo no se propone como objetivo entrar en todos los detalles que requiere esta arista del problema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arcia, P. J., & Herrera, P. J. (2023). Primera aproximación de agrupamiento espacial de suelos para la gestión del agua con fines de riego. *Ingeniería Agrícola*, 13(3), ISSN: 2227-8761.

Tabla 2. Datos de mayor interés de los suelos del área. Género

id	Subtipo de suelo	prof_m	grad_eros	MO (%)	d_apar	área_ha
1	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,34	Débil	3,18	1,12	34,35
2	Ferralítico Rojo Agrogénico	0,75	Débil	3,16	1,23	0,72
3	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	0,30	Fuerte	2,15	1,23	5,98
4	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,34	Débil	2,98	1,13	30,46
5	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,32	Débil	3,15	1,15	48,08
7	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,36	Débil	2,10	1,14	0,54
8	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,40	Débil	2,76	1,18	2,50
9	Fersialítico Rojo Erogénico	0,18	Fuerte	2,36	1,25	9,30
10	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,35	Débil	2,98	1,13	12,36
11	Ferralítico Rojo Agrogénico	0,68	Débil	4,15	1,28	12,12
12	Pardo Sialítico Pardo Gléyico	0,32	Débil	3,05	1,17	0,12
13	Ferralítico Rojo Agrogénico	0,70	Débil	3,75	1,20	33,45
14	Ferralítico Rojo Agrogénico	0,75	Débil	4,18	1,16	171,66
15	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	0,32	Fuerte	2,19	1,21	199,49
16	Pardo Sialítico Pardo Erogénico	0,35	Media	2,89	1,16	371,73

Leyenda: significado de los nombres de las columnas de la Tabla 2. Id = identificador numérico del área específica de suelos (polígono); prof_m = profundidad del perfil del suelo en m; grad_eros = grado de erosión; MO % = contenido en materia orgánica en porcentaje (profundidad 0 - 30 cm); d_apar = densidad aparente o peso volumétrico en Mg m⁻³ (profundidad 0 - 30 cm); area_ha = área en hectáreas.

CONCLUSIONES

- La metodología propuesta sigue una secuencia en la caracterización de una subcuenca hidrográfica que aporta sedimentos a una fuente de agua, para lo cual toma de ejemplo al embalse “Niña Bonita”, en la provincia La Habana, Cuba. Con el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) integra información de componentes clave en el aporte de sedimentos, como suelos, cubierta de la tierra, relieve del terreno y otros.
- El embalse “Niña Bonita” ocupa una superficie de 92.07 ha, con un área de vertimiento de 1014.56 ha y capacidad aproximada de 4603500 m³, la que se estima se encuentra muy afectada.
- El criterio de afectación deriva de que existen dentro del área de vertimiento 586.50 ha de suelos con categorías de erosión entre media y fuerte, lo que ha incidido sobre el embalse durante algo más de 50 años, a partir de la construcción en el año 1970.
- Para la continuidad de este tipo de trabajos, se recomienda profundizar en los cálculos de aportes de sedimentos, con estudios más detallados sobre el régimen de lluvias en los territorios de que se trate, así como la interrelación entre la lluvia y los demás factores incidentes.

Cutié, V., & Lapinel, B. (2013). *La Sequía en Cuba. Un Texto de Referencia*. Instituto de Meteorología, Centro del Clima.

Droogers, P., & van de Giesen, N. (2010). Food and Water: Analysis of potentially new themes in water management - future trends and research needs. https://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2011/05/BMBF_Food_v05.pdf

DNSF. (1998). Mapa Nacional de Suelos a escala 1: 25 000. [Documentos del Instituto de Suelos, La Habana, Cuba]. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.

García, C., Martínez, F., Rivero, L., Morales, A., Dueñas, G., Caraballo, A., Oliva, D., & Oliva Á. D. (2024). Evaluación de indicadores de calidad de suelos en la Finca “Los Olivas”, provincia de Matanzas. *Ingeniería Agrícola* 14 (2).

Gonzalo A. & Mora, J (2021). Gestión Integral de Sedimentos de Embalses: razones para su justificación. <https://www.google.com/search?channel=fs&client=ubuntu&q=Sedimentos+en+embalses>

Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos. Ediciones INCA; ISBN: 978-959-7023-77-7.

Malone, B. P., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2017). *Using R for Digital Soil Mapping*. Springer International Publishing.

- McBratney, A. B., Mendonca Santos, M. L., & Minasny, B. (2003). On Digital Soil Mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52.
- NC ISO 11272 (2003). Calidad del suelo, determinación de la densidad aparente en base al suelo seco. Publisher: Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Rivero, L., Ruiz, J., Rivero, M., & Tamariz, V. (2013). Los suelos, la cobertura vegetal y el relieve en el municipio de Tzicatlacoyan, estado de Puebla, México. *Revista GEOMINAS*, 61, 95-105.
- Rivero, L., López, S., Farradaz, M., Fuentes, E., Pérez, J. M., Demedio, M., Fraser, T., Beltrán, A., Morales, R., & La O, M. (2024). Metodología para la aplicación de Ciencia e Innovación Tecnológica en apoyo a seguridad alimentaria sostenible. *Ingeniería Agrícola*, 14(1).
- Rivero, L., Farradás, M., García, C., Beltrán, A., & Morales, M. (2025). Tecnologías Avanzadas de la Información (TAInf) en el estudio, conservación y mejoramiento de ecosistemas terrestres (ET) y agroecosistemas (AES). *Ingeniería Agrícola* 15.