



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Revista del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Aprovechamiento de los sedimentos de los embalses como nutrientes para la fertilización de suelos agrícolas en la República Dominicana

Use of reservoir sediments as nutrients for the fertilization of agricultural soils in the Dominican Republic

Bernardo Segura L^{1*}, Rita María Ferreira da Fonseca²

Recibido: 16/10/2019

Aceptado: 15/02/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

El proyecto de investigación “Aprovechamiento de los Sedimentos de Embalses como Nutrientes para la Fertilización de Suelos Agrícolas en la República Dominicana”, proyecto financiado por FONDOCYT-convocatoria 2015 y consorciado con la Universidad de Évora, Portugal; se abordó la problemática de la erosión en las cuencas hidrográficas y la sedimentación en los embalses Sabana Yegua ubicada en la región sur de la República Dominicana y Tavera en la región norte, con la finalidad de determinar la calidad nutricional de los sedimentos almacenados en los embalses, para utilizarlos como enmiendas mejoradoras de suelos en áreas degradadas de las cuencas, y de esta manera procurar una mayor capacidad de almacenamiento de agua en los embalses y mejorar su calidad, con el propósito de garantizar la generación de hidroelectricidad y abastecer la demanda de riego de los productores agrícolas. Este proyecto se inició en septiembre del 2016 y finalizó en agosto 2019. El método para realizar la investigación consistió en hacer muestreos de los suelos en las cuencas hidrográficas, los sedimentos dentro de los embalses, así como en el agua y determinar los elementos orgánicos e inorgánicos y los metales pesados. De esta manera evaluar la riqueza nutricional de los sedimentos de los embalses y los suelos de las cuencas, así como la calidad del agua, a través de análisis de laboratorio y ensayos agrícolas. Los resultados de los análisis mostraron que los sedimentos de los embalses tienen una mayor riqueza nutricional que los suelos de las cuencas. El agua resultó de buena calidad para el uso agrícola. Las conclusiones confirman los beneficios medioambientales de la utilización de los sedimentos como enmiendas agrícolas. Sin embargo, el análisis económico revela que la utilización de estos sedimentos como fertilizantes lo hace no rentable para los productores, debido a los altos costos de la extracción, desecación, transporte y aplicación a nivel parcelario. Sin embargo, se recomienda que se hagan otros estudios en nuevas zonas agroclimática y con otros cultivos más rentables para evaluar la rentabilidad.

Palabras clave: Embalse, sedimentación, erosión, fertilización

Abstract

The research project “Use of the Sediments of Reservoirs as Nutrients for the Fertilization of Agricultural Soils in the Dominican Republic”, supported by FONDOCYT-call 2015 and consorted with the University of Évora, Portugal. The problem of erosion in watersheds and sedimentation in Sabana Yegua reservoirs located in the southern region of the Dominican Republic and Tavera in the northern region is addressed, in order to determine the nutritional quality of sediments stored in reservoirs, to use them as soil improvement amendments in degraded areas of the basins, and thus ensure greater water storage capacity in reservoirs and improve their quality, with the purpose of ensuring hydroelectricity generation and supplying irrigation demand of agricultural producers. This project began in September 2016 and ended in August 2019. The method to carry out the research consisted of sampling the soils in the hydrographic basins, the sediments inside the reservoirs, as well as in the water and determining the organic elements and inorganic and heavy metals. In this way evaluate the nutritional richness of the sediments of the reservoirs and the soils of the basins, as well as the quality of the water, through laboratory analysis and agricultural tests. The results of the analysis showed that reservoir sediments have a higher nutritional richness than basin soils. The water was of good quality for agricultural use. The conclusions confirm the environmental benefits of using sediments as agricultural amendments. However, the economic analysis reveals that the use of these sediments as fertilizers makes it unprofitable for the producers, due to the high costs of extraction, desiccation, transport and application at the plot level. However, it is recommended that other studies be done in new agroclimatic areas and with other more profitable crops to assess profitability.

Keywords: Reservoir, sedimentation, erosion, fertilization.

1 Gestión sostenible de los Recursos Hídricos en los Estado Insulares del Caribe, CEHICA-INDRHI, Av. Juan de Dios Ventura Simó esq. Av. Jiménez Moya, Sto. Dgo., Rep. Dom. Apartado 1407 bernardosegura3@gmail.com

2 University of Évora, Portugal. Escuela de Ciencia y Tecnología, ICT. Instituto de Ciencia de la Tierra, Ambitierra Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental. rfonseca@uevora.pt

1. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología de la República Dominicana realiza convocatorias anuales a través del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico-Tecnológico (FONDOCYT), del Vice ministerio de Ciencia y Tecnología.

En la convocatoria FONDOCYT-2015, el Instituto Nacional de Recursos hidráulicos, (INDRHI), a través del Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA), conjuntamente con la Universidad de Évora Portugal, (UEVORA), formularon el proyecto de investigación Aprovechamiento de los Sedimentos de los Embalses como Nutrientes para la Fertilización de Suelos Agrícolas en la República Dominicana, esta investigación se hizo con la finalidad de evaluar la riqueza nutricional de los sedimentos de los embalses y así aprovechar esos nutrientes para fertilizar los suelos degradados en las cuencas hidrográficas de la República Dominicana.

El proyecto aborda el problema de la sedimentación excesiva en los embalses de Sabana Yegua y Tavera, así como el deterioro de la calidad del agua, agravado por periodos de intensas lluvias que periódicamente se presentan, convirtiendo estos sedimentos en un recurso natural renovable, a través de su extracción, clasificación y uso como fertilizante alternativo a los suelos agrícolas de las cuencas.

La República Dominicana tiene serios problemas con la sedimentación excesiva en los embalses, por la acción de la erosión en sus cuencas de drenaje, algunas en zonas montañosas con pendientes pronunciadas y con baja cobertura del suelo, realizadas por periodos de ciclones que se producen casi todos los años. Debido al origen volcánico de la isla Española, dominada por rocas basálticas, cenizas, brechas volcánicas, rocas volcánicas de distintas naturalezas químicas y piedra caliza, los materiales preferentemente lixiviados de los suelos son de dimensión fina, ricos en nutrientes y minerales de arcilla con alta capacidad de retención de iones. Estas partículas finas que retienen fácilmente los nutrientes minerales y orgánicos son transportadas y depositadas en los embalses, causando grandes problemas de sedimentación y disminución de la calidad del agua, en algunos embalses presentando síntomas de eutrofización.

El proyecto se llevó a cabo en los embalses de Sabana Yegua, localizado en la vertiente Sur de la cordillera central en la provincia de Azua de Compostela y en Tavera en la vertiente Norte de la misma cordillera. Estos embalses, no solo suministran agua de riego para cientos de hectáreas para el desarrollo agrícola, si no también sirven de generación hidroeléctrica y control de inundaciones.

El proyecto se inició en septiembre del 2016 hasta agosto del 2019, abarcando un período de ejecución de 36 meses, con un aporte del FONDOCYT de RD\$8,330,190.00 y un aporte de contrapartida del INDRHI de RD\$2,844,000.00 para un total de RD\$11,174,190.00 pesos.

El objetivo general del proyecto fue aprovechar los sedimentos almacenados en el fondo de los embalses para utilizarlo como enmiendas mejoradoras de suelos degradados y así aumentar su productividad y lograr una mayor capacidad de almacenamiento y calidad de agua. Los objetivos específicos fueron:

1. Estudiar la geoquímica, la física y la mineralogía de los sedimentos de los embalses seleccionados y su relación con la calidad del agua, para determinar su viabilidad en el uso agrícola y comprender el funcionamiento biogeo-químico de los mismos.
2. Determinar la dinámica de los procesos erosivos en la sedimentación de los embalses.
3. Definir estrategias de gestión adecuada para la recuperación y rehabilitación de embalses, para minimizar sus impactos ambientales y mejorar la calidad de los suelos empobrecidos de las cuencas.
4. Realizar ensayos agrícolas de fertilidad a escala piloto, con varias especies de plantas en diversos tipos de sedimentos, mezclados en diversas proporciones con suelo común de la región y comparar con el desarrollo de las plantas, y
5. Evaluar la viabilidad económica del proceso a gran escala, incluyendo la extracción, transporte y depósito de los sedimentos en los sitios seleccionados para su uso agrícola. En el país no se tenía ninguna experiencia relacionada al uso de los sedimentos como enmienda de fertilización en cultivos agrícolas, sin embargo en otros países como

Brasil, Norte de África y Portugal ya se habían hecho investigaciones y logrado buenos resultados.

2. METODOLOGÍA

2.1 Encuadramiento geológico

Los embalses de Tavera y Sabana Yegua son separados por la cordillera central de la isla, situándose Tavera al Norte, en una región más accidentada y lluviosa, y Sabana Yegua al sur, en una región más cálida y seca. Las cuencas de drenaje de Sabana Yegua y Tavera se caracterizan por la presencia de rocas Vulcano-sedimentarias de origen en arco-isla, tonalitas, areniscas, conglomerados y rocas volcánicas intermedias (figura 1). La principal diferencia entre la geología de las dos cuencas es que toda el área de Sabana Yegua y una parte de sus afluentes, encajan en formaciones sedimentarias, detríticas y carbonatadas.

Para el componente calidad de agua, dentro de los embalses, se realizaron mediciones in-situ y se

tomaron muestras de agua en un perfil vertical, en superficie, medio y en el fondo para análisis físico-químicos, microbiológicos, materia orgánica y metales pesados. Las muestras fueron almacenadas en neveras a 4 °C y trasladadas al laboratorio para su análisis posterior dentro del tiempo máximo de almacenaje recomendado en el STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 2005. Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio calidad de agua del CEHICA, centro UNESCO categoría 2. La figura 2 muestra trabajos de campo.

Las mediciones de los parámetros In-situ fueron: Temperatura, oxígeno disuelto, pH, redox y Conductividad Eléctrica, entre otros. También se analizaron los parámetros organolépticos, los iones mayoritarios (calcio, magnesio, sodio, cloruro, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio), bacteriológicos (coliformes totales, coliformes fecales, pseudomonas) materia orgánica (demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, aceites y grasas) y metales pesados (cobre, zinc, hierro y plomo).

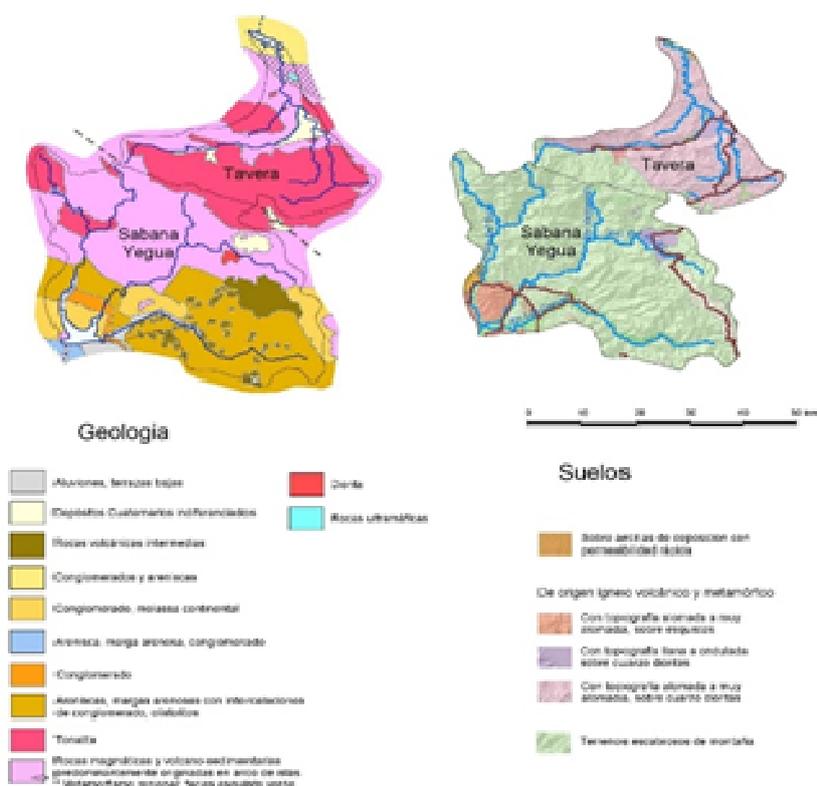


Figura 1. Encuadramiento geológico de las cuencas de las represas de Tavera y Sabana Yegua



Figura 2. Extracción de los sedimentos del fondo de los embalses

2.2 Muestreo de los suelos de las cuencas

Para el muestreo de los suelos, que representan la fuente más directa de los sedimentos depositados en los embalses, las cuencas fueron divididas en sectores, según las litologías dominantes.

La cuenca de Sabana Yegua fue dividida en cinco sectores con un total de diez puntos que fueron seleccionados con el fin de representar las 3 sub-cuencas en que se divide esta cuenca, que son: río Yaque del Sur, río Grande o del Medio y río Las Cuevas, acorde a las distintas litologías (figura 3). Estos sectores son: 1) Sector de la Tonalita, Presa de Palomino, (Yaque del sur); El Cercado Maldonado, (río Grande). 2) Sector de rocas magmáticas volcano-

sedimentarias predominantemente originadas en arco de islas, Los Fríos, Las Cañitas, El Castillo y Valle Nuevo-Constanza, (río Grande). 3) Sector frontera entre las rocas volcano-sedimentarias y las rocas Sedimentarias, Guayuyal, (Yaque del sur). 4) Sector de Terrazas (Conglomerados, arenas, molassa continental, caliza detrítica, etc.). Loma del Yaque, (Yaque del sur). Y 5) Sector de rocas Carbonatadas: calizas, calizas detríticas, areniscas calcáreas, margas, Los Indios, Padre Las Casas (con intrusiones de tonalita), (río Las Cuevas); El Naranjito Guayabal (con intrusiones de tonalita), (río Las Cuevas); Valle Nuevo, Constanza (con conglomerados y arenas continentales cercanas de las rocas volcano-sedimentarias del tipo arco), (río Las Cuevas).

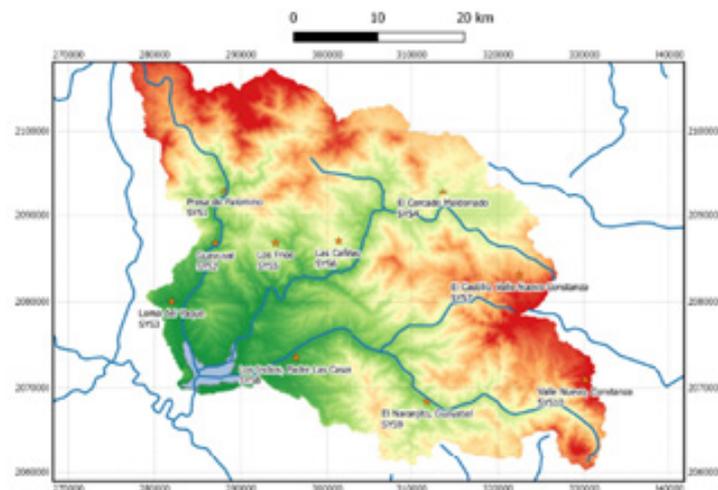


Figura 3. Puntos de muestreo de suelos representativos de las distintas litologías de la Cuenca de Sabana Yegua

En la cuenca de Tavera fueron escogidos los 8 puntos más representativos de la litología de la cuenca y el muestreo fue dividido en 5 sectores, de acuerdo con las rocas dominantes (figura 4). Los sectores son: 1) Sector de conglomerados, areniscas, calizas arrecifales, turbiditas. Tavera, El Caimito. 2) Sector de rocas magmáticas volcano-sedimentarias

predominantemente originadas en arco de islas, La Guama, Piedra Blanca, La Estacinta, Jarabacoa. 3) Sector de Tonalitas, El Corocito, Paso Bajito, Jimenoa. 4) Sector de contacto entre Tonalitas y rocas magmáticas volcano-sedimentarias, El Dulce. Y 5) Sector de Tonalitas a Oeste, Los Tablones y La Descubierta.

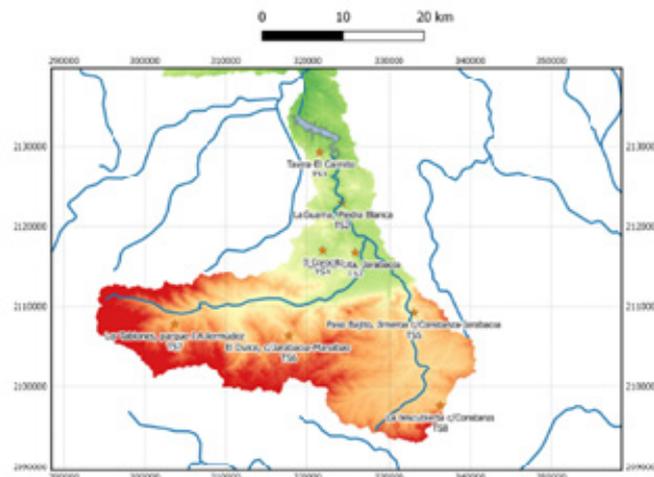


Figura 4. Puntos de muestreo de suelos representativos de las distintas litologías de la Cuenca de Tavera

2.3 Muestreo de sedimentos en los embalses

En los embalses, se eligieron los puntos de muestreo teniendo en cuenta toda la extensión del lago y las aportaciones de los principales afluentes. Fueron seleccionadas zonas de diferentes profundidades, incluyendo las zonas más profundas correspondientes al antiguo cauce del río principal y zonas menos

profundas, situadas cerca de las orillas (figuras 5 y 6). Se trató de obtener de este modo la máxima información sobre la distribución de los sedimentos en los embalses, desde la desembocadura de los afluentes a las zonas más remotas a lo largo de la pared de la presa. Todos los puntos fueron georeferenciado con GPS.



Figura 5. Distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos en el embalse de Sabana Yegua

El muestreo de los sedimentos se realizó en un bote utilizando una draga tipo Shipeck, lo que permitió una toma de la capa superficial del material depositado de 10 a 15 cm. Este muestreo, siempre controlado por la medición de la profundidad permite, después del análisis de las muestras hacer una caracterización preliminar de los sedimentos depositados y un mapeo del fondo de los embalses, teniendo en cuenta la batimetría.

Cada muestra se dividió en tres sub-muestras; una para los análisis granulométricos, mineralógicos y para la determinación de la geoquímica total. Se colocó en funda de plástico y se dejó a la temperatura ambiente. Las otras dos fueron destinadas al análisis de metales y nutrientes, se colocaron en recipiente de plástico cerrado en medio refrigerado con la ayuda de refrigerador-res y acumuladores en la embarcación y en el laboratorio en refrigeradores.

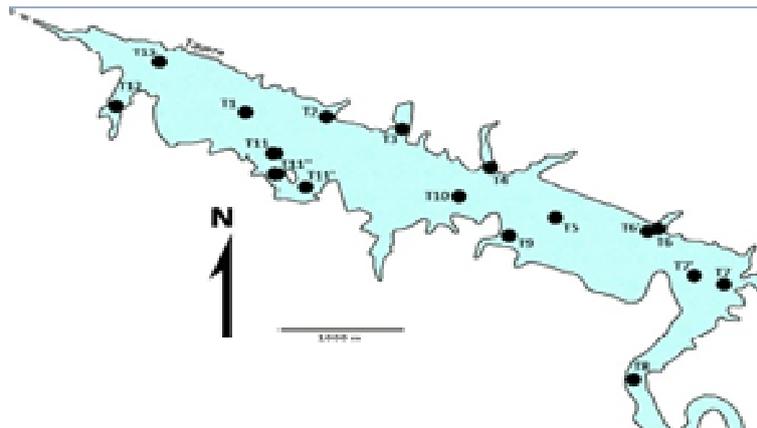


Figura 6. Distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos en el embalse de Tavera

2.4 Análisis textural de los suelos y sedimentos

Las etapas de preparación de las muestras de sedimento para el análisis de textura fueron las siguientes: i) destrucción de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno progresivamente más concentrado, durante 2-3 semanas, ii) secado en baño de arena y cribado con tamiz de 2 mm para separación de los elementos más gruesos y iii) separación de la fracción arenosa por cribado en húmedo.

Las fracciones retenidas en los tamices fueron secadas y pesadas, correspondiendo a las fracciones grava (> 2 mm) y arena (entre 2 mm y 63 μ m). La fracción más fina se procedió a la separación por pipeteado mediante la utilización de una Pipeta de Andersen después de la desfloculación de la suspensión con hexame-tafosfato de sodio 0,1M.

Después de agitación y al cabo de períodos de tiempo correspondientes a la velocidad de caída de las partículas según la ley de Stokes, las distintas fracciones muestreadas fueron secadas a 105 ° C y posteriormente pesadas. La clasificación de los materiales sedimentarios se hizo sobre la base de la

proyección de los porcentajes de cada fracción granulométrica (arena-limo-arcilla) en un diagrama triangular de Shepard, tal como se representa en la figura 7.

2.5 Análisis Geoquímico de Suelos y Sedimentos

Para una mejor representatividad analítica todos los ensayos químicos se realizaron con 3 réplicas de cada muestra (suelos y sedimentos), siendo presentados para cada muestra y para cada parámetro, el valor promedio. Para un mayor rigor analítico, en todas las soluciones químicas y diluciones de las muestras, se utilizó agua Milli Q de calidad ultra pura y todos los reactivos tienen cualidad pro análisis o pura (Ex: ácidos HNO₃, HCL y HF).

Todos los análisis químicos en los suelos se realizaron en la fracción inferior a 2 mm, y esta fracción se obtuvo mediante cribado por tamiz de malla 2 mm. Esta separación se efectúa teniendo en cuenta que la fracción más gruesa del suelo se compone mayoritariamente de granos de cuarzo y fragmentos líticos, desprovistos de cualquier actividad química.

2.6 Análisis del fósforo total en forma de fosfato

La fracción total de fósforo se estima a partir de la cantidad de fósforo extraída con H₂SO₄ 1N en una muestra quemada a 550°C, para convertir todas las formas orgánicas de este elemento en formas inorgánicas, de más fácil cuantificación. La determinación del fósforo se realizó por espectroscopia de absorción molecular UV/visible por el método del ácido ascórbico molibdato de amonio.

i. Análisis de los nutrientes en formas biodisponibles

Dada la gran importancia que desempeñan las formas disueltas o fácilmente movilizadas de los elementos (formas disponibles o asimilables), en el crecimiento y producción vegetal, en suelos y sedimentos de los embalses se determinaron sus contenidos en relación con los elementos cuya presencia es indispensable para la nutrición pero que generalmente se encuentran en deficiencia en la mayoría de los suelos. Se incluyen en este grupo, los macronutrientes principales (N, K, P, Ca y Mg) y los micronutrientes metales (Fe, Mn, Cu y Zn.). La importancia de la evaluación de estos últimos sigue siendo que encima de determinados límites los valores se consideran tóxicos.

ii. Análisis del Fósforo y Potasio Biodisponibles

El método utilizado en las muestras (método de Egner-Riehm) se basa en la extracción de las combinaciones fosfatadas y del potasio de intercambio y soluble del suelo y sedimentos, por agitación con una solución de lactato de amonio en medio acético. En el caso del fósforo, la solución actuará mediante el control del pH y de la actividad del calcio (los dos principales factores que condicionan la solubilidad y la consiguiente asimilación del fósforo); en relación al potasio actuará a través del intercambio de K⁺ adsorbido por el NH₄⁺ introducido cuando se une el reactivo. Al considerarse como fósforo y potasio "asimilables" las cantidades de aquellos nutrientes que pasan al extracto después de agitar el suelo/sedimento con la solución extractiva, se supone que esas cantidades corresponden a las que, efectivamente, las raíces de las plantas serían capaces de asimilar. La determinación del fósforo se realizó por espectroscopia de absorción molecular UV/visible por el método del ácido ascórbico molibdato de amonio, mientras que el potasio fue determinado por espectrometría de emisión óptica con plasma inducido (ICP-OES).

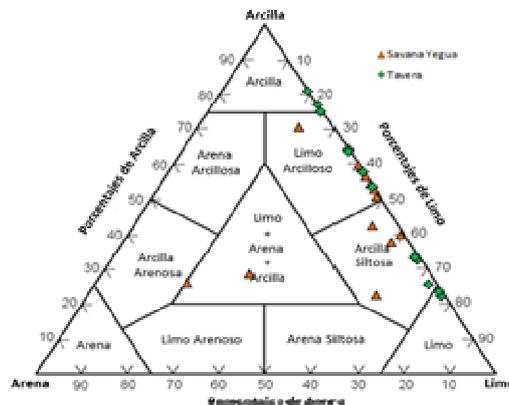


Figura 7. Proyección de los porcentajes de las principales fracciones granulométricas en un diagrama triangular de Shepard, para clasificación textural de los sedimentos de los dos embalses.

2.7 Análisis del calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc biodisponibles

La extracción de los macro-nutrientes (Ca y Mg) y micronutrientes metales (Fe, Mn, Zn, Cu) esenciales al desarrollo de las plantas se basó en el método de Lakanen y Ervio en que las muestras son agitadas en una solución extractante de acetato de amonio y

EDTA en medio ácido con ácido acético. Todos los elementos fueron analizados por ICP-OES (Perkin-Elmer, Óptima 8300).

iii. Análisis de la fracción total de elementos mayores (Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca, K, Na, Mn, P) y menores (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V, Zn)

El análisis geoquímico de la fracción total de las muestras geológicas requiere que toda la muestra pase a la fase soluble para poder analizarla en relación a todos los principales elementos químicos. La metodología utilizada para la extracción de los elementos químicos para la fase acuosa depende de las características químicas de los elementos. Los elementos que existan incorporados en minerales refractarios sólo pasarán en su totalidad a la fase soluble si se fusionan las muestras. Por otro lado, elementos que puedan evaporarse a altas temperaturas, como es el caso de la mayoría de los elementos metálicos, As y Hg, deberán ser cuantificados en muestras digeridas con soluciones ácidas. De este modo, en las muestras de suelos y sedimentos se utilizaron dos tipos de extracción:

- Fusión a temperatura de 1000°C para análisis de elementos mayores (Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, Mn, P) y elementos existentes en minerales muy resistentes (Cr, Sn, Ba, Sr);
- Digestión con solución triácida (HCl-HNO₃-HF) - para análisis de elementos metálicos (Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Co, Ag), V, As.

2.8 Fusión de las muestras para análisis de la geoquímica total

Las muestras finamente molidas se mezclan con reactivo fundente (Spectroflux 100 B, metaborato y tetraborato de litio) para permitir la fusión de todos los minerales a temperaturas menores que 1000°C. La fusión se da en las muestras colocadas en crisoles de grafito puro, en horno a 1000°C. Después de la fusión, se obtiene una perla de material fundido que se disuelve en solución ácida nítrica, por agitación continua. Las muestras se filtran a fin de retirar las partículas de grafito y se miden a un volumen constante.

Para probar la fertilidad de los sedimentos se realizó un ensayo en tarros con mezclas de sedimento y suelo de las cuencas en diferentes proporciones, (100% suelo testigo, 25% sed-75% suelo, 50% sed-50% suelo, 75% sed-25% suelo), resultando la mezcla (25% sed-75% suelo) la más apropiada para el desarrollo del cultivo de aji gustoso. Figura 8.

2.9 Análisis Económico

El análisis económico consistió en el análisis de los siguientes aspectos, los cuales mostraron la factibilidad de la extracción de los sedimentos de las presas para ser usados como enmiendas agrícolas.

- i) Costos e inversiones asociados al proceso de extracción de sedimentos de las presas,
- ii) Costo de producción de ajíes,
- iii) Costo de producción con incorporación de sedimentos al terreno como elementos fertilizantes para la producción de ajíes,
- iv) Comparación de costos de producción de ajíes usando la incorporación de sedimentos versus fertilización convencional,
- v) Comparación de la productividad de ajíes usando la incorporación de sedimentos versus fertilización convencional,
- vi) Valoración de los beneficios asociados a la extracción del sedimento de los embalses de las presas,
- vii) Incremento del volumen del embalse,
- viii) Incremento en la capacidad de generación de energías eléctrica,
- ix) Mejora en la calidad del agua,
- x) Determinación de la rentabilidad del uso de los sedimentos como enmienda de fertilización de los suelos.



Figura 8. Cultivo de aji gustoso en mezcla de sedimento y suelo

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este artículo solo se publicaran algunos resultados más significativos, debido que se hace imposible por limitaciones de espacio exponer en detalle todos los elementos analizados y obtenido en esta investigación.

3.1. Textura de los sedimentos

Para evaluar la fertilidad de los sedimentos en los embalses, entre las propiedades físicas, la textura es

uno de los parámetros más importantes, ya que (1) determina la tasa de penetración y de retención de agua, (2) facilita la aireación, (3) ejerce una influencia directa en la fertilidad (en función del tamaño de las partículas, existe una mayor o menor capacidad de retención y de disponibilidad de nutrientes). Los datos relativos al porcentaje de las 3 principales clases dimensionales (arena, limo y arcilla) en los dos embalses, están representados en la tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes de las 3 principales clases granulométricas de los embalses Sabana Yegua y Tavera

Embalse de Sabana Yegua			
Muestras	% Arena	% Limo	% Arcilla
Sy1	0,036	41,254	58,710
Sy2	0,052	43,727	56,221
Sy3	0,029	47,358	52,613
Sy4	3,713	58,632	37,655
Sy5	0,078	40,374	59,548
Embalse de Tavera			
T1	0,041	23,246	76,713
T2	0,261	18,982	80,757
T3	0,145	36,096	63,759
T4	0,632	67,137	32,232
T5	0,047	42,534	57,418

Para la identificación de los principales tipos sedimentarios en los dos embalses, los valores porcentuales de arena, limo y arcilla obtenidos a través del análisis granulométrico, fueron representados a través de gráficos de barras (figura 9) y proyectados en diagramas triangulares de Shepard (figura 7), lo que permitió una congruente clasificación de los sedimentos estudiados. Para una mejor comparación en relación a los materiales de origen, los datos de la granulometría de los suelos, obtenidos por el equipo del laboratorio de suelos del INDRHI. El análisis conjunto de la geología de las cuencas de drenaje y de los datos de distribución de las clases texturales de los sedimentos de fondo referentes a un período de mayor acarreado detrítico nos lleva a concluir que en cualquiera de los sistemas estudiados la naturaleza del material originario y el clima, dominado por una precipitación elevada y uniforme en la cuenca de Tavera y por condiciones más secas en Sabana yegua, son los factores preponderantes en la distribución granulométrica de los materiales. Los sedimentos distribuidos revelan una gran homogeneidad textural, reflejo de la uniformidad litológica de sus cuencas de drenaje y de

las altas tasas de precipitación anual, lo que facilita el aumento de la energía hídrica en los embalses, facilitando la mezcla y calibración de las partículas sedimentarias. La gran influencia de estos factores sobre la distribución sedimentaria es igualmente notoria en las diferencias texturales registradas entre los sedimentos de los dos embalses. Algunos sedimentos de Sabana Yegua tienen mayor componente arenosa lo que indica una mayor influencia de las rocas detríticas que afloran en las cuencas, mientras que en Tavera, los sedimentos con textura más uniforme y más fina, son predominantemente arcillosos y limosos, lo que refleja una litología fina y de mayor homogeneidad, representada por rocas vulcano-sedimentarias de origen en arco-isla, tonalitos y volcánicas intermedias, y por condiciones climáticas más lluviosas, que promueven una mayor distribución de las poblaciones granulo-métricas. La distribución sedimentaria en los dos embalses resalta la importante contribución de elementos finos en el fondo de los embalses. Las clases granulométricas preponderantes son arcilla limosa y limo arcilloso que se depositan preferentemente en el antiguo lecho

de los cursos de agua principales donde se registran las mayores profundidades. Solo en Sabana Yegua, que tiene contribución de una mayor diversidad de litologías, donde se incluyen rocas vulcano-sedimentarias y volcánicas intermedias, tonalitas y rocas sedimentarias detríticas y carbonatadas, se observa un componente arenoso más importante en las zonas menos profundas (muestras SY14 – SY12 – SY10), correspondientes a las entradas de los cursos de agua de alimentación y a las zonas marginales, menos profundas. En relación con los suelos, los sedimentos tienen una textura más fina y más homogénea, lo que refleja (1) la erosión selectiva de las partículas más finas y menos densas de los suelos que son lixiviadas y transportadas al interior de los embalses y (2) la calibración ocurrida por los procesos naturales de transporte de las partículas, desde la erosión de los suelos y rocas de origen hasta su deposición. Además, los suelos analizados son muy heterogéneos por representar las distintas litologías de las cuencas de drenaje. Desde el punto de vista de la fertilidad, la dominación de los sedimentos de textura fina es extremadamente importante, ya que estos constituyen la parte químicamente más reactiva de los sistemas lacustres, al favorecer la acumulación de la materia orgánica detrítica y al presentar mayor potencial en la interacción con el agua (lo que conduce a la mayor retención de elementos nutritivos).

3.2 Geoquímica de los Suelos y Sedimentos

La composición química de los sedimentos de fondo es quizás uno de los factores más importantes en la evaluación de su capacidad en términos de nutrición vegetal. Al igual que la mayoría de los suelos, estos sedimentos constituirán la fuente de todos los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (con excepción del oxígeno, el hidrógeno y el carbono), la importancia de su estudio químico reside en el conocimiento de la concentración de los elementos nutritivos y de las condiciones que los hacen asimilables para las plantas. Tal conocimiento hace posible evitar la toxicidad resultante del exceso de determinados elementos.

3.2.1 Fósforo total en forma de fosfato, fósforo y potasio biodisponibles.

Se consideran macro-nutrientes principales los elementos químicos esenciales para el crecimiento y producción vegetal y que son absorbidos en mayor cantidad por las plantas. En la mayoría de los suelos no existen en cantidades suficientes, siendo necesario recurrir a su aplicación en forma de fertilizantes. En

el estudio de la evaluación de las potencialidades agrícolas de un determinado suelo, se consideran elementos prioritarios, por lo que en este trabajo se les ha atribuido mayor relevancia. Por la carencia de estos elementos en la generalidad de los suelos, en caso de que sus valores sean elevados en los sedimentos de los embalses, éstos podrán, eventualmente, ser utilizados como fertilizantes, con todas las consecuencias positivas que de ello derivan. El mejoramiento de las propiedades químicas y físicas de los suelos sujetos a procesos erosivos intensos, se basa en el suministro de aditivos que contengan cantidades apropiadas de nutrientes, pero, para evitar problemas de contaminación, estos aditivos deberán ser íntimamente relacionados con el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Por este motivo, los fertilizantes minerales tienen todas las ventajas de los fertilizantes químicos, pero su calidad debe estar estrictamente controlada. Estos fertilizantes minerales pueden ser los sedimentos acumulados en el fondo de los embalses, si éstos han concentrado los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo vegetal y no tienen significativas concentraciones de elementos tóxicos. Los macro-nutrientes principales son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Desde el punto de vista de la fertilidad, el fósforo es un constituyente esencial de todas las células vivas y entra en composición con los grupos más importantes para el metabolismo de las plantas. Su acción se ejerce de forma notable en la calidad de las producciones agrícolas, influyendo en la floración, fructificación, formación de las semillas y maduración. En los embalses el fósforo retenido en los sedimentos es el elemento clave para la eutrofización, en virtud de su papel como un elemento limitante de crecimiento en la mayoría de las aguas dulces, y debido a que estos materiales sedimentarios desempeñan un papel central en el ciclo de este elemento. La mayoría de los sedimentos son susceptibles de extraer del agua grandes cantidades de ortofosfato cuando las concentraciones de este elemento aumenta y de liberarlo cuando las concentraciones en el agua disminuyen, por necesidades biológicas. En virtud de este equilibrio dinámico del fósforo entre los sedimentos y el agua, durante el período estival, cuando las fuentes externas que suministran los nutrientes son escasas o incluso nulas, la liberación del fósforo existente en los sedimentos y su disolución en la columna de agua es un importante factor para los blooms de fitoplancton normalmente comprobados en la mayoría de los embalses, que pueden reducir drásticamente las provisiones de oxígeno del medio.



Figura 9. Valores porcentuales arena, limo y arcilla en los sedimentos y suelos de las cuencas de Tavera y Sabana Yegua

A la vista de estos dos procesos químicos se puede considerar que, si por un lado el exceso del fósforo retenido en los sedimentos de la mayoría de los embalses se vuelve perjudicial para todo el desarrollo de estos sistemas, por otro, podrá ser ampliamente ventajoso si se procede a una recogida de las capas superficiales (donde se concentran preferentemente la mayoría de los nutrientes) y si se utilizan como suelos o aditivos en suelos estériles, evitando así la recurrencia a los fertilizantes.

El potasio, aunque sea absorbido en grandes cantidades por los vegetales (del orden de magnitud del nitrógeno), no interviene en la composición de sus sustancias vitales. Sin embargo, desempeña importantes funciones en la síntesis de muchos de los compuestos, manifestándose su deficiencia a través de graves perturbaciones en la planta.

Con un origen esencialmente en la meteorización de minerales silicatados como los feldspatos potásicos, moscovitas y biotita (≈90%), minerales muy comunes en cualquiera de las cuencas de drenaje, no se podrá despreciar la procedencia de una pequeña parte de este elemento a partir de actividades humanas en particular las relacionadas con la utilización de los fertilizantes. A pesar de tener fundamentalmente origen detrítica e inorgánica, es un elemento biogénico debido a su utilización por la vegetación. Por este motivo, su contenido en el medio acuático sufre variaciones acentuadas en función del ciclo vegetativo de las plantas.

En vista a la totalidad de los embalses, los contenidos de la fracción total de fósforo en forma de fosfato de los sedimentos son más elevados y más heterogéneos en Sabana Yegua (figura 10), poseyendo el valor más alto, el sedimento localizado en la entrada del río de las Cuevas (SY14), bajo la influencia del sector de rocas carbonatadas constituidas por calizas, calizas detríticas, areniscas calcáreas y margas. También se verifica heterogeneidad en los contenidos de fósforo en los suelos de la cuenca, con valores más elevados observados en 3 distintos tipos de suelos, pertenecientes a 3 distintas sub-cuencas: (1) suelo SYS7 en el sector de rocas magmáticas volcano-sedimentarias predominantemente originadas en arco de islas en la sub-cuenca de Rio Grande o del Medio, (2) suelo SYS3 ubicado en el Sector de Terrazas (Conglomerados, arenas, molassa continental, caliza detrítica) en la sub-cuenca Yaque del Sur y (3) suelo SYS8 en el sector de rocas carbonatadas: calizas, calizas detríticas, areniscas calcáreas, margas en la sub-cuenca de Rio de Las Cuevas. Aunque con una distribución heterogénea, los valores medios de P-PO₄ en la fracción total, es muy idéntica en los suelos (valores medios de 3184,86 mg P-PO₄/Kg) y sedimentos (valores medios de 3114,10 mg P-PO₄/Kg). En Tavera, la distribución de los contenidos de fósforo en los sedimentos, es muy homogénea en toda la extensión del embalse (figura 11), con valores medios ligeramente más bajos que en Sabana Yegua (2569,856 mg P-PO₄/Kg), lo que indica una mayor homogeneidad en la sedimentación de este sistema.

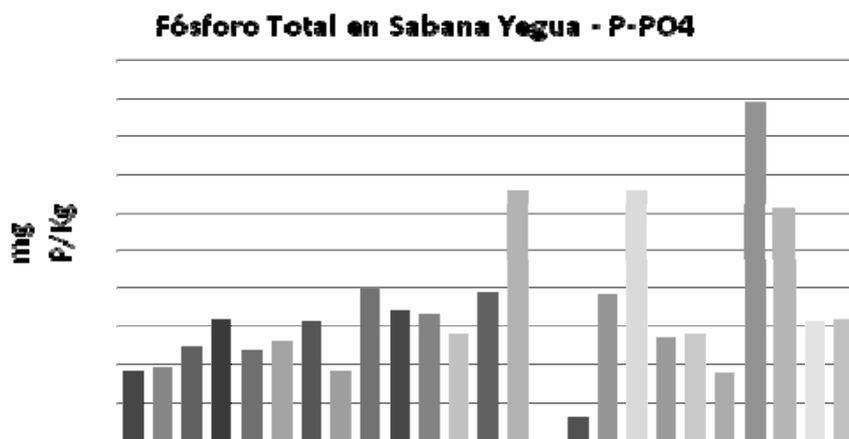


Figura 10. Distribución de los contenidos medios de P-PO₄ en la fracción total de sedimentos de Sabana Yegua y en los suelos de su cuenca

La misma homogeneidad se observa en los suelos de la cuenca, posiblemente reflejo de su mayor uniformidad litológica, en relación con la cuenca de Sabana Yegua, donde aflora una mayor variedad de rocas. Los valores medios de los suelos de la cuenca

son significativamente más bajos (valores medios de 604,71 mg P-PO4/Kg) cuando comparados con los sedimentos, indicando un enriquecimiento de este importante nutriente en los materiales depositados en los embalses.

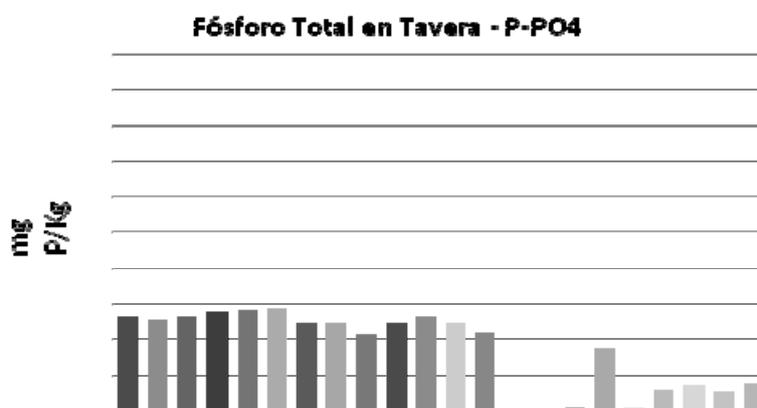


Figura 11. Distribución de los contenidos medios de P-PO4 en la fracción total de sedimentos de Tavera y en los suelos de su cuenca

De las diferentes formas de fósforo retenidas en los sedimentos, sólo el fósforo inorgánico soluble en forma de ion ortofosfato es directamente accesible y asimilable por las plantas acuáticas, siendo sus altos contenidos los principales responsables de la eutrofización de los embalses. En los suelos, es también esta forma de fósforo que las plantas terrestres más fácilmente asimilan, siendo su concentración una medida del nivel de fertilidad. La concentración de estos iones en la solución del suelo es, sin embargo, muy reducida, por lo que en la mayoría de las producciones agrícolas es necesario recurrir a su utilización en forma de fertilizantes. En términos de asimilabilidad, la segunda fracción más disponible corresponde al fósforo adsorbido a la fase sólida. Cuando se compara con los límites tabulados para suelos agrícolas, los análisis del contenido de fósforo disponible efectuados en los sedimentos de

los embalses, muestran valores medios a bajos (tabla 2), en Sabana Yegua y Tavera, aunque considerablemente más elevados que los valores correspondientes en los suelos de sus cuencas, que son clasificados como muy bajos, mientras que (1) los valores de la fracción total de fósforo son muy similares en los sedimentos y en los suelos de sus cuencas y son relativamente homogéneos y (2) los contenidos de la fracción disponible son más bajos en los suelos y con mayor heterogeneidad, se puede deducir que los procesos de solubilización del fósforo deberán ser marcadamente diferentes en los 2 conjuntos de materiales geológicos, suelos y sedimentos. Esta diferencia deberá basarse fundamentalmente en la distinta composición mineralógica y química de los sedimentos de fondo, la cual condiciona una mayor o menor retención de este elemento.

Tabla 2. Clasificación de la Fertilidad del suelo, en relación a los contenidos de P y K disponibles

Clasificación de la Fertilidad del suelo		P e K (mg.kg ⁻¹)
Muy baja		< 25
Baja		25-50
Media		50-100
Alta		100-200
Muy Alta		> 200

En la figura 12 están representadas las relaciones entre los valores de las dos formas de fósforo, total y disponible, en los sedimentos y suelos de los dos embalses, donde es posible comprobar una disminución de la proporción P disponible / P total en los suelos y valores ligeramente más bajos de la forma más soluble de P en los sedimentos de Sabana Yegua en relación a los de Tavera.

De acuerdo con la posibilidad para ser absorbido por las plantas, el potasio existente en los suelos y los sedimentos se puede subdividir en cuatro formas: (1) potasio en la estructura del mineral (no intercambiable), (2) potasio fijado en los minerales de arcilla, (3) potasio adsorbido en coloides minerales y orgánicos (forma rápidamente permutable) y (4) potasio en solución. Este último

constituye la forma más prontamente disponible para la absorción, encontrándose generalmente en los suelos en concentraciones muy bajas. Como no posee retención química, si no es inmediatamente asimilado es fácilmente lixiviado por las aguas, siendo posteriormente reabastecido por las otras formas que van, de este modo, a tener una importancia vital en la disponibilidad de este nutriente. El potasio adsorbido en los coloides (minerales y orgánicos) forma parte de las principales bases de intercambio, pudiendo ser fácilmente solubilizado por intercambio con otros cationes existentes en solución o ser directamente absorbido por las plantas a través de fenómenos de intercambio por contacto. Por esta razón se considera como una forma fácilmente permutable, siendo su contenido muy importante en términos de fertilidad.

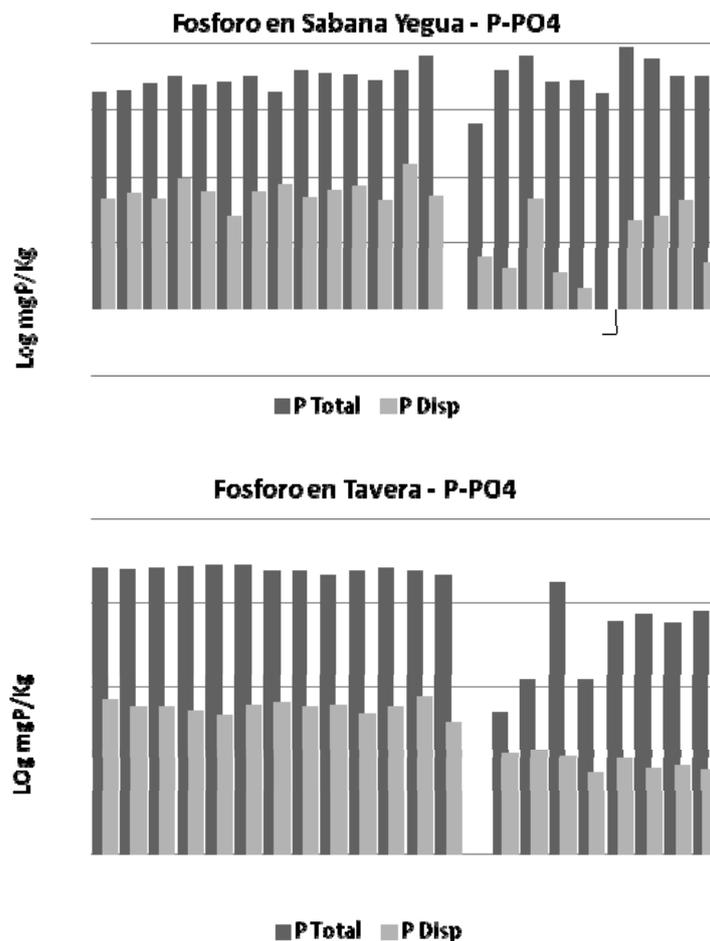


Figura 12. Relación entre los contenidos de P total y P disponible en los sedimentos y suelos de Sabana Yegua y Tavera

El potasio existente en solución es la forma directamente utilizable por las plantas y su concentración constituye un índice de disponibilidad inmediata de este elemento así, es la forma de potasio con mayor interés desde el punto de vista de la fertilidad. En la mayoría de los suelos, su contenido es relativamente bajo, representando una pequeña fracción (en promedio inferior al 2%) del potasio total. Los contenidos de esta forma potásica en los sedimentos de los dos embalses, independientemente de su distribución espacial y de las características de los sedimentos, son en general altos a muy altos, siendo en general superiores a sus contenidos en los suelos (tabla 3). Sabana Yegua tiene los sedimentos con valores más altos, debido probablemente a su litología más rica en minerales potásicos, como moscovita, biotita, ilitas y feldespato-K. Estos minerales deberán ser más frecuentes en las rocas detríticas del sector de rocas carbonatadas: calizas, calizas detríticas, areniscas calcáreas y margas de la

sub-cuenca del Río de Las Cuevas. Con efecto, los suelos que tienen contenidos más altos de K disponible (SYS8 y SYS9) están ubicados en las márgenes de este río. Los valores más elevados de la forma más disponible de potasio en los sedimentos en relación a los suelos de las respectivas cuencas se podrán deber a una mayor facilidad de liberación de este elemento en la fase soluble, que puede ser facilitado por diversos factores entre los que se incluyen: (1) un alto porcentaje de componente de arcilla en la mayoría de los sedimentos, (2) un ambiente químico y biológico propicio a procesos de alteración y (3) predominio de minerales potásicos fácilmente alterables. Los altos contenidos de la forma de potasio más fácilmente absorbible por las plantas (potasio soluble) en los dos embalses estudiados, indican la buena calidad de los materiales depositados en el fondo de estos embalses para aprovechamiento agrícola, en lo que se refiere a este nutriente.

Tabla 3. Contenido de K y P en formas disponibles en los sedimentos y suelos de Sabana Yegua y Tavera

Sabana Yegua			Tavera		
Muestras	K Disp (mg/Kg)	P Disp (mg/Kg)	Muestras	K Disp (mg/Kg)	P Disp (mg/Kg)
SEDIMENTOS					
SY1	200,084	49,191	T1	87,002	70,750
SY2	336,740	59,733	T2	98,385	57,138
SY3	195,485	48,964	T3	98,734	56,623
SY4	204,435	95,946	T4	117,055	51,729
SY5	247,965	62,712	T5	102,370	46,281
SY6	239,420	24,977	T6	96,381	59,297
SY7A	169,354	61,397	T7	82,281	65,867
SY8A	176,221	77,478	T8	83,430	57,631
SY9	187,438	50,537	T9	82,047	60,878
SY10	156,445	65,746	T10	84,055	46,818
SY11A	220,411	76,223	T11	112,421	58,087
SY12	175,407	45,954	T12	126,736	80,681
SY13	141,739	154,139	T13	87,866	39,421
SY14	144,476	51,779			
SUELOS					
SYS1	56,720	6,067	TS1	74,843	16,194
SYS2	183,564	4,127	TS2	128,125	17,521
SYS3	249,459	47,894	TS3	169,493	15,076
SYS4	65,944	3,709	TS4	52,257	9,494
SYS5	103,886	< 2,00	TS5	45,106	14,041
SYS6	98,813	0,399	TS6	83,187	10,784
SYS7	132,579	21,781	TS7	112,655	11,638
SYS8	484,917	25,293	TS8	93,551	10,767
SYS9	498,361	45,956			
SYS10	77,434	4,941			

Una vez dragados los sedimentos y expuestos a condiciones aéreas (para ser utilizados como suelos o aditivos), se crean las condiciones favorables a un aumento de los procesos de alteración que, asociados a texturas generalmente finas y a altos niveles de biotita en las formaciones de las cuencas de drenaje, conducirán probablemente a un aumento de los niveles de las formas soluble y de cambio de este elemento.

3.2.2 Macronutrientes secundarios (Ca y Mg) y micronutrientes metales (Fe, Mn, Zn, Cu) biodisponibles

Los macronutrientes secundarios, no siendo menos importantes para las plantas que los macronutrientes principales, existen generalmente en los suelos en cantidades suficientes. Son elementos de origen fundamentalmente detrítico, por lo que las variaciones presentadas entre los dos embalses y en el mismo embalse en toda su extensión (Fig. 13), están relacionadas con la naturaleza de las rocas de las cuencas de drenaje, con el transporte de las partículas minerales ricos en Ca y Mg y con las condiciones hidrodinámicas del medio. En cualquiera de los elementos existe notoriamente mayor dispersión de contenidos en lo embalse que tiene mayor diversidad de litología, Sabana Yegua. Este es también el embalse con valores más altos en los sedimentos, en especial de calcio, lo que está de acuerdo con la presencia de rocas carbonatadas en su cuenca, principal fuente de este elemento. Además, los suelos con contenidos más altos son los ubicados en la sub-cuenca de Rio de Las Cuevas, sobre rocas carbonatadas: calizas, calizas detríticas, areniscas calcáreas y margas (SYS8 y SYS9). Por su gran movilidad química, es un elemento rápidamente lixiviado a partir de cualquier mineral que lo tenga en su estructura. Una vez solubilizado y transportado al embalse, este elemento puede mantenerse en solución en el agua, pudiendo una parte de él ser posteriormente retenido por adsorción o mantenido en fase soluble en las partículas minerales y orgánicas de los materiales depositados. Debido a los altos niveles de su forma más soluble, significativamente superior a sus valores en los suelos, lo que a menudo no ocurre en otros sistemas idénticos, se puede considerar que los sedimentos tienen una elevada capacidad de retención de este elemento. El magnesio tiene una distribución más heterogénea, en especial en los suelos, dado que es un elemento que puede ser suministrado a los

sedimentos por una gran diversidad de minerales, bien representados en la generalidad de las rocas de las cuencas de drenaje. Esa diversidad de fuentes mineralógicas es observable por los suelos con contenidos más elevados de Mg disponible (SYS1, SYS4 y SYS6), correspondientes a suelos pertenecientes a distintas cuencas (Yaque del Sur y Rio Grande o Medio) y a distintas litologías (tonalitos y rocas magmáticas volcano-sedimentarias). Puede también ser observado por los valores medios muy similares en los sedimentos de los dos embalses. La distribución del Mg disponible en los sedimentos de Sabana Yegua y Tavera revela, además de la importancia de la naturaleza de las rocas de las cuencas de drenaje, dominadas por materiales hierro-magnesianos, la menor solubilidad de este elemento en relación con el calcio; la mayor parte del magnesio deberá ser arrastrada en asociación con la estructura de las partículas minerales meteorizadas y posteriormente depositada en el fondo de estos sistemas. Aunque la mayoría de los suelos no presentan a priori deficiencias en estos dos nutrientes, el uso intensivo de los suelos, el regadío, el uso de plantas más exigentes y la sustitución de los abonos tradicionales por otros, lleva a que cada vez sea necesario aplicar estos nutrientes bajo la forma de fertilizantes, por lo que los elevados valores de calcio y magnesio en formas más fácilmente asimiladas por las plantas, en especial en los sedimentos de Sabana Yegua, muestran tener gran ventaja para fines de mejorar la cualidad de fertilidad de los suelos. Los contenidos de las formas disponibles de Ca, Mg y de los micronutrientes metales (Fe, Mn, Zn y Cu) están representados en la tabla 4. Los micronutrientes metales (Fe, Mn, Zn, Cu) son esenciales para el crecimiento de las plantas y presentan un alto coeficiente de eficacia, pero las plantas sólo les utilizan en cantidades mínimas. El gran interés de su estudio en la evaluación de la fertilidad de un suelo reside en el papel dominante que desempeñan como activadores de numerosos sistemas enzimáticos y por qué arriba de ciertos límites se consideran tóxicos. En los suelos y sedimentos de los embalses, la distribución de estos elementos, así como las diferentes formas con que surgen, son determinadas por las características geoquímicas de los materiales de alteración que representan sus fuentes (pertenecientes a suelos o las capas de alteración de las rocas) los cuales, a su vez, los heredan de las rocas madre. Los minerales que contienen estos elementos funcionan como depósitos,

liberándolos más o menos lentamente a la fase soluble a medida que van siendo alterados. Los procesos de cambio se convierten en un factor crítico de la fertilidad de los sedimentos. Las partículas con

mayor importancia como "depósitos" de elementos metálicos son las especies termodinámicamente inestables, amorfas o débilmente cristalizadas.

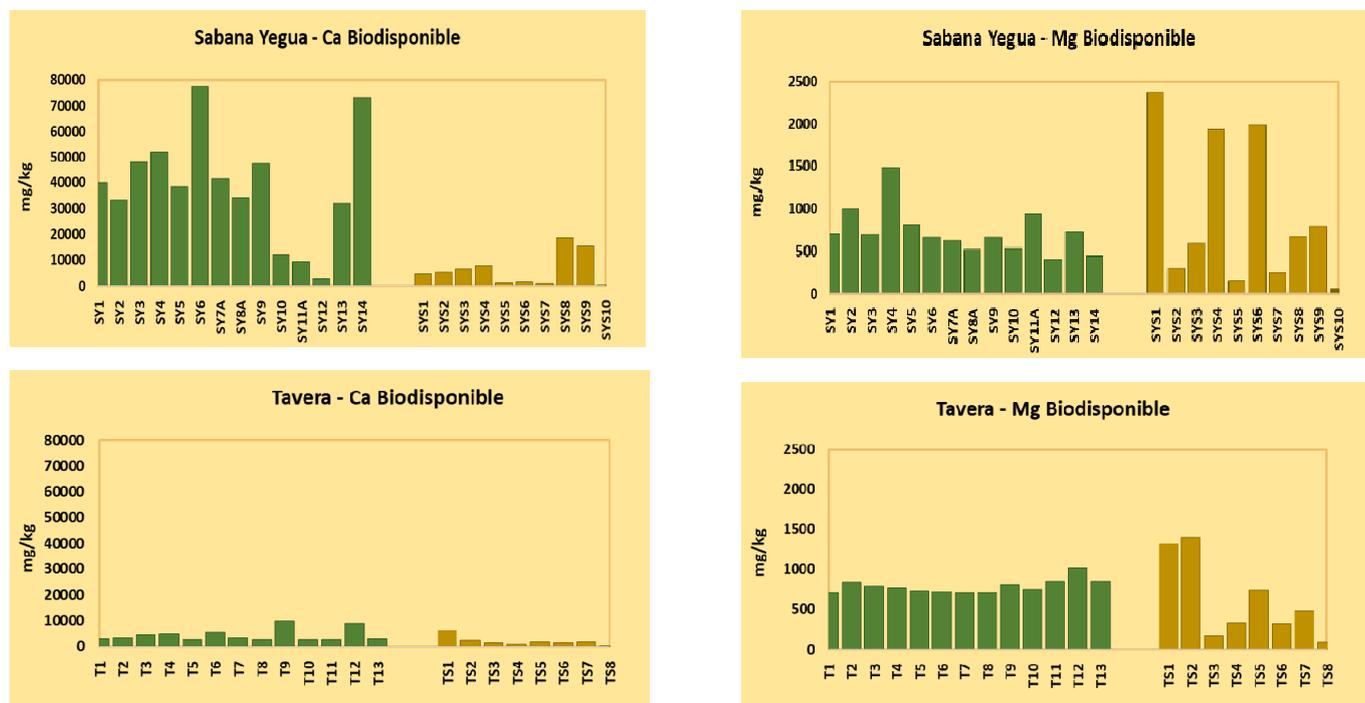


Figura 13. Distribución de Ca y Mg en formas disponibles, en sedimentos de los embalses de Sabana Yegua y Tavera (a verde) y en suelos de las cuencas de drenaje (a amarillo)

Observando los valores de las fracciones disponibles de los micronutrientes presentados en la tabla 4 y en la figura 14, hay una gran homogeneidad en el patrón de distribución de elementos metálicos en toda la extensión de los embalses, que es debido, posiblemente, a (1) su origen a partir de las mismas fuentes en las cuencas de drenaje y (2) la ocurrencia en los sedimentos, en las mismas formas y con asociación preferencial al mismo tipo de constituyentes minerales y orgánicos.

Algunas excepciones a esta uniformidad de distribución de los contenidos de estos elementos, corresponden a sedimentos localizados en sectores que son preferentemente alimentados por determinados tipos de rocas. Esto es el caso por ejemplo de lo Mn, que en Sabana Yegua tiene valores más bajos que los valores medios en los sedimentos del sector del embalse ubicado en la desembocadura del río Yaque del Sur (SY12 y SY10) o en Tavera, donde los sedimentos de 2 puntos ubicados cerca del

muro de la represa, presentan valores superiores a los de los restantes materiales depositados. La heterogeneidad que se verifica en los sedimentos de ambos los sistemas, contrariamente a los restantes elementos, indica la existencia de otros factores más influyentes en la solubilización de este elemento.

En relación al Fe o al Cu, solamente en Sabana Yegua los sedimentos dispuestos a la entrada del río de las Cuevas (SY14) tienen valores inferiores a los valores medios observados en toda la extensión del lago. Considerando que los principales minerales que constituyen fuentes de estos elementos son minerales Hierro-magnesianos, principales constituyentes de las rocas básicas y ultrabásicas, es fácil de comprender que los materiales depositados en el embalse de Tavera tengan contenidos más altos de Fe y Mn que los de Sabana Yegua, dado que tienen mayor influencia en su alimentación, de rocas magmáticas vulcano-sedimentarias. En Tavera, los valores de Fe son considerablemente más altos que los suelos de su

cuenca (alrededor de 5 veces superiores) y que los observados en Sabana Yegua. Los contenidos mayores corresponden a los sedimentos ubicados en las márgenes del embalse (T9, T12) donde la vegetación es más densa, lo que puede aumentar las condiciones de reducción del medio y, consecuentemente, la solubilidad de este elemento.

Las deficiencias e intoxicaciones provocadas por estos nutrientes pueden depender de las formas químicas en que los elementos ocurren, en consecuencia, del carácter predominantemente

reductor oxidante del medio. De acuerdo con los valores del potencial redox, estos metales tienden a presentarse en formas más oxidas (por ejemplo, MnO_2 , Fe^{3+}) o más reducidas (Mn^{2+} , Fe^{2+}), siendo que las formas más reducidas son las más solubles.

Así, en el momento de la utilización de los sedimentos como suelos agrícolas, bajo condiciones aéreas, estos micronutrientes tienden a presentarse en formas más oxidadas, lo que disminuirá naturalmente su disponibilidad para las plantas.

Tabla 4. Contenidos de macro-nutrientes secundarios (Ca y Mg) y micronutrientes metales (Fe, Mn, Zn, Cu) en formas disponibles en los sedimentos de Sabana Yegua y Tavera, y en los suelos de las cuencas de drenaje

Muestras	mg/Kg					
	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
SY1	39824,18	21,66	563,82	699,72	276,56	2,88
SY2	33140,63	23,04	963,65	993,49	283,24	3,97
SY3	47869,69	20,93	509,99	695,34	309,10	3,19
SY4	51991,48	18,46	308,87	1488,27	213,96	1,46
SY5	38472,77	27,38	843,78	809,01	293,94	3,09
SY6	77243,22	17,89	393,63	657,81	260,71	2,19
SY7A	41556,59	28,65	684,16	625,51	265,71	2,31
SY8A	33968,73	26,28	726,14	521,91	248,52	1,92
SY9	47446,01	29,44	729,29	657,95	267,73	2,28
SY10	12220,10	24,69	909,84	528,00	170,76	1,83
SY11A	9311,63	19,82	877,31	932,21	251,98	1,76
SY12	2830,73	14,93	724,65	404,16	83,88	1,29
SY13	32054,67	23,44	648,96	737,58	371,29	3,18
SY14	73022,54	9,70	281,53	440,61	231,27	1,65
MEDIA	38639,50	21,88	654,69	727,97	252,05	2,36

Embalse de Sabana Yegua - 1ª Campaña Sedimentos

MUESTRAS	mg/Kg					
	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
SYS1	4653,34	8,03	615,24	2366,90	268,12	22,67
SYS2	5332,28	6,48	138,10	299,48	141,72	5,09
SYS3	6422,33	9,95	397,00	585,59	191,33	4,66
SYS4	7838,67	10,88	312,74	1935,06	136,85	7,02
SYS5	1128,18	8,70	81,80	157,12	288,50	10,91
SYS6	1423,58	8,28	188,20	1978,23	86,09	4,14
SYS7	967,21	6,85	303,14	235,94	120,24	8,64
SYS8	18454,70	5,89	247,88	662,59	262,55	5,89
SYS9	15580,94	10,60	294,81	787,57	325,64	10,13
SYS10	181,71	3,27	214,80	52,56	18,16	13,10
MEDIA	6198,30	7,89	279,37	906,11	183,92	9,22

Suelos

Muestras	mg/Kg					
	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
T1	2866,68	21,24	1565,78	705,90	798,59	3,04
T2	3279,60	28,20	1699,21	837,38	385,20	2,69
T3	4556,92	26,93	1548,88	788,88	330,00	2,49
T4	4966,19	24,21	1394,35	767,72	269,81	2,40
T5	2832,00	25,21	1638,57	732,45	364,86	2,53
T6	5522,96	24,61	1672,28	721,46	330,40	3,14
T7	3199,40	20,21	1377,05	702,10	298,18	3,67
T8	2791,85	18,75	1321,86	706,91	398,65	3,67
T9	9628,99	30,33	2528,93	810,93	307,39	2,30
T10	2743,14	23,57	1745,28	750,67	455,59	2,64
T11	2765,60	21,60	1987,80	852,50	861,95	3,14
T12	8770,18	30,93	2161,16	1019,99	337,14	2,15
T13	2990,31	29,17	1947,51	845,68	452,92	2,18
MEDIA	4377,99	25,00	1737,59	787,89	430,05	2,77

Embalse de Tavera - 1ª Campaña Sedimentos

MUESTRAS	mg/Kg					
	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
TS1	6185,24	11,92	570,93	1321,35	136,54	25,81
TS2	2522,38	20,71	528,29	1402,33	174,95	13,37
TS3	1340,06	10,09	273,00	163,45	761,37	18,44
TS4	764,48	3,99	161,12	326,64	7,49	5,17
TS5	1819,49	7,15	160,91	744,23	98,57	5,24
TS6	1520,77	9,52	274,82	325,43	189,98	11,01
TS7	1714,41	6,23	400,90	482,37	68,27	22,47
TS8	334,00	7,29	493,82	90,10	22,84	9,30
MEDIA	2025,10	9,61	357,98	606,99	182,50	13,85

Suelos

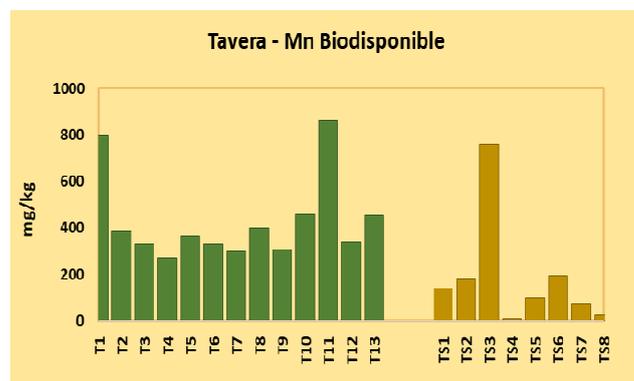
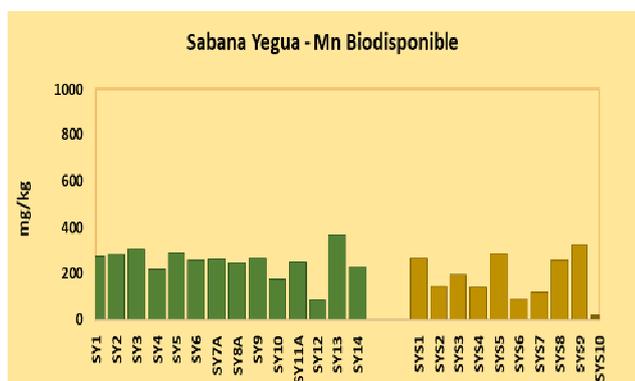


Figura 14. Distribución de Mn en formas disponibles, en sedimentos de los embalses de Sabana Yegua y Tavera (a verde) y en suelos de las cuencas de drenaje (a amarillo)

3.2.3 Geoquímica de la fracción total de elementos mayores (Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca, K, Na, Mn, P) y menores (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V, Zn)

La naturaleza y la calidad de los sedimentos de los embalses para uso agrícola están condicionadas por la totalidad de los minerales que entran en su constitución. Estos minerales constituyen una reserva mineral y de su naturaleza química depende el contenido de los elementos que existen en fase soluble o de cambio y que pueden ser suministrados a las plantas. Para el desarrollo de éstas es necesaria sólo una cantidad de elementos químicos bastante limitada. Dentro de los elementos son importantes el O, C, H, N, P, Ca, K, Mg y el S. Con menor importancia en el ciclo vegetativo, pero también necesarios, aunque en más reducidas dimensiones, constan el Mn, Fe, Zn, Cu, Mo, B y el Cl. Todos estos elementos son indispensables para el metabolismo y la producción vegetal, donde desempeñan funciones específicas, siendo por esta razón considerados como elementos nutritivos o nutrientes vegetales.

3.3 Análisis Económico

La metodología aplicada mostro los siguientes resultados:

Los costos de la mano de obra para la aplicación de los sedimentos como enmienda agrícola para cultivo de ajíes gustosos (*Capsicum annum*) resultan demasiado elevado. Al usar los sedimentos como enmienda para fertilizar los cultivos el costo de aplicación de los sedimentos dispara el costo de la mano de obra en un 148.94%. Esto repercute en que el costo total de producción se incrementa en un 106.55%.

Los rendimientos o productividad del ají gustoso resultan muy bajos usando los sedimentos como enmienda de fertilización, comparados con los rendimientos del uso de la fertilización química, dado que con los sedimentos apenas se obtienen 2.70QQ/Ta., mientras que con los fertilizantes químicos se obtienen rendimientos de 15QQ/Ta.

La rentabilidad del uso de los sedimento como enmienda para fertilización de los suelos para la producción de ajíes es negativa. Por cada tarea que se siembra de ajíes gustosos la se pierden RD\$24,504.90/Ta.; lo que representa una pérdida de RD\$389,627.91/Ha.

Los estudios que se han hecho hasta la fecha no son conclusivos como para descartar el uso de los sedimentos como fuente de fertilización para cultivos. Porque los estudios que realizaron los estudiantes de la UASD reflejaron buen desarrollo vegetativo de las plantas y a partir de esto recomendaron su uso como enmienda para la fertilización de suelos degradados.

4. CONCLUSIONES

El análisis conjunto de la geología de las cuencas de drenaje y de los datos de distribución de las clases texturales de los sedimentos de fondo referentes a un período de mayor acarreado detrítico nos lleva a concluir:

1. Que en cualquiera de los sistemas estudiados la naturaleza del material originario y el clima, dominado por una precipitación elevada y uniforme en la cuenca de Tavera y por condiciones más secas en Sabana yegua, donde afloran extensas áreas de rocas carbonatadas y, la sedimentación del calcio en este embalse son los factores preponderantes en la distribución granulométrica de los materiales.
2. Los resultados de los análisis, en cuanto a los elementos considerados más tóxicos y con grandes influencias de actividades antrópicas (As, Cd y Pb), cualquiera de ellos se encuentra en los sedimentos y suelos en concentraciones por debajo de los límites medios en suelos minerales y no alcanzan los límites de toxicidad.
3. En relación a los elementos traza encontrados en los análisis, no parece haber inconveniente para la utilización de los sedimentos para uso agrícola. Esto fue confirmado en el ensayo del cultivo de ají gustoso realizado posteriormente.
4. El aumento de los contenidos de elementos orgánicos y de las propiedades de retención e intercambio de cationes en los sedimentos, evidencian mejores cualidades de fertilidad cuando se compara con los suelos de las cuencas que les dan origen.
5. El análisis económico revela que la utilización de estos sedimentos como

fertilizantes lo hace no rentable para los productores, debido a los altos costos de la extracción, desecación, transporte y aplicación a nivel parcelario. Sin embargo, se

recomienda que se hagan otros estudios en nuevas zonas agroclimática y con otros cultivos más rentables para evaluar la rentabilidad

REFERENCIAS

- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. INDRH. (2016). Proyecto de Recuperación de Emergencia y Gestión del Riesgo por Desastres Naturales. Préstamo BIRF7546-Do. Informe de Toma de Muestras y Analítica de Calidad de las Aguas. INFRAECO.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. INDRH. (2016). Proyecto de Recuperación de Emergencia y Gestión del Riesgo por Desastres Naturales. Préstamo BIRF7546-Do. Informe de Toma de Muestras, Analítica y Volumen de los Sedimentos. INFRAECO.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana, 1ra edición, ediciones Amigo del Hogar, CxA. Santo Domingo, República Dominicana.
- Pérez, F. (2015). 5to. Informe Técnico de Avance proyecto Moldeamiento de los Regímenes Hidrológicos y de los Procesos Erosión/Sedimentación y Simulación de Escenarios para la Restauración de Cuencas Hidrográfica. FONDOCYT-CEHICA-INDRHI.
- Pérez, F. (2015). 6to. Informe Técnico de Avance proyecto Moldeamiento de los Regímenes Hidrológicos y de los Procesos Erosión/Sedimentación y Simulación de Escenarios para la Restauración de Cuencas Hidrográfica. FONDOCYT-CEHICA-INDRHI.
- Norma Ambiental Sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2012).
- Fonseca, R. (1995). The nature of the sediments of Maranhão dam reservoir: study of their quality for agricultural use. Unpublished. MSc. Thesis, University of Évora, 189 p. [In Portuguese].
- Fonseca, R. (2002). Dam Reservoirs as Barriers to the Natural Sediment Transport Cycle. Geological study of the reutilization of sediments from Portuguese and Brazilian Systems. Unpublished. Ph. D. Thesis, University of Évora, 649 p. (In Portuguese).
- Fonseca, R., Barriga, F. & Fyfe, W. (2003). Dam Reservoir Sediments as Fertilizers and Artificial Soils. Case Studies from Portugal and Brazil. Water and Soil Environments, Biological and Geological Perspectives, Kazue Tazaki (Eds.), International Symposium of the Kanazawa University 21st – Century COE Program, Kanazawa, Japan, pp. 55-62.
- Fonseca R., F. Barriga., S. Theodoro., T. Canário & M. Morais. (2007). The Três Marias reservoir: a sink for sediments outcoming from overerosion of soils in Minas Gerais, Brazil. In: Sobral, M. and Gunkel, G. (Eds.) "Reservoir and River Basin Management: Exchange of Experiences from Brazil, Portugal and Germany". Technical University of Berlin, Berlin, pp. 182-196.
- Fonseca, R., Barriga, F. & Tazaki, K. (2007). Land erosion and associated evolution of clay minerals assemblages from soils to artificial lakes in two distinct climate regimes in Portugal and Brazil. Clay Minerals”, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 42(2), pp. 153-171.
- Fonseca, R., Barriga, F.J.A.S., & Conceição, P. (2010). Clay minerals in sediments of Portuguese reservoirs and their significance as weathering products from over-eroded soils. Comparative study of the Maranhão, Monte Novo and Divor Reservoirs (South Portugal). International Journal of Earth Sciences, 99, 1899–1916. 51

- Fonseca, R., Patinha, C., Barriga, F.J.A.S & Morais, M. (2012). Role of the sediments of two tropical dam reservoirs in the flux of metallic elements to the water column. *Journal of Water Science and Technology*. 66.2, 254-266: doi: 10.2166/wst.2012.169.
- Fonseca, R., Barriga, F. & Fyfe, W. (1992). The nature of dam sediments: Conversion a global problem to a global resource. A case study. *Proceedings, VIII International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition for the Developments in Plant and Soil Sciences*. p. 210.
- Fonseca, R. & Barriga, F. (1998). Chemical and mineralogical characterization of the bottom sediments from two Portuguese reservoirs (Maranhão and Monte Novo) in order to control eutrophication. *I Iberian Congress of Limnology, IX Spanish Congress of Limnology, University of Évora*. Abstracts nº 152.
- Fonseca, R. & Theodoro, S. (2005). New challenges in the Portuguese-Brazilian Agrogeology: chemical rehabilitation of impoverished soils through the use of renewable geological resources. *Proceedings of the VIII Congress of Geochemistry of the Portuguese speaking countries and XIV Geochemistry Week, volume 2*, pp. 647-651, Department of Geosciences, University of Aveiro, Portugal.

Como citar este artículo:

Segura, B., y Ferreira, R. (2020). Aprovechamiento de los sedimentos de los embalses como nutrientes para la fertilización de suelos agrícolas en la República Dominicana. *Aqua-LAC Volumen 12(2)*, 15-36. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license