

## **Intercambio académico entre la Universidad de Vermont y el Colegio Oberlin de los Estados Unidos y el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Cuba**

### ***Academic exchange between the University of Vermont and Oberlin College in the United States and the Center for Environmental Studies of Cienfuegos (CEAC), Cuba***

**Dra. C. Rita Y. Sibello Hernández**

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC)

ORCID: 0000-0003-1308-2917

**Lic. Maikel Hernández Núñez**

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC)

ORCID: 0009-0003-9507-6760

Fecha de recepción: noviembre 2024

Fecha de aceptación: noviembre 2024

#### **Resumen**

Desde el triunfo revolucionario, las relaciones entre Cuba y los Estados Unidos han sido muy tensas, dificultando la colaboración entre los científicos de ambas naciones. A pesar de esto, en 2018, investigadores de las universidades estadounidenses de Vermont y Oberlin y el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), de Cuba, propusieron realizar un intercambio académico, sustentado en la ejecución de un proyecto de investigación. El objetivo principal fue evaluar las implicaciones que ha tenido la transición de la agricultura intensiva a la de conservación, en el paisaje de Cuba. Las técnicas utilizadas para evaluar la erosión de los suelos, en estos dos períodos, fueron las nucleares, basadas en el uso de los radionúclidos como trazadores ambientales. Para la medición de los radionúclidos se utilizó la espectrometría gamma de bajo fondo. Complementariamente, se caracterizaron químicamente las aguas y los sedimentos de los ríos monitoreados, de lo cual existía poca información. Las concentraciones de los metales en los sedimentos se determinaron por fluorescencia de rayos X. Se cumplieron los objetivos propuestos en el proyecto y los resultados corroboran la incidencia positiva de la agricultura de conservación en la calidad de las aguas y la protección de los suelos. El intercambio académico ejecutado es un ejemplo de que la colaboración entre científicos de Cuba y de los Estados Unidos, es posible y necesaria. Esta actividad científica se desarrolló en un ambiente amigable y de respeto, donde estadounidenses y cubanos trabajaron mancomunadamente y compartieron sus experiencias y conocimientos.

**Palabras claves:** intercambio académico, erosión de los suelos, calidad de las aguas, radionúclidos.

#### **Abstract**

Since the triumph of the Cuban Revolution, relations between Cuba and the United States have been very tense, making collaboration between scientists from both nations difficult. Despite this, in 2018, researchers from the American universities of Vermont and Oberlin and the Cienfuegos Environmental Studies Center from Cuba proposed an academic exchange, based on the execution of a research project. The main objective was to evaluate the implications that the transition from intensive to conservation agriculture has had on the landscape of Cuba. The technique used to evaluate soil erosion in these two periods was the nuclear technique, based on

the use of radionuclides as environmental tracers. Low-background gamma spectrometry was used to measure radionuclides. In addition, the waters and sediments of the monitored rivers were chemically characterized, about which existed scarce information. Metal concentrations in sediments were determined by X-ray fluorescence. The objectives proposed in the project were achieved and the results corroborate the positive impact of conservation agriculture on water quality and soil protection. The academic exchange carried out is an example that collaboration between scientists from Cuba and United States is possible and necessary. This scientific activity was developed in a friendly and respectful environment, where Americans and Cubans worked together and shared their experiences and knowledge.

**Keywords:** *academic exchange, soil erosion, water quality, radionuclides.*

### Introducción

El intercambio académico entre las universidades estadounidenses de Vermont y Oberlin con el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, de Cuba, estuvo precedido por varias comunicaciones, donde los investigadores de ambos países habían encontrado temas afines en sus investigaciones; surgiendo así un interés mutuo de colaboración.

Los líderes científicos de los Estados Unidos, la profesora asistente de Geología del Colegio Oberlin, Dra. C. Amanda H. Schmidt y el profesor de Geología de la Universidad de Vermont, Dr. C. Paul R. Bierman, encontraron en las búsquedas bibliográficas de su interés, artículos científicos relacionados con la aplicación de las técnicas nucleares en investigaciones de la erosión de los suelos y de los procesos de sedimentación, de investigadores del CEAC, entre ellos, de los doctores Carlos M. Alonso Hernández, Misael Díaz Asencio (datación de sedimentos usando el plomo -210 (210Pb)) y Rita Y. Sibello Hernández (erosión de los suelos usando el cesio-137 (137Cs)). Nació así la idea del intercambio científico. Por la parte cubana, fue la Dra. C. Sibello Hernández, quien centró la tramitación de los protocolos oficiales para llevar a cabo el intercambio con los investigadores de los Estados Unidos, con el Departamento de Relaciones Internacionales del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente de Cuba (CITMA), logrando la aprobación.

Fue a finales del mes de enero de 2018, cuando en las instituciones del CEAC, se recibieron por primera vez, a los doctores estadounidenses Schmidt y Bierman. El CEAC estuvo representado por su entonces director, el Dr. C. Reinaldo A. Acosta Melián, el Dr. C. Alonso Hernández, la Dra. C. Sibello Hernández y otros investigadores y especialistas de la institución. La reunión duró dos días, los líderes científicos de ambas naciones expusieron sus experiencias en el tema de interés y sus principales resultados.

La agenda de trabajo concluyó con la presentación de un proyecto de investigación relacionado con los procesos de erosión en importantes cuencas de las regiones central, occidental y oriental de Cuba. En el proyecto participarían de manera mancomunada investigadores, especialistas y estudiantes de las tres instituciones. Los fondos estarían cubiertos por la Fundación Nacional de Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos; y la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) de Cuba, financiaría en el marco del programa "Tecnologías de Aplicaciones nucleares, el láser, la óptica y la ultrasónica para producir y generalizar bienes y servicios", a los proyectos nacionales "Uso de Técnicas Nucleares e Isotópicas para una Mayor Eficiencia en el Manejo del Agua y el Suelo en la Agricultura, Vinculadas a Estrategias de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático-ISOAGRI", a cargo de Sibello Hernández y el proyecto "Soluciones a Problemas Específicos del Manejo Integrado de Cuencas y Áreas Costeras en Cuba, a través de Técnicas Isotópicas y Nucleares (TIN)-MICATIN" dirigido por Alonso Hernández, los cuales funcionarían como proyectos contrapartes.

La idea del proyecto se sustenta en que, como es sabido, para evitar los efectos perjudiciales de la deforestación y de la agricultura intensiva y mecanizada, a menudo se emplean prácticas agrícolas de conservación. Aunque estas prácticas de menor impacto se han implementado en todo el mundo, los resultados rara vez han sido cuantificados a escala de paisaje. En este sentido, Cuba se muestra como un laboratorio de prueba único, en el que, durante 30 años, a partir del triunfo revolucionario, se desarrolló una agricultura industrial a gran escala,

caracterizada por el uso de maquinaria pesada, pesticidas y fertilizantes, lo cual hipotéticamente, debe estar relacionada con impactos negativos al medio ambiente de contaminación y del incremento de los procesos de erosión-sedimentación, hasta los años 90, cuando el campo socialista desapareció y nuestro país quedó aislado y los suministros agrícolas comenzaron a escasear. A partir de entonces y hasta la actualidad, se practica una agricultura orgánica y de conservación, lo cual supone una disminución sustancial de la contaminación y de la erosión de los suelos.

Este hecho propició proponer la hipótesis de investigación de que la ejecución del proyecto permitiría la evaluación de los efectos de la agricultura de conservación en la disminución de la envergadura de los procesos erosivos y permitiría comparar los cambios naturales del paisaje a largo plazo.

Todos los participantes en la primera reunión estuvieron de acuerdo en que la ejecución del proyecto de investigación propuesto resultaría beneficiosa para ambos países. Para los investigadores cubanos sería una oportunidad de entrenamiento en la toma de muestras, y de relacionarse con técnicas analíticas novedosas utilizadas para la cuantificación de la erosión de los suelos y de la sedimentación mediante otros métodos basados en la medición de los isótopos  $^{10}\text{Be}$  y  $^{26}\text{Al}$ . El intercambio académico propiciaría la transferencia del *know how* de la técnica hacia los cubanos y permitiría comparar los resultados previstos en el marco del proyecto colaborativo con los existentes en el país, validando así los métodos implementados. Además, determinarían las tasas de erosión y de sedimentación en sitios de interés, donde no existían suficientes datos de estos procesos ambientales.

Para los investigadores estadounidenses la motivación sería la oportunidad única de aplicar estos métodos de estudios de erosión-sedimentación en condiciones socioambientales diferentes, lo cual contribuiría a su fortalecimiento como investigadores, además de intercambiar experiencias persona a persona con los investigadores de Cuba.

### Desarrollo

Para conocer la magnitud de los procesos erosivos y en qué período de tiempo han ocurrido, son utilizados un grupo particular de radionúclidos ambientales, denominados radionúclidos provenientes de las precipitaciones radiactivas, cuyo término en inglés es *fallout radionuclides* (FRNs), los cuales incluyen a radionúclidos artificiales como cesio-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) y radioisótopos geogénicos tales como el plomo-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) y más recientemente radionúclidos cosmogénicos como el berilo-7 ( $^7\text{Be}$ ). Estos han sido utilizados a nivel global para obtener tasas y patrones de erosión y deposición del suelo a diversas escalas temporales y espaciales (Zapata & Nguyen, 2009; Mabit, 2008; Zapata, 2002).

El  $^{137}\text{Cs}$  es un radionúclido artificial, producto de la fisión nuclear del uranio-235 ( $^{235}\text{U}$ ), que existe en el medio ambiente debido especialmente a los ensayos nucleares a cielo abierto de gran potencia, ocurridas fundamentalmente durante las décadas de 1950 y 1960. Esto provocó que se emitieran a la estratósfera cantidades medibles de este radionúclido, el cual se dispersó de manera casi homogénea por todo el planeta, debido a los movimientos atmosféricos. Posteriormente, por las deposiciones atmosféricas *fallout*, llega a la superficie terrestre y se fija fuertemente a las partículas finas del suelo, convirtiéndose en un radiotrazador sin igual de los movimientos físicos de este. Ello, unido a las propiedades radiactivas del  $^{137}\text{Cs}$ : un período de semidesintegración relativamente largo, 30,2 años y su fácil detección por gamma espectrometría, gracias a su línea de emisión característica de 662 keV, hacen posible que sea utilizado para estudiar la distribución del suelo en el paisaje (Ritchie & Mchenry, 1990; Walling & Quine, 1991 y 1993).

El  $^{210}\text{Pb}$ , por el contrario, es un radionúclido natural perteneciente a la serie radiactiva del uranio-238 ( $^{238}\text{U}$ ). A partir del  $^{238}\text{U}$  que está en el suelo, se origina por desintegración radiactiva, el radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ), el cual, a su vez, al desintegrarse forma el radón-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ), que es un gas noble. Por la desintegración del  $^{222}\text{Rn}$ , atrapado en el suelo, se forma el plomo soportado ( $^{210}\text{Pb}_{\text{soport.}}$ ) en el mismo suelo. Otra parte del  $^{222}\text{Rn}$  logra difundirse a través del suelo, pasa a la atmósfera y en su desintegración radiactiva origina  $^{210}\text{Pb}$ . Este  $^{210}\text{Pb}$ , formado

en la atmósfera, llega al suelo por la precipitación atmosférica, produciendo un exceso de  $^{210}\text{Pb}$  en el suelo ( $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ ) (Walling & He, 1999).

Debido a la procedencia atmosférica de  $^{137}\text{Cs}$  y de  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ , sus distribuciones en el perfil del suelo son similares y se encuentran en las capas superiores del suelo. Sin embargo, los tiempos de entrada al suelo de estos radionúclidos son diferentes. La entrada de  $^{137}\text{Cs}$  al suelo ocurrió principalmente en la década de 1960, época en que en Cuba se desarrollaba la agricultura intensiva. El  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  se deposita en el suelo continuamente. Gracias a esta diferencia, determinando la presencia o la ausencia de ambos radionúclidos se pueden evaluar las características de la erosión de los suelos, dadas por su rapidez y profundidad (Walling & Woodward, 1992).

Cuando el  $^{137}\text{Cs}$  está presente, el suelo experimentó una erosión superficial lenta durante y después de la deposición del  $^{137}\text{Cs}$  (1945-hasta la actualidad). Cuando el  $^{137}\text{Cs}$  está ausente, el sitio experimentó erosión rápida y profunda durante o después de la deposición de  $^{137}\text{Cs}$ . Cuando el  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  es detectable, el sitio está experimentando una erosión superficial lenta. Cuando  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  está ausente, el sitio está experimentando actualmente erosión rápida y profunda. Al determinar la presencia o la ausencia de ambos radionúclidos en muestras de suelos, podemos evaluar las características de la erosión de los suelos en el pasado y en el presente (Walling & Woodward, 1992).

Por otra parte, es conocido que la denudación a escala del paisaje se produce tanto por la eliminación física de masa (erosión) como por la disolución química de los minerales en las rocas. El sedimento producido por la erosión del lecho rocoso se desplaza pendiente abajo hacia el nivel de base, mientras que la disolución de la roca mueve la masa en solución desde el paisaje hasta los ríos y luego al océano. Entonces, la medición de los nucleidos cosmogénicos en los sedimentos de los ríos se puede utilizar para inferir la tasa de generación de sedimentos promediada espacialmente de una cuenca de drenaje (Brown *et al.*, 1995; Granger *et al.*, 1996; Bierman & Steig, 1996), pero no proporciona información sobre los procesos, como la disolución de la roca, que ocurren en profundidad. Suponiendo una densidad de la roca fuente, se pueden calcular las tasas equivalentes de reducción del paisaje a lo largo del tiempo.

En una cuenca que se erosiona de manera constante, la concentración de nucleidos cosmogénicos en una muestra de sedimento refleja la tasa a la que se eliminó la masa de la superficie y cerca de ella a medida que se exhumaba el material tanto a través de la erosión física como de la disolución de la roca (Lal, 1991). La medición de múltiples nucleidos cosmogénicos con diferentes vidas medias (períodos de semidesintegración radiactiva) en la misma muestra puede brindar más información sobre el historial de exposición de los materiales de la superficie, como la mezcla del suelo y el tiempo de residencia (Lal & Chen, 2005), así como el almacenamiento de sedimentos dentro de la cuenca hidrográfica (Granger & Muzikar, 2001). Entre estos nucleidos cosmogénicos están el aluminio-26 ( $^{26}\text{Al}$ ) y el berilio-10 ( $^{10}\text{Be}$ ). El  $^{26}\text{Al}$  se produce a partir del argón (Ar) atmosférico debido a la espalación de rayos cósmicos de protones (es decir, protones con altísima energía). El  $^{10}\text{Be}$  también se produce en la atmósfera terrestre mediante la espalación, producida por el bombardeo de la radiación cósmica de alta energía sobre los núcleos de oxígeno y nitrógeno. Debido a que el berilio tiende a existir en disolución acuosa con valores de pH menores que 5,5, este berilio atmosférico formado es arrastrado por el agua de lluvia (cuyo pH suele ser inferior a 5,5), una vez en la tierra, la solución se torna alcalina, precipitando el berilio que queda almacenado en el suelo durante largo tiempo (período de semidesintegración de 1,387 millones de años). Se conoce que la relación de producción de  $^{26}\text{Al} / ^{10}\text{Be}$ , en la superficie en latitudes medias y bajas es de aproximadamente 6,75 (Nishiizumi *et al.*, 1989; Balco *et al.*, 2008). Esta relación se ha utilizado para estudiar el papel del transporte, deposición y almacenamiento de sedimentos y la erosión. Si el sedimento que ha acumulado nucleidos cosmogénicos se entierra de manera tal que su producción es insignificante, esta proporción disminuye porque el  $^{26}\text{Al}$  se desintegra más rápidamente que el  $^{10}\text{Be}$ .

De manera similar, la mezcla vertical dentro de una columna de suelo tiene el efecto de aumentar el tiempo de residencia cerca de la superficie de los granos de sedimento, suprimiendo la proporción  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  en el sedimento desprendido de la superficie del paisaje durante la erosión (Makhubela *et al.*, 2019).

Todos estos fundamentos descritos anteriormente, constituyen las bases de las técnicas implementadas en la investigación en el marco del proyecto colaborativo propuesto.

En el mes de agosto de 2018, los investigadores cubanos habían tramitado satisfactoriamente las visas volantes y los permisos aduaneros para la llegada de los colegas estadounidenses, acompañados del equipamiento que sería utilizado en las actividades de campo del proyecto, así como los permisos para acceder a las áreas naturales que serían monitoreadas en la región central de Cuba.

El grupo de investigadores que ejecutó la primera campaña estuvo conformado por siete cubanos y seis estadounidenses, entre los que figuraban además del personal científico, el escritor de ciencia y medio ambiente Joshua E. Brown de la Universidad de Vermont y por la parte cubana Maikel Hernández Núñez, comunicador del CEAC. Joshua y Maikel fueron involucrados en estas actividades y debían cumplir con su misión de comunicar a un público más amplio la ejecución y los logros de la campaña.

El alcance de la campaña fue coleccionar muestras de agua y sedimentos en alrededor de 30 sitios de las provincias Villa Clara, Sancti Spíritus y Cienfuegos. El criterio de selección de estos sitios estuvo dado por varios factores, en primer lugar, debían tener pendientes de cuencas representativas de estas provincias y debían ser representativos de la intensidad del uso del suelo, del uso agrícola y de la vegetación y, por último, las cuencas a monitorear debían ser lo suficientemente grandes para tener arroyos que acumularan y transportaran mucho sedimento proveniente de la erosión dentro de la cuenca. El objetivo era dilucidar la magnitud de los procesos erosivos en el paisaje durante un tiempo considerable (más de 50 años), que incluía un primer período de aproximadamente 30 años (1959-1990) de una agricultura intensiva, seguido de un período de tiempo similar (1990-2018), pero de una agricultura de conservación. Esta cruzada inició un extenso cronograma de trabajo, tributando a la "investigación agrícola y técnicas de manejo para la conservación de suelos y bosques", una de las ocho áreas de cooperación, contempladas en el Memorando de Entendimiento entre el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y el Ministerio de la Agricultura de Cuba, firmado el 21 de marzo de 2016 (USDA, 2016).

Para la ejecución de la campaña, el personal se dividió en dos grupos, tratando que, en cada uno, estuviera el mismo número de cubanos y estadounidenses, lo cual facilitaría el intercambio entre los investigadores de las dos naciones. Un grupo, estuvo liderado por Paul Bierman y por el M. Sc. Alejandro García Moya, este último investigador del CEAC. Además de otros especialistas y estudiantes, en ese grupo iba Joshua, el periodista estadounidense. El otro grupo de investigadores y estudiantes de ambos países, lo lideraron Amanda Schmidt y Rita Sibello, acompañadas por Maikel Hernández, el comunicador del CEAC.

En este sentido, para caracterizar el ambiente, se seleccionaron 25 ríos en la región central, con diferentes usos de la tierra, desde bosques hasta uso agrícola. Los sitios seleccionados a investigar fueron repartidos entre ambos grupos, cada uno recorrería sitios diferentes. En cada sitio de muestreo se coleccionaron muestras de sedimentos fluviales, las cuales se tamizaron, tomando muestras menores de 63 micras y muestras con una granulometría de 250-850 micras (Figura 1). De cada muestra, una mitad fue para el Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del CEAC y otra para los laboratorios de las universidades estadounidenses. Las muestras se envasaron en bolsas de nailon y se etiquetaron correctamente para identificar el sitio de procedencia, luego fueron cuidadosamente transportadas. A estas muestras tanto en el LEA como en los laboratorios extranjeros, se les analizaría por fluorescencia de rayos X (FRX), espectrometría gamma y se determinarían los isótopos estables de carbono y nitrógeno. Para las muestras de aguas fluviales, se determinaron *in situ* diferentes parámetros como la temperatura, el oxígeno disuelto y la conductividad, los cuales caracterizan a los ríos monitoreados y se tomaron, además, muestras duplicadas para su análisis isotópico en el LEA y en los laboratorios de las universidades de los Estados Unidos (Figura 2). También, en las muestras de agua de los ríos monitoreados, se determinaron el número más probable (NMP) de bacterias E. Coli, realizando su incubación en el campo (Figura 3). Complementariamente, se realizaron determinaciones en el campo, de las concentraciones de algunos aniones presentes en las aguas tales como nitratos, cloruros y fosfatos.



Figura 1. El escritor de ciencia y medio ambiente Joshua E. Brown de la Universidad de Vermont toma imágenes mientras investigadores estadounidenses y el CEAC realizan el tamizado de los sedimentos. Foto: Maikel Hernández.



Figura 2. El equipo de investigadores cubanos y estadounidenses realizan el filtrado de las aguas fluviales para las posteriores determinaciones de los aniones y de los isótopos estables, en los laboratorios de ambos países. Foto: Maikel Hernández.



Figura 3. Investigadores Dra. C. Amanda H. Schmidt, del Colegio Oberlin, Dr. C. Paul R. Bierman de la Universidad de Vermont, el M. Sc. Alejandro García Moya y la Dra. C. Rita Y. Sibello del CEAC, durante la incubación bacteriológica de las muestras. Foto: Joshua Brown.

La ejecución de la primera campaña de monitoreo en la región central del país fue exitosa, se cumplieron los objetivos propuestos y se logró realizar una amplia caracterización de las cuencas monitoreadas. Se arribaron a importantes conclusiones que corroboran el beneficio de la agricultura de conservación para el medio ambiente. La transición de Cuba a la actual agricultura sostenible, implicando además la reducción del uso de fertilizantes químicos por hectárea de suelo, ha traído como resultado mucha menor concentración de nutrientes en las aguas de los ríos investigados y, por tanto, una mayor calidad de sus aguas, lo cual es un ejemplo para otros tipos de economías. Con respecto a los procesos erosivos, ha resultado en una disminución de la velocidad y de la profundidad de la erosión, contribuyendo a la recuperación de los suelos.

Los resultados obtenidos por estos investigadores en la campaña ejecutada en la región central de Cuba, fueron publicados en la prestigiosa revista científica *GSA Today* (Bierman *et al.*, 2020). En esta publicación, los autores concluyeron que la composición del agua y la presencia de los sólidos totales disueltos en los ríos de la región central, varían con el tipo de roca, sugiriendo una conexión cerrada entre la química del agua y las unidades de rocas subyacentes. Por ejemplo, las altas concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) y de alcalinidad, en muchas muestras, son consistentes con la presencia mapeada de rocas carbonatadas en las cuencas de drenaje.

En otros sitios, donde la roca madre está constituida por sedimentos marinos del post Eoceno, se encontraron valores más altos de rubidio (Rb), estroncio (Sr), bario (Ba) y uranio (U) que en otros ríos (Figura 4).

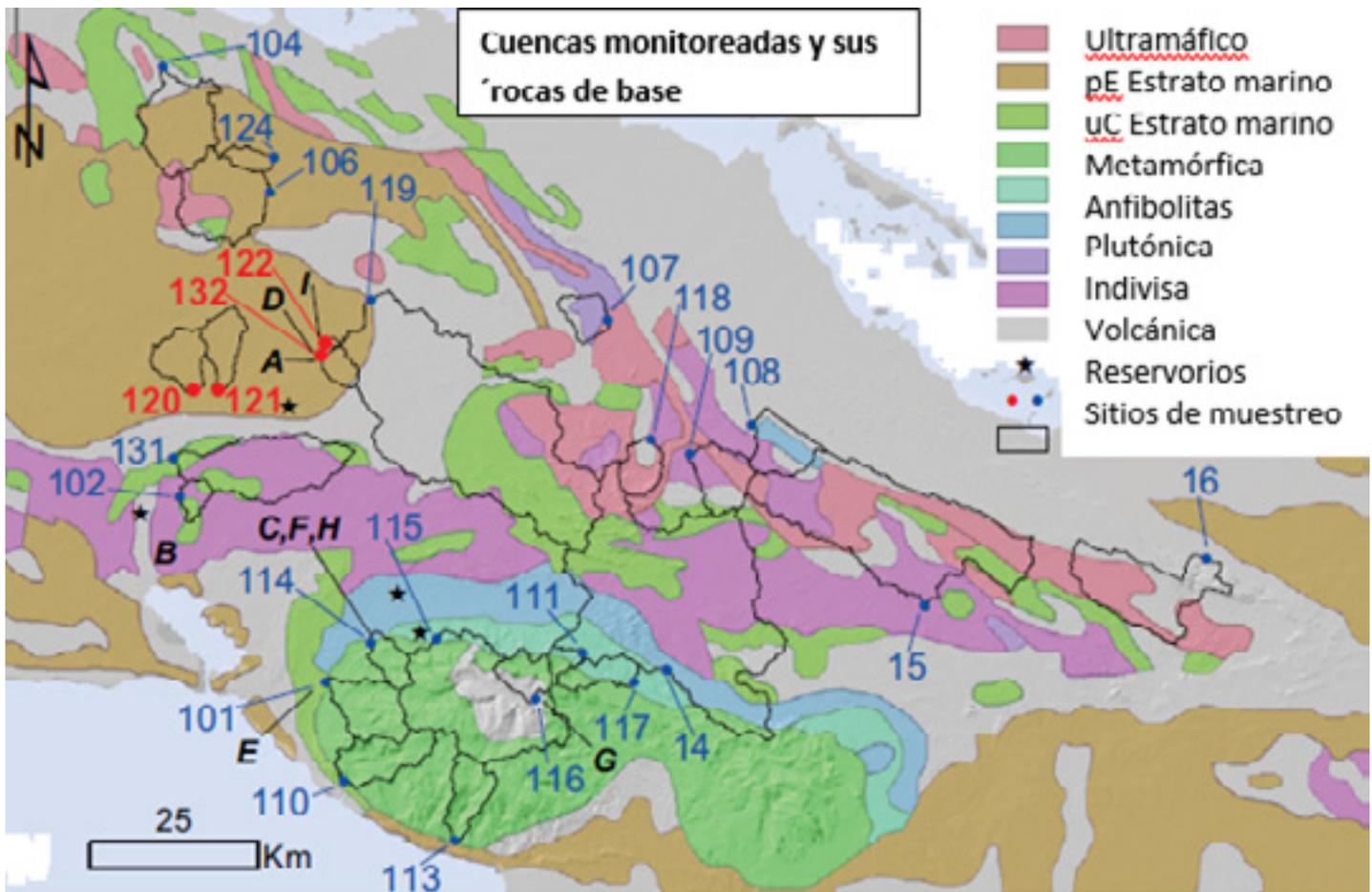


Figura 4. Mapa geológico de las cuencas monitoreadas (French & Schenk, 2004). Fuente: Bierman *et al.*, 2020.

El grupo de científicos, gracias a los análisis químicos realizados en los laboratorios de ambas naciones, determinaron que, el arsénico (As), el bario (Ba), el cromo (Cr), el manganeso (Mn), el níquel (Ni), el estroncio (Sr) y el uranio (U), estaban presentes en algunas de las muestras de las aguas de los ríos analizadas, pero en todos los casos estos valores estuvieron por debajo de las concentraciones máximas permisibles para el agua potable.

Estos investigadores también afirmaron que los valores obtenidos de la Conductividad y de los Sólidos Totales Disueltos (STD) en las aguas fluviales eran altos (130-1380  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y de 117 a más de 780 mg/L, respectivamente. Ellos consideran que los altos valores de STD no son peligrosos, pero pudieran limitar algunos usos de las aguas y que esos altos valores de STD pudieran provocar atascamiento en las tuberías industriales y doméstica. Los valores del pH fueron neutrales hasta ligeramente alcalinos con altos valores de bicarbonato (65-400 mg/L) (Bierman *et al.*, 2020).

Otro parámetro medido en las aguas de los ríos fue el oxígeno disuelto (OD), medido *in situ*, cuyos valores estuvieron en el rango desde 59 % hasta 145 % y un valor promedio de 97 %. (Bierman *et al.*, 2020). El OD es esencial para la descomposición de la materia orgánica por las bacterias, lo que ayuda a mantener el equilibrio de los ecosistemas.

El análisis bacteriológico de las aguas de los ríos monitoreados de la región central arrojó la presencia de *E. Coli* en todos estos ríos y está relacionada con la existencia de animales en los alrededores cercanos, por el desarrollo de la ganadería y utilizados en el transporte de equipos de granja.

Como resultados de esta investigación, fueron calculadas altas tasas de intemperismo y de denudación del paisaje y así se infiere la presencia de rutas de flujo a través de la roca fresca. De manera general, las determinaciones realizadas en el campo de los aniones, estuvieron bien correlacionados con los valores determinados posteriormente en el laboratorio.

Los ensayos realizados tanto en el CEAC como en los laboratorios de los Estados Unidos, permitió la realización de comparaciones entre los laboratorios, lo cual sirve como control de la calidad de los resultados analíticos.

Estos investigadores en su artículo (Bierman *et al.*, 2020), concluyen que las aguas de los ríos de la región central de Cuba, son una evidencia de que la agricultura no necesita contaminar a los ríos ni a los reservorios y zonas costeras, con nutrientes. El nitrógeno y el fósforo están presentes en los ríos cubanos, pero a más bajas concentraciones que en las aguas de los Estados Unidos, donde la agricultura es intensiva y se usa mucho fertilizante. El uso de fertilizantes en Cuba tuvo un pico en 1978 y entonces declinó, mientras que en los Estados Unidos desde 1961 ha permanecido alto el uso de fertilizantes. La agricultura sostenible implementada en Cuba después de la era de la asistencia soviética ha resultado en menos uso de la fertilización y más calidad de las aguas de los ríos, afirmaron los investigadores de ambas naciones.

“Estos resultados constituyen una comprensiva instantánea de la química del agua que se mueve a través de los ríos de la región central de Cuba”, afirmó el Dr. Bierman.

Reduciendo las cargas de sedimentos y de estiércol se pueden conseguir beneficios económicos, porque los ríos descargan en la zona costera, donde el sedimento suspendido y las bacterias provenientes de la actividad agrícola, impactan negativamente en la calidad del agua y en la transparencia en las barreras coralinas y playas, frecuentadas por turistas, una fuente de ingresos para Cuba, aseguran los investigadores (Bierman *et al.*, 2020).

Otro logro alcanzado en el seno del intercambio académico Vermont-Oberlin-CEAC fue lograr interpretar mediante las técnicas nucleares e isotópicas, los procesos erosivos y denudativos que han tenido lugar en las cuencas hidrográficas de la región central que fueron monitoreadas durante la primera campaña.

Estos resultados fueron publicados en la revista científica *Geochronology*:

La terminología que hace referencia a la pérdida de masa de las cuencas hidrográficas se ha aplicado de manera ambigua en el pasado y puede ser confusa. Aquí, se hace referencia al ritmo de pérdida de masa del paisaje calculado a partir de las concentraciones de  $^{26}\text{Al}$  y  $^{10}\text{Be}$  como tasas de erosión; estas tasas incluyen todos los procesos (físicos y químicos) que eliminan masa dentro de los 2 m aproximadamente, de la superficie de la Tierra” (Campbell *et al.*, 2022).

Las tasas de pérdida de masa del paisaje inferidas a partir de mediciones de la química del agua de los arroyos, combinadas con estimaciones de los volúmenes de escorrentía anual, se refiere a las tasas de disolución de rocas. Se usa el término denudación para hacer referencia a la pérdida total de masa de las cuencas muestreadas. Todas estas tasas se expresan en términos de masa por área y por tiempo ( $\text{Mg km}^2 \text{ año}^{-1}$ ), que se puede convertir a profundidad a lo largo del tiempo asumiendo la densidad de la roca (Campbell *et al.*, 2022).

Estos investigadores (Campbell *et al.*, 2022), detallan en su artículo que utilizando mediciones de  $^{26}\text{Al}$  y  $^{10}\text{Be}$ , contenidos en las arenas de los 25 ríos monitoreados, junto con las estimaciones del flujo de la carga disuelta en el río, se pudieron caracterizar los procesos y el ritmo del cambio del paisaje en la región central de Cuba. Estos autores exponen en este trabajo, que las tasas de erosión a largo plazo, inferidas a partir de las concentraciones de  $^{10}\text{Be}$  en el cuarzo extraído de la arena de los ríos del centro de Cuba oscilan entre 3,4 y 189  $\text{Mg km}^2 \text{ año}^{-1}$  (media 59, mediana 45). Las cargas disueltas, calculadas a partir de las concentraciones de soluto en la corriente y escorrentía modelada, oscilan entre 10 y 176  $\text{Mg km}^2 \text{ año}^{-1}$  (media 92, mediana 97), las cuales, en 18 de 23 cuencas, excedieron las tasas de erosión derivadas del  $^{10}\text{Be}$  cosmogénico. Esta disparidad, según estos autores, indica que, en este entorno, la pérdida de masa a escala de paisaje no está completamente representada por las mediciones de los nucleidos cosmogénicos.

Las relaciones  $^{26}\text{Al} / ^{10}\text{Be}$  resultaron ser más bajas que las esperadas para la exposición o erosión en estado estacionario en 16 de 24 muestras. Las relaciones  $^{26}\text{Al} / ^{10}\text{Be}$  reducidas se obtuvieron en muchas de las cuencas que tienen la mayor disparidad entre cargas disueltas (altas) y tasas de erosión inferidas a partir de concentraciones de nucleidos cosmogénicos (bajas).

Las relaciones  $^{26}\text{Al} / ^{10}\text{Be}$  reducidas son consistentes con la presencia de una capa de regolito profunda y mixta que proporciona tiempos de almacenamiento prolongados en pendientes y/o enterramiento y almacenamiento prolongado durante el transporte fluvial. Los análisis químicos del agua del río indican que muchas cuencas con proporciones  $^{26}\text{Al} / ^{10}\text{Be}$  más bajas y altas concentraciones de  $^{10}\text{Be}$  están sustentadas, al menos en parte, por rocas evaporíticas que se disuelven rápidamente (Campbell *et al.*, 2022).

Estos autores exponen en su artículo científico que, los datos obtenidos muestran que, al evaluar la pérdida de masa en el paisaje tropical húmedo, es particularmente importante tener en cuenta la contribución de la disolución de rocas en profundidad. En climas tan cálidos y húmedos, la disolución de minerales puede ocurrir a muchos metros por debajo de la superficie, más allá de la profundidad de penetración de la mayoría de los rayos cósmicos y, por lo tanto, de la producción de la mayoría de los nucleidos cosmogénicos.

Los investigadores (Campbell *et al.*, 2022), concluyeron que sus datos sugieren la importancia de estimar los flujos de solutos y medir pares de nucleidos cosmogénicos para comprender mejor los procesos y las tasas de transferencia de masa a escala de cuenca.

### Conclusiones

La transición de Cuba a la actual agricultura sostenible (y esto reduce el uso de fertilizantes por hectárea de suelo de cultivo), ha traído como resultado mucha menor concentración de nutrientes en los ríos de la región central de Cuba que en el agua del río Mississippi de los Estados Unidos y es un modelo para otros tipos de economías, afirmó el *team* de investigadores.

El grupo de científicos también considera que, la implementación de otras estrategias de manejo para reducir el estiércol y las cargas de sedimentos (tales como mantener el ganado lejos de los ríos), pudiera en el futuro traer una rápida mejora de la calidad de las aguas de los ríos y consecuentemente beneficios económicos al país.

Los resultados de estas investigaciones tributaron al Plan del Estado Cubano para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida), específicamente en lo concerniente a la protección de los suelos y del agua, brindando un diagnóstico de la erosión de los suelos en los sitios estudiados, así como la calidad de las aguas, relacionadas con la deposición de los sedimentos originados en los procesos erosivos y la presencia de contaminantes asociados a esos sedimentos, muy ligados a la actividad antrópica agropecuaria.

Por otra parte, la comunicación pública tuvo un rol importante en la investigación y los participantes en el intercambio académico Cuba-Estados Unidos, consideran que Cuba puede ser un catalizador para aumentar la conciencia pública sobre la importancia de la conservación del suelo.

La ejecución del intercambio académico entre científicos cubanos y estadounidenses, demostró que no importan las diferencias de ideologías ni de sistemas económicos, cuando existe el máximo respeto, tolerancia y aceptación de las desigualdades. En el intercambio Vermont-Oberlin-CEAC, primó en todo momento un ambiente fraternal, de respeto y de solidaridad, dado por el objetivo común de tener un buen desempeño en la ejecución del proyecto y los resultados obtenidos hablan por sí solos.

Al año siguiente, la delegación de expertos de las instituciones de los Estados Unidos y Cuba volvieron a encontrarse en la nación caribeña para desarrollar la segunda campaña de muestreo en la provincia de Pinar del Río. Esto será material para otra publicación.

### Semblanzas

La Universidad de Vermont, es una universidad estatal de Burlington al noroeste del estado de Vermont y es reconocida en las especialidades de biología, ciencias medioambientales, agrícolas y de la vida.

El Colegio de Oberlin, situada en la ciudad Oberlin, Ohio es una universidad privada, miembro de la Asociación de Universidades de los Grandes Lagos y los Cinco Colegios de Ohio. Sus carreras más populares han sido: Inglés, Biología, Historia, Política y Estudios Ambientales.

Por su parte, el Centro de Estudios ambientales de Cienfuegos es un centro de investigación adscrito al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, dedicado al estudio y solución de procesos ambientales; reconocido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) como Centro de Referencia Regional en la aplicación de técnicas nucleares a la solución de problemas específicos del manejo integrado costeros, desde 2007. Actualmente está acreditado como "Centro Colaborador del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para la Aplicación de Técnicas Nucleares e Isotópicas en el Estudio de Ecosistemas Marinos-Costeros en la Región de Latinoamérica y el Caribe".

### **Artículos publicados sobre los resultados del intercambio los Estados Unidos–CEAC, Cuba**

In Cuba, Cleaner Rivers Follow Greener Farming. doi.org/10.1130/GSATG419A.1

¡Cuba! River Water Chemistry Reveals Rapid Chemical Weathering, the Echo of Uplift, and the Promise of More Sustainable Agriculture (2020, March-April). *GSA Today*, 30(3-4).

Cosmogenic nuclide and solute flux data from central Cuba emphasize the importance of both physical and chemical denudation in highly weathered landscapes. 2021. <https://doi.org/10.5194/gchrom>

### **Resultados presentados en eventos científicos**

MARCUBA, Habana (2018). Water Quality of central Cuban rivers; implications for the flux of material from land to sea.

Taller Ecoagua. Hanabanilla (2020, marzo). Evaluación del impacto de la Meteorización Química y de la Agricultura Sostenible en la calidad de las aguas de los ríos de la región central de Cuba (Ponencia).

XVI Forum de Ciencia y Técnica del CEAC (2020, junio). Evaluación del impacto de la Meteorización Química y de la Agricultura Sostenible en la calidad de las aguas de los ríos de la región central de Cuba (Ponencia).

### **Referencias bibliográficas**

- Balco, G., Stone, J. O., Lifton, N. A., Dunai, T. J. (2008). A complete and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from  $^{10}\text{Be}$  and  $^{26}\text{Al}$  measurements. *Quat. Geochronol.*, 3, 174-195. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2007.12.001>
- Bierman, P. R., Steig, E. (1996). Estimating rates of denudation using cosmogenic isotope abundances in sediment. *Earth Surf. Proc. Land.*, 21, 103-203.
- Bierman, P. R., Sibello Herdandez, R. S., Schmidt, A., Cartas Águila, H. A., Bolaños Álvarez, Y., Guillén Arruebarrena, A., Campbell, M. K., Dethier, D., Dix, M., Massey-Bierman, M., García Moya, A., Perdrial, J., Racela, J., Alonso-Hernández, C. (2020). ¡Cuba! River Water Chemistry Reveals Rapid Chemical Weathering, the Echo of Uplift, and the Promise of More Sustainable Agriculture. *GSA Today*, 30, 4-10.
- Brown, E. T., Stallard, R. F., Larsen, M. C., Raisbeck, G. M., Yiou, F. (1995). Denudation rates determined from the accumulation of in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 129, 193-202. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(94\)00249-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(94)00249-X)
- Campbell M. K., Bierman P. R., Schmidt A. H., Sibello Hernández R., García-Moya A., Corbett L. B., Hidy A. J., Cartas Águila H., Guillén Arruebarrena A., Balco G., Dethier D., Caffee M. (2022). Cosmogenic nuclide and solute flux data from central Cuban rivers emphasize the importance of both physical and chemical mass loss from tropical landscapes. *Geochronology*, 4, 435-453. <https://doi.org/10.5194/gchron-4-435-2022>
- French, C. D., And Schenk, C. J. (2004). Map showing geology, oil, and gas fields, and geologic provinces of the Caribbean Region: U.S. Geological Survey Open-File Report 97-470-K. <https://pubs.usgs.gov/of/1997/ofr-97-470/OF97-470K/>
- Granger, D. E., Kirchner, J. W., Finkel, R. (1996). Spatially Averaged Long-Term Erosion Rates Measured from in Situ-Produced Cosmogenic Nuclides in Alluvial Sediment. *J. Geol.*, 104, 249-257.
- Granger, D. E., Muzikar, P. (2001). Dating sediment burial with in situ produced cosmogenic nuclides: theory, techniques, and limitations, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 188, 269-281.

- Lal, D. (1991). Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 104, 424-439.
- Lal, D., Chen, J. (2005). Cosmic ray labeling of erosion surfaces II: Special cases of exposure histories of boulders, soils and beach terraces, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 236, 797-813. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.05.025>
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D. E. (2008). Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$ ) to assess soil erosion and sedimentation. *J. Environ. Radioact.*, 99, 1799-1807.
- Makhubela, T. V., Kramers, J. D., Scherler, D., Wittmann, H., Dirks, P. H. G. M., Winkler, S. R. (2019). Effects of long soil surface residence times on apparent cosmogenic nuclide denudation rates and burial ages in the Cradle of Humankind, South Africa. *Earth Surf. Proc. Land.*, 44, 2968-2981. <https://doi.org/10.1002/esp.4723>
- Nishiizumi, K., Winterer, E. L., Kohl, C. P., Klein, J., Middleton, R., Lal, D., Arnold, J. R. (1989). Cosmic ray production rates of  $^{10}\text{Be}$  and  $^{26}\text{Al}$  in quartz from glacially polished rocks. *J. Geophys. Res.*, 94, 17907-17915. <https://doi.org/10.1029/JB094iB12p17907>
- Ritchie, J. C., & Mchenry, J. R. (1990). Determination of fallout  $^{137}\text{Cs}$  for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns. *J. Environ. Qual.*, 19 (1990) 215-233., 19, 215-233.
- USDA (2016). Memorandum of Understanding Between United States Department of Agriculture and the Republic of Cuba Ministry of Agriculture On Cooperation in Agriculture and Related Fields.
- Walling, D. E. & Quine, T. A. (1991). Use of caesium-137 measurements to investigate soil erosion in arable fields in the UK: potential applications and limitations. *European Journal of Soil Science*, 42, 147-165.
- Walling, D. E., And Woodward, J. C. (1992). Use of radiometric fingerprints to derive information on suspended sediment sources: Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins (Proceedings of the Oslo Symposium, August 1992), v. IAHS Publ. no. 210.
- Walling, D. E. & Quine, T. A. (1993). Use of  $^{137}\text{Cs}$  as a tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the application of the  $^{137}\text{Cs}$  technique [Report to the UK Overseas Development Administration].
- Walling, D. E. & He, Q. (1999). Use of fallout  $^{210}\text{Pb}$  measurements to estimate soil erosion on cultivated land. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 1404-1412.
- Zapata, F. (2002). Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation using Environmental Radionuclides.
- Zapata, F. & Nguyen, M. L. (2009). Soil erosion and sedimentation studies using environmental radionuclides. In: Froehlich, K. (Ed.), *Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes*.