



Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Autor: Ing. M.Sc. José Isaac Mejía Gutiérrez. Lic. M.Sc. Katherine Ríos



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ



INSTITUTO
DE SUELOS





La AECID trabaja en la República de Panamá desde 1988 a través de su primera Oficina Técnica de Cooperación (OTC), adscrita a la Embajada de España en el país. En la actualidad la Oficina Técnica de Cooperación se encuentra situada en la Ciudad del Saber en Clayton, Ciudad del Panamá. Su cometido es el cumplimiento de las estrategias y acciones dirigidas a la promoción del desarrollo sostenible humano, social y económico y a la erradicación de la pobreza, mediante la gestión, identificación, control y seguimiento de proyectos y programas de cooperación para el desarrollo y la coordinación de las acciones que realizan los distintos actores de la Cooperación Española en el país.

El presente documento ha sido preparado con la colaboración: Doctor Jorge Carrazana, Doctor Reinaldo Gil, Doctor José Luis Peralta, Ing. M. Sc. José I. Mejía, Ing. Katherine Ríos.

La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) es una Agencia Estatal, entidad de derecho público, adscrita al Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (enlace: <http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/Paginas/inicio.aspx> de España, a través de la Secretaría de Estado de Cooperación Internacional y para Iberoamérica Y el Caribe (SECIPIC). Tal y como establece la Ley 23/1998, de 7 de Julio, de Cooperación Internacional para el Desarrollo, la AECID es el principal órgano ejecutivo de la Cooperación Española. Su objeto es el fomento, la gestión y la ejecución de las políticas públicas de cooperación internacional para el desarrollo, dirigidas a la lucha contra la pobreza, la consecución de un desarrollo humano sostenible en los países en desarrollo, la prevención y atención de situaciones de emergencia, la promoción de la democracia y el impulso de las relaciones con los países socios, siguiendo las nuevas directrices del nuevo V Plan Director 2018-2021. La AECID, junto a sus socios, trabaja en 37 países y territorios del mundo a través de su red de Oficinas Técnicas de Cooperación, Centros Culturales y Centros de Formación.

<http://www.aecid.es/ES/d%C3%B3nde-cooperamos>

Esta publicación puede solicitarse a:

AECID

AECID - AECID en Panamá - Clayton - Ciudad del Saber Edificio 179

(507) 317-0343 / 45/ 46

aecid-otcpanama@aecid.es





Índice de Contenido

Agradecimientos.....	6
Instituciones participantes.....	7
Introducción.....	8
Antecedentes.....	10
Estado del Arte.....	12
Equipo de Trabajo.....	19
Agenda del evento.....	21
Presentaciones realizadas.....	28
Presentación 1. Nociones sobre espectrometría gamma. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones) y Dmitry Krivonos (OIEA).....	29
Presentación 2. Contribuciones a la mejora de la determinación de radionúclidos por espectrometría gamma. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones).	31
Presentación 3. Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Experiencias del CPHR, Cuba. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones).....	33
Presentación 4. Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Experiencias en la agricultura y el ambiente del CPHR, Cuba. Doctor Jorge Carrazana. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).....	35
Presentación 5. Trazabilidad metrológica y competencia técnica en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental (LVRA). Doctor Jorge Carrazana. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).....	37

Presentación 6. Aplicación de técnicas de fingerprinting sedimentario (CSSI y FRX) para la identificación de fuentes de sedimentos en cuencas hidrográficas. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones)	39
Presentación 7. Estrategia de muestreo de campo para estudios de fingerprinting sedimentario en cuencas hidrográficas. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones). .	41
Presentación 8. Análisis de laboratorio en estudios de fingerprinting sedimentario mediante técnicas CSSI y FRX. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones)	43
Presentación 9. Fingerprinting sedimentario mediante técnicas CSSI y FRX: fundamentos, metodología y aplicaciones. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	45
Presentación 10. Interpretación y validación de resultados en estudios de fingerprinting sedimentario para la evaluación de la degradación del suelo Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).	47
Presentación 11. Degradación de los suelos y manejo sostenible en Panamá: fundamentos, procesos y estrategias de conservación. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	49
Presentación 12. Fundamentos teóricos del uso de radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN) en la evaluación de la erosión y redistribución del suelo. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	51
Presentación 13. Fundamentos teóricos del uso de radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN) en la evaluación de la erosión y redistribución del suelo. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	53
Presentación 14. Protocolo y estrategia de muestreo en estudios de erosión del suelo mediante radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN). José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	55
Presentación 15. Modelos de conversión para la evaluación de la redistribución del suelo mediante radionucleidos. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).....	57
Experiencia visitada. Síntesis técnica de las experiencias observadas y testimonios brindados durante las jornadas de capacitación.....	59
Aprendizajes alcanzados. Los participantes explican brevemente los logros alcanzados, evidencias generadas, elementos claves a considerar para aplicar.....	61
Recursos utilizados. Los participantes describen brevemente los elementos utilizados para implementar los conocimientos adquiridos.	63

Desafíos pendientes. Los participantes describen brevemente que hace falta, limitaciones, obstáculos dificultades para aplicar las experiencias en Panamá.	65
.Lecciones aprendidas. Los participantes describen brevemente: ¿Que salió mal?, Que salió Bien?, ¿Que acciones debemos tomar para evitar estos errores y repetir los aciertos en el futuro?	66
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	71
Referencias	73
Sección de imágenes.....	75
Listas de asistencias	83
Biografías de los expositores.....	92

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la ejecución de este proyecto y la realización del evento “Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques, integrando técnicas isotópicas (FRN+CSSI+espectrometría gamma y conexas)”.

En primer lugar, extendemos nuestro profundo reconocimiento a las instituciones que participaron activamente, entre ellas el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) el Instituto de Suelos de Cuba (IS), la Universidad de Santiago de Compostela (USC), el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), la Asociación Nacional de Ganaderos (ANAGAN), la Red de Jóvenes Ambientalistas del Canal de Panamá, la Red Nacional de Juventudes Rurales (RENAJUR), la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), el Instituto de Seguro Agropecuario (ISA), la Facultad de Ciencias Agropecuarias y los Comités de Cuencas del Canal involucrados. Su compromiso, experiencia y conocimientos fueron fundamentales para enriquecer este espacio de diálogo y aprendizaje.

Agradecemos de manera especial a los expertos del CPHR, OIEA e IDIAP, quienes compartieron valiosos aportes científicos y técnicos, fortaleciendo el enfoque integral del proyecto “Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación + Promoción + Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá”. Asimismo, reconocemos a todos los participantes, cuyo entusiasmo y activa participación hicieron posible un intercambio fructífero de conocimientos.

De igual forma, destacamos el apoyo logístico y organizativo brindado por el equipo coordinador de la Fundación para la Internacionalización de las Administraciones Públicas (FIAP), la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y el Departamento de Relaciones Públicas e Informática del IDIAP, quienes facilitaron la realización del evento en modalidad presencial, garantizando la integración de voces nacionales e internacionales.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento por el respaldo financiero y técnico de los organismos nacionales e internacionales que apoyan esta iniciativa, sin los cuales no sería posible avanzar en la restauración sostenible de los suelos ni en la construcción de un futuro más resiliente para nuestra región. A todos ustedes, muchas gracias por su dedicación, colaboración y compromiso con la conservación de los recursos naturales y el bienestar de nuestras comunidades.

Instituciones participantes



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ



Introducción

El papel de las técnicas nucleares se evidencia a lo largo de las tres etapas propuestas en la estrategia I+P+P (Innovación + Promoción + Pago), constituyéndose como una herramienta clave para la evaluación, gestión y monitoreo de la degradación del suelo y los recursos hídricos.

En la Etapa 1, correspondiente al diagnóstico, las técnicas nucleares permiten cuantificar la degradación del suelo mediante la evaluación de la redistribución de sedimentos en el paisaje, proporcionando información precisa sobre los procesos de erosión hídrica. En la Etapa 2, estas herramientas contribuyen a sustentar la toma de decisiones técnicas orientadas a mantener, mejorar o transformar los usos del suelo, en función de su respuesta a las medidas agroecológicas implementadas en los sistemas productivos. Esta etapa también promueve la adopción de cambios en el uso del suelo, basados en evidencia científica. Finalmente, en la Etapa 3, las técnicas nucleares desempeñan un rol fundamental en el monitoreo y la evaluación de la efectividad de las medidas adoptadas en campo, incluyendo prácticas de conservación y cambios en los usos del suelo.

Es importante destacar que la Etapa 2 integra, además, componentes asociados a marcos legislativos, estrategias y políticas sectoriales o nacionales orientadas a la promoción de una agricultura sostenible. En este contexto, resulta fundamental fortalecer programas sectoriales que incorporen incentivos económicos para fomentar la adopción de prácticas sostenibles. Como referencia, en el caso de Cuba, el Programa Nacional de Manejo y Conservación de Suelos (PNMCS) contempla la participación de inspectores especializados que certifican el cumplimiento de los planes de manejo por parte de los productores, garantizando así la implementación efectiva de las medidas propuestas.

Para optimizar el uso de las técnicas nucleares en sus funciones de evaluación, análisis y validación, la estrategia I+P+P propone el establecimiento de dos tipos de zonas demostrativas, diferenciadas por su escala y propósito: (i) áreas demostrativas a escala de parcela, como las contempladas en el caso de estudio del proyecto PAN5029, y (ii) polígonos de conservación de suelo, agua y bosques a escala nacional, a implementarse en sitios representativos de Panamá.

En este marco, las técnicas nucleares, aplicadas de manera integral, se posicionan como herramientas innovadoras para evaluar los procesos de degradación de la tierra y los recursos hídricos, contribuyendo a garantizar su sostenibilidad. Estas metodologías permiten, además, determinar y validar la efectividad de las medidas de conservación y restauración implementadas en los sistemas agropecuarios.

En particular, su aplicación en el proyecto de cooperación técnica internacional IDIAP–AECID–Instituto de Suelos de Cuba, titulado “Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación +

Promoción + Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá”, así como en las áreas demostrativas y polígonos de conservación seleccionados, tiene como objetivo fortalecer las capacidades técnicas para evaluar los procesos de degradación del suelo y cuantificar el impacto ambiental, económico y social de las medidas de conservación implementadas.

Antecedentes

Las técnicas nucleares, aplicadas de manera integral, constituyen una de las principales herramientas innovadoras propuestas por la estrategia para evaluar los procesos de degradación de la tierra y los recursos hídricos, contribuyendo a garantizar su sostenibilidad. Estas metodologías permiten no solo diagnosticar el estado de degradación, sino también definir y sustentar medidas orientadas a la mejora y conservación de los suelos y el agua. Asimismo, facilitan la evaluación de la efectividad de las prácticas de manejo implementadas en los sistemas agropecuarios, tanto en el caso de estudio del proyecto de cooperación técnica internacional IDIAP-AECID-IS: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá”, como en las áreas demostrativas y en los polígonos de conservación de suelo, agua y bosques seleccionados.

La aplicación integrada de estas técnicas mejora sustancialmente los programas convencionales de monitoreo y vigilancia de los procesos de degradación ambiental, al proporcionar información cuantitativa precisa que complementa las valoraciones cualitativas tradicionales sobre los riesgos asociados a la sostenibilidad de la tierra y los recursos hídricos. En este sentido, permiten una comprensión más detallada de los procesos de erosión, transporte y sedimentación, así como de sus impactos en los sistemas productivos y ecosistemas asociados.

Para alcanzar estos objetivos, se propone el uso de técnicas nucleares ampliamente validadas, tales como los radionúclidos provenientes de la precipitación radiactiva (FRN), incluyendo ^{137}Cs , ^7Be y ^{210}Pb ; los compuestos específicos de isótopos estables (CSSI), basados en la firma isotópica del carbono ($\delta^{13}\text{C}$); y la hidrología isotópica, que emplea isótopos como ^2H , ^3H y ^{18}O . Estas metodologías pueden complementarse con técnicas conexas, como el análisis de “fingerprinting” geoquímico, que utiliza elementos traza para determinar el origen de los sedimentos.

Cada una de estas técnicas aporta información específica sobre distintas etapas del proceso de degradación. En particular, los radionúclidos de precipitación (FRN) permiten cuantificar la redistribución del suelo en el paisaje, identificando zonas de erosión y deposición. El ^{137}Cs y el ^{210}Pb son adecuados para evaluar procesos de mediano plazo (50–100 años), mientras que el ^7Be permite analizar eventos de corto plazo asociados a fenómenos meteorológicos o cambios recientes en el uso del suelo. Por su parte, los CSSI permiten determinar con alta precisión el origen de los sedimentos mediante el análisis de compuestos orgánicos específicos, mientras que la hidrología isotópica contribuye a caracterizar la dinámica del agua y los procesos de transporte y acumulación en cuerpos hídricos.

El uso integrado de estas técnicas resulta especialmente relevante para evaluar los impactos de la sedimentación en el paisaje y en cuerpos de agua superficiales. Para su adecuada aplicación, es indispensable contar con información de base que incluya la caracterización física, biológica, económica y social del área de estudio, así como un diagnóstico de las fuentes de contaminación y un análisis socioeconómico de la subcuenca.

La redistribución del suelo en el paisaje ocurre a diferentes escalas, generalmente en el contexto de cuencas hidrográficas, y comprende tres etapas fundamentales: (i) la degradación del suelo, (ii) su transporte y (iii) su deposición o acumulación. La acumulación de sedimentos en el paisaje puede tener efectos tanto positivos como negativos, dependiendo de su composición; sin embargo, cuando ocurre en cuerpos de agua superficiales, da lugar al fenómeno de la sedimentación, cuyos impactos son predominantemente negativos.

En este contexto, la integración de las técnicas FRN, CSSI e hidrología isotópica permite abordar de manera integral estas etapas del proceso, reduciendo incertidumbres y proporcionando información robusta para la toma de decisiones. Esta metodología se consolida, así como una herramienta científico-técnica esencial para fortalecer los programas de monitoreo y mejorar las estrategias de gestión sostenible en los sistemas agropecuarios.

La aplicación integrada de estas técnicas permite analizar la sedimentación como un proceso continuo. En una primera etapa, los FRN cuantifican la redistribución del suelo y permiten identificar zonas de pérdida y acumulación. En una segunda etapa, la combinación de FRN y CSSI posibilita determinar tanto la magnitud de la redistribución como el origen de los sedimentos. Finalmente, en la etapa de deposición en cuerpos de agua, la integración de FRN, CSSI e hidrología isotópica permite evaluar los impactos de la sedimentación y caracterizar la dinámica del sistema hídrico receptor.

La sinergia entre estas técnicas constituye un elemento clave del enfoque metodológico propuesto. Los resultados de FRN permiten identificar zonas fuente y de acumulación, lo que orienta la selección de puntos de muestreo para CSSI. A su vez, la determinación del origen de los sedimentos facilita la incorporación de la hidrología isotópica, que permite caracterizar el comportamiento del cuerpo de agua y evaluar los impactos de la sedimentación en los reservorios hídricos.

En conjunto, este enfoque integrado proporciona una base científica sólida para la evaluación de los procesos de degradación del suelo y los recursos hídricos, contribuyendo al diseño de estrategias efectivas de conservación y restauración en sistemas agropecuarios.

Estado del Arte

La determinación de radionúclidos emisores gamma en diversas matrices ambientales mediante espectrometría gamma enfrenta retos asociados a variaciones en geometría, densidad y composición química. La calibración en eficiencia resulta crítica para garantizar estimaciones fiables y trazables de la actividad, aunque su implementación experimental es limitada y compleja, especialmente en mediciones in situ. En este contexto, la simulación Monte Carlo emerge como una alternativa robusta. El estudio analiza factores que influyen en la calibración en eficiencia para distintas condiciones de medición, contribuyendo a mejorar la precisión analítica y fortalecer la capacidad de evaluación de procesos de degradación del suelo mediante técnicas nucleares (Carrazana, 2017).

La espectrometría gamma es una técnica analítica nuclear utilizada para identificar y cuantificar radionucleidos emisores de radiación gamma en diferentes matrices ambientales, geológicas, biológicas e industriales. Esta metodología se basa en la medición de la energía y la intensidad de los fotones gamma emitidos durante los procesos de desintegración radiactiva, permitiendo determinar la composición isotópica de una muestra de manera no destructiva. Según Knoll (2010), la interacción de la radiación gamma con la materia ocurre principalmente mediante el efecto fotoeléctrico, la dispersión Compton y la producción de pares, principios fundamentales para comprender el funcionamiento de los detectores espectrométricos.

El desarrollo tecnológico de la espectrometría gamma ha permitido mejorar significativamente la resolución y sensibilidad de los sistemas de detección. Gilmore (2008) destaca que los detectores de germanio hiperpuro (HPGe) representan actualmente el estándar de referencia debido a su elevada resolución energética, permitiendo discriminar radionucleidos con energías muy próximas entre sí. Estos detectores son ampliamente utilizados en laboratorios de monitoreo ambiental, seguridad radiológica y aplicaciones nucleares avanzadas.

Por otra parte, Debertain y Helmer (1988) señalan que la correcta calibración energética y de eficiencia constituye un requisito indispensable para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados analíticos. Además, enfatizan la necesidad de aplicar correcciones por geometría, autoabsorción y tiempo muerto durante el procesamiento espectral, especialmente en muestras ambientales complejas.

En el ámbito ambiental y agrícola, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha promovido el uso de la espectrometría gamma para la evaluación de radionucleidos naturales y artificiales en suelos, sedimentos y recursos hídricos. Estas aplicaciones han permitido fortalecer estudios relacionados con erosión hídrica, sedimentación, contaminación radiactiva y conservación de suelos mediante técnicas isotópicas y radionucleidos trazadores (IAEA, 2014).

La espectrometría gamma ha experimentado importantes avances tecnológicos y metodológicos orientados a mejorar la precisión y sensibilidad en la determinación de radionúclidos presentes en matrices ambientales, geológicas y biológicas. Entre las principales contribuciones destacan el desarrollo de detectores de germanio hiperpuro (HPGe), la optimización de sistemas digitales de adquisición de datos y la implementación de métodos de calibración más precisos. Según Gilmore (2008), la incorporación de detectores HPGe permitió incrementar significativamente la resolución energética, facilitando la identificación de radionúclidos con líneas gamma muy próximas y reduciendo las interferencias espectrales en muestras complejas.

Por otra parte, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha promovido la estandarización de procedimientos relacionados con calibración, control de calidad, estimación de incertidumbres y validación analítica en laboratorios de espectrometría gamma. Estas mejoras metodológicas han contribuido al fortalecimiento de la confiabilidad de los resultados obtenidos en estudios de monitoreo ambiental, protección radiológica y evaluación de contaminación radiactiva (IAEA, 2014). Asimismo, el uso de software especializado y modelos matemáticos avanzados ha optimizado el procesamiento de espectros gamma y la cuantificación de radionúclidos en muestras de baja actividad.

El monitoreo radiológico ambiental constituye una herramienta fundamental para evaluar la presencia y comportamiento de radionúclidos en el medio ambiente, así como para proteger la salud humana y los ecosistemas frente a posibles riesgos asociados a la radiación ionizante. Este monitoreo incluye la vigilancia sistemática de radionúclidos en aire, agua, suelo, sedimentos y alimentos, mediante técnicas analíticas como la espectrometría gamma, alfa y beta. De acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica, los programas de monitoreo radiológico permiten establecer líneas base ambientales, detectar cambios en los niveles de radiación y fortalecer la preparación ante emergencias nucleares y radiológicas (IAEA, 2005).

Asimismo, Eisenbud y Gesell (1997) señalan que el monitoreo radiológico ambiental desempeña un papel esencial en la evaluación del impacto de actividades industriales, médicas y nucleares sobre el ambiente. Los autores destacan que la determinación de radionúclidos naturales y artificiales mediante técnicas de alta sensibilidad permite identificar procesos de dispersión, transporte y acumulación radiactiva en diferentes matrices ambientales. Además, enfatizan la importancia de aplicar procedimientos de control de calidad, calibración y validación analítica para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en programas de vigilancia radiológica.

La trazabilidad metrológica y la competencia técnica constituyen pilares fundamentales en los laboratorios de vigilancia radiológica ambiental, ya que garantizan la confiabilidad, exactitud y comparabilidad de los resultados analíticos obtenidos en la determinación de radionúclidos. La trazabilidad metrológica se define como la propiedad del resultado de una medición que permite relacionarlo con referencias reconocidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, mediante una cadena ininterrumpida de calibraciones con incertidumbres establecidas. Según la International Organization for Standardization, la implementación de la norma ISO/IEC 17025 permite asegurar la competencia técnica de los laboratorios mediante requisitos relacionados con calibración, validación de métodos, control de calidad y estimación de incertidumbres (ISO, 2017).

En el ámbito de la vigilancia radiológica ambiental, el Organismo Internacional de Energía Atómica destaca que los laboratorios deben aplicar procedimientos normalizados, materiales de referencia certificados y programas de intercomparación para garantizar resultados técnicamente válidos y comparables internacionalmente. Asimismo, enfatiza que la competencia del personal, el mantenimiento de equipos espectrométricos y el aseguramiento de la calidad analítica son esenciales para el monitoreo confiable de radionúclidos en muestras ambientales como agua, suelo, sedimentos y alimentos (IAEA, 2004).

Las técnicas de fingerprinting sedimentario han adquirido gran relevancia en estudios de erosión y degradación de cuencas hidrográficas, debido a su capacidad para identificar y cuantificar las principales fuentes de sedimentos. Entre las metodologías más utilizadas destacan los compuestos específicos de isótopos estables (CSSI) y la fluorescencia de rayos X (FRX), las cuales permiten caracterizar la procedencia de los sedimentos mediante trazadores orgánicos y geoquímicos. Los métodos CSSI se basan en la identificación de biomarcadores moleculares derivados de la vegetación presentes en los suelos, permitiendo discriminar diferentes usos de la tierra y determinar las contribuciones relativas de las fuentes de sedimentos. Según Blake et al. (2012), los CSSI representan una herramienta innovadora y sensible para estudios de erosión, especialmente en cuencas agrícolas donde es necesario diferenciar aportes provenientes de cultivos, pasturas y bosques.

Por otra parte, la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) ha sido ampliamente utilizada como herramienta geoquímica para la identificación de firmas elementales en sedimentos y suelos. Collins et al. (2017) destacan que la combinación de trazadores geoquímicos obtenidos mediante FRX con modelos estadísticos de mezcla mejora significativamente la precisión en la identificación de fuentes sedimentarias. Asimismo, señalan que la integración de técnicas fingerprinting con herramientas SIG y modelos isotópicos permite comprender de manera más integral los procesos de erosión, transporte y sedimentación en cuencas hidrográficas,

contribuyendo al diseño de estrategias sostenibles para la conservación del suelo y el manejo de recursos hídricos.

La estrategia de muestreo de campo constituye una etapa fundamental en los estudios de fingerprinting sedimentario, debido a que la representatividad de las muestras condiciona la confiabilidad de los resultados obtenidos en la identificación de fuentes de sedimentos. Estos estudios requieren una adecuada planificación espacial y temporal del muestreo, considerando factores como uso del suelo, geomorfología, hidrología, pendiente y procesos erosivos predominantes dentro de la cuenca hidrográfica. Según Collins et al. (2017), una estrategia de muestreo eficiente debe incluir la caracterización detallada de las posibles fuentes sedimentarias y de los puntos de mezcla, así como la selección de trazadores conservativos capaces de discriminar adecuadamente entre diferentes fuentes de sedimentos.

Asimismo, Walling (2013) señala que el muestreo en estudios de fingerprinting debe contemplar protocolos estandarizados para la colecta, almacenamiento y pretratamiento de las muestras, con el fin de minimizar sesgos asociados a variaciones granulométricas y contenido de materia orgánica. El autor destaca que la integración de herramientas SIG, imágenes satelitales y reconocimiento de campo mejora significativamente la definición de las unidades de muestreo y la interpretación espacial de los procesos de erosión y sedimentación. Además, enfatiza que el diseño del muestreo debe adaptarse a las características hidrológicas y ambientales específicas de cada cuenca para garantizar la representatividad estadística de las muestras analizadas.

El análisis de laboratorio representa una etapa esencial en los estudios de fingerprinting sedimentario, ya que permite caracterizar las propiedades físicas, químicas e isotópicas de los sedimentos y de sus posibles fuentes. Las técnicas de compuestos específicos de isótopos estables (CSSI) y fluorescencia de rayos X (FRX) son ampliamente utilizadas debido a su capacidad para discriminar fuentes sedimentarias mediante trazadores orgánicos y geoquímicos. Según Blake et al. (2012), los análisis CSSI se fundamentan en la extracción y determinación de biomarcadores moleculares derivados de la vegetación, especialmente ácidos grasos, los cuales conservan firmas isotópicas características que permiten identificar el origen de los sedimentos asociados a diferentes usos del suelo. Los autores destacan que el pretratamiento de muestras, la extracción lipídica y el análisis isotópico mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas constituyen procedimientos fundamentales para garantizar resultados confiables.

Por otra parte, la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) se emplea para determinar la composición elemental de sedimentos y suelos mediante el análisis de elementos traza y mayores presentes en las muestras. Collins et al. (2017) señalan que la FRX ofrece ventajas

importantes debido a su rapidez analítica, bajo costo operativo y carácter no destructivo, permitiendo generar firmas geoquímicas útiles para modelos de mezcla y discriminación de fuentes sedimentarias. Asimismo, enfatizan que la calidad de los resultados depende de procedimientos rigurosos de secado, molienda, homogeneización y calibración instrumental, así como de la aplicación de controles de calidad y análisis estadísticos multivariados para validar la selección de trazadores conservativos.

La degradación de los suelos constituye uno de los principales problemas ambientales y productivos en Panamá, afectando la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción agrícola, regular el ciclo hidrológico y conservar la biodiversidad. Los procesos de degradación incluyen erosión hídrica, pérdida de materia orgánica, compactación, deforestación y deterioro de la fertilidad, asociados principalmente al uso inadecuado de la tierra, expansión agrícola y ganadería extensiva. La Food and Agriculture Organization of the United Nations señala que el manejo sostenible de los suelos es esencial para enfrentar los desafíos relacionados con el cambio climático, la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales, destacando que la degradación de los suelos en América Latina y el Caribe genera importantes pérdidas económicas y ambientales. Asimismo, la FAO enfatiza que prácticas como la cobertura vegetal, sistemas agroforestales, conservación de agua y restauración de áreas degradadas contribuyen significativamente a mejorar la resiliencia de los agroecosistemas.

En Panamá, diferentes iniciativas nacionales e internacionales han promovido estrategias orientadas al manejo sostenible de la tierra y la restauración de suelos degradados. El proyecto DS-SLM/LADA impulsado por el Ministerio de Ambiente de Panamá, en colaboración con la FAO y otros organismos internacionales, ha fortalecido la evaluación de degradación de tierras y la implementación de buenas prácticas de conservación en cuencas hidrográficas vulnerables. Estas estrategias incluyen reforestación, sistemas silvopastoriles, manejo integrado de cuencas y uso eficiente de los recursos hídricos, con el objetivo de reducir la erosión y mejorar la sostenibilidad agrícola y ambiental del país.

Los radionúclidos de precipitación radiactiva (Fallout Radionuclides, FRN) constituyen herramientas nucleares ampliamente utilizadas para evaluar procesos de erosión, transporte y redistribución de suelos en diferentes escalas espaciales y temporales. Estos radionúclidos, entre los que destacan ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y ^7Be , se depositan sobre la superficie terrestre a través de precipitaciones atmosféricas y quedan fuertemente adsorbidos a las partículas finas del suelo, permitiendo rastrear el movimiento de sedimentos ocasionado por la erosión hídrica y otros procesos geomorfológicos. Según Walling y He (1999), la técnica FRN ofrece ventajas significativas frente a métodos convencionales de monitoreo, debido a su capacidad para estimar

tasas de erosión y sedimentación de manera retrospectiva e integrada en el tiempo, proporcionando información esencial para la gestión sostenible del suelo y los recursos hídricos.

El Organismo Internacional de Energía Atómica ha promovido ampliamente el uso de radionúclidos FRN como herramienta para evaluar la efectividad de prácticas de conservación de suelos y manejo de cuencas hidrográficas. El OIEA señala que la distribución espacial de radionúclidos como ^{137}Cs permite identificar áreas de pérdida y acumulación de sedimentos mediante comparación con inventarios de referencia, facilitando la cuantificación de procesos erosivos y la validación de estrategias de conservación. Asimismo, destaca que la integración de FRN con herramientas SIG y modelos isotópicos mejora significativamente la comprensión de la dinámica sedimentaria y la degradación de tierras en sistemas agrícolas y ambientales (IAEA, 2014).

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica, la estrategia de muestreo debe considerar factores como topografía, uso del suelo, cobertura vegetal, pendiente, patrones de escorrentía y características geomorfológicas de la cuenca, con el propósito de seleccionar sitios representativos y establecer inventarios de referencia confiables para la interpretación de los procesos erosivos (IAEA, 2014).

Asimismo, Walling y He (1999) señalan que los protocolos de muestreo en estudios FRN deben incluir procedimientos estandarizados para la colecta, georreferenciación, profundidad de muestreo y preparación de las muestras de suelo. Los autores destacan que la densidad espacial del muestreo y la correcta selección de sitios de referencia no erosionados son aspectos críticos para estimar tasas de erosión y sedimentación con mayor precisión. Además, enfatizan que la integración de herramientas SIG, análisis estadísticos y modelos de conversión mejora significativamente la interpretación espacial de la redistribución del suelo y contribuye al diseño de estrategias sostenibles de conservación y manejo de cuencas hidrográficas.

Los modelos de conversión constituyen herramientas fundamentales en la interpretación de datos obtenidos mediante radionúclidos de precipitación radiactiva (Fallout Radionuclides, FRN), ya que permiten transformar los inventarios de radionúclidos medidos en tasas cuantitativas de erosión y deposición del suelo. Estos modelos se basan en la comparación entre inventarios de referencia y los valores obtenidos en sitios erosionados o de acumulación, considerando procesos de redistribución de sedimentos y comportamiento temporal de radionúclidos como ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y ^7Be . Según Walling y He (1999), los modelos de balance de masa representan una de las metodologías más utilizadas debido a su capacidad para incorporar variables relacionadas con mezcla del suelo, profundidad de laboreo y procesos de

sedimentación, permitiendo estimaciones más realistas de las tasas de erosión en sistemas agrícolas y ambientales complejos.

El Organismo Internacional de Energía Atómica destaca que la selección del modelo de conversión depende de factores como el tipo de radionúclido utilizado, las características del sitio de estudio, el uso del suelo y la dinámica erosiva de la cuenca hidrográfica. El OIEA señala que modelos como el Proportional Model, Mass Balance Model y Diffusion and Migration Model han sido ampliamente aplicados en estudios de conservación de suelos y manejo sostenible de tierras. Asimismo, enfatiza que la integración de modelos FRN con herramientas SIG y análisis estadísticos mejora significativamente la interpretación espacial de la redistribución del suelo y la identificación de áreas críticas de degradación (IAEA, 2014).

Equipo de Trabajo

La jornada se desarrolló en 16 sesiones distribuidas en la semana del 15 de diciembre de 2025 al 16 de enero 2026. En total, se registró la participación de 252 participantes distribuidos por sexo de la siguiente forma masculino 157 personas (62.30 %) y Femenino 95 personas (37.70 %).

Cuadro. Registro de Participación

Fecha	Participación (personas)	Hombres	Mujeres
15/12/2025	23	17	6
16/12/2025	20	14	6
17/12/2025	22	14	8
18/12/2025	17	14	3
19/12/2025	26	18	8
22/12/2025	9	4	5
05/01/2026	9	6	3
06/01/2026	17	11	6
07/01/2026	16	10	6
08/01/2026	14	9	5
10/01/2026	14	10	4
12/01/2026	15	7	8
13/01/2026	12	6	6
14/01/2026	10	5	5
15/01/2026	11	5	6
16/01/2026	17	7	10
Total Acumulado	252	157	95

En este evento participaron un total de **15 instituciones** que estuvieron representadas durante las siete jornadas de trabajo. Estas incluyeron entidades gubernamentales, universidades, organizaciones juveniles, agencias internacionales, centros de investigación y productores:

- **Entidades Gubernamentales Nacionales de Panamá:**
 - Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
 - Autoridad del Canal de Panamá (ACP)
 - Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA)
 - Ministerio de Ambiente (MiAmbiente)
 - Instituto de Seguro Agropecuario (ISA)

- **Instituciones Académicas y de Investigación:**

- Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba
- Universidad de Panamá -Facultad de Ciencias Agropecuarias
- Universidad Tecnológica

- **Agencias de Cooperación y Redes de Jóvenes:**

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)
- Red Nacional de Juventudes Rurales (RENAJUR)
- Red de Jóvenes Ambientalistas del Canal (REJOAMCAPA)
- Organismo Internacional de la Energía Atómica

- **Asociaciones de Productores:**

- Asociación Productores de piña de Panamá Oeste
- Asociación de Productores de Café
- Asociación Nacional de Ganaderos

La participación de expertos de Cuba, Letonia y Panamá fue fundamental para cumplir con el objetivo de fortalecer las capacidades técnicas en el manejo sostenible del suelo, con un enfoque en la materia orgánica y biodiversidad, clave para la agricultura en Panamá.

Cuadro. Perfil de expertos colaboradores en la jornada de capacitación.

Nombres y apellidos	Profesión	Centro de trabajo	Ocupación profesional
Jorge Carrazana	Doctor en Física nuclear	Centro Protección e Higiene de las Radiaciones	Investigador en espectrometría gamma ambiental, protección radiológica, seguridad nuclear y vigilancia ambiental
Dmitry Krivonos	Doctor en Ciencias	Organismo internacional de la Energía Atómica	Investigador en espectrometría gamma ambiental
Reinaldo Gil	Doctor en Ciencias	Centro Protección e Higiene de las Radiaciones	Investigador en protección radiológica, seguridad nuclear y vigilancia ambiental
José Luis Perales	Doctor en Ciencias	Centro Protección e Higiene de las Radiaciones	Investigador en protección radiológica, seguridad nuclear y vigilancia ambiental

Agenda del evento

Las jornadas de “Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas”, se desarrolló durante quince días efectivos de trabajo en tres jornadas de trabajo a partir de la semana del lunes 15 de diciembre hasta el martes 23 de diciembre de 2025, lunes 5 de enero hasta el viernes 9 de enero de 2026 y del lunes 12 de enero hasta el viernes 16 de enero de 2026; combinando actividades teóricas y prácticas orientadas a fortalecer las capacidades para evaluar los procesos de degradación del suelo y precisar el impacto ambiental, económico y social de medidas de conservación de suelos implementadas.

El Programa de Cooperación Triangular con América Latina y el Caribe desarrolló tres jornadas de capacitación orientadas al fortalecimiento de capacidades técnicas y científicas para la restauración de suelos degradados en la región Oeste del Canal de Panamá, en coordinación con el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

La primera jornada estuvo enfocada en la puesta en marcha de un sistema de espectrometría gamma HPGe para la determinación de Cs-137 en suelos panameños. Incluyó fundamentos de espectrometría gamma, calibración del detector, análisis e identificación de radionucleidos, procesamiento estadístico, control de calidad y aplicaciones ambientales de la técnica. Además, se desarrollaron prácticas relacionadas con calibración, interpretación de espectros y análisis de muestras de suelo.

La segunda jornada abordó el uso de técnicas Fingerprinting mediante compuestos específicos de isótopos estables (CSSI) y trazadores químicos para estudios de sedimentos a nivel de cuenca. Se trataron aspectos de planificación y estrategias de muestreo, caracterización de fuentes de sedimentos, análisis de laboratorio, aplicación de modelos de mezcla e interpretación de resultados integrados con herramientas SIG y técnicas FRN.

La tercera jornada se centró en la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas (FRN) para evaluar procesos de erosión y sedimentación. Incluyó planificación del muestreo, uso de SIG, espectrometría gamma, análisis estadístico y prácticas de campo para la colecta y procesamiento de muestras de suelo y sedimentos.

PROGRAMA DE TRABAJO JORNADA 1

Programa de Cooperación Triangular con América Latina y el Caribe.

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+ Promoción+ Pago) para restaurar suelos degradados en la región Oeste del Canal de Panamá.

Tema: Capacitación Puesta en marcha de un Sistema de Espectrometría Gamma para la Determinación de Cs-137 en Suelos Panameños Técnica de Espectrometría Gamma

Experto: Jorge Antonio Carrazana. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones. (CPHR)

Contraparte Panameña: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Funcionamiento del espectrómetro gamma HPGe y aplicación de la hidrología isotópica para la gestión adecuada de los recursos hídricos y edáficos.

Módulo 1 – Fundamentos de la espectrometría gamma

Objetivos: Comprender los principios físicos de la detección gamma y el funcionamiento del detector HPGe.

Contenido: • Repaso de los conceptos de radiación gamma y desintegración nuclear.

- Interacciones fotón-materia (efecto fotoeléctrico, efecto Compton, pares).
- Características del detector HPGe: cristal, criogenia, resolución y mantenimiento.
- Componentes del sistema: preamplificador, amplificador, convertidor ADC, multicanal.
- Seguridad radiológica aplicada al trabajo con fuentes gamma.

Sesión práctica:

- Identificación del sistema HPGe y sus componentes.
- Puesta en marcha del detector y verificación de las condiciones de funcionamiento.

Módulo 2 – Calibración del espectrómetro HPGe

Objetivos: Calibrar el sistema HPGe en términos de energía y eficiencia.

Contenido: • Principios de calibración de energía y verificación con fuentes conocidas.

-
- Calibración de eficiencia absoluta y relativa.
 - Corrección de la geometría de medición.
 - Calibración HPGe: uso de los módulos “Editor de calibración” y “Calibración de eficiencia”.
 - Evaluación de la resolución y la estabilidad del sistema.

Sesión práctica:

- Calibración paso a paso de energía y eficiencia.
- Verificación y guardado de curvas de calibración.

Módulo 3 – Análisis e identificación de radionucleidos

Objetivos: Analizar e interpretar espectros gamma e identificar radionucleidos.

Contenido: • Análisis automático y manual de picos con Espectrometro Gamma hipergermanio puro

- Identificación de radionucleidos: bases de datos, líneas características y energía gamma.
- Cálculo de actividad y eficiencia.
- Correcciones por tiempo muerto, fondo y autoabsorción.
- Estimación de incertidumbres de tipo A y tipo B.

Sesión práctica: • Análisis de muestras desconocidas.

- Elaboración de informes de identificación.

Módulo 4 – Procesamiento estadístico y validación de resultados

Objetivos: Aplicar herramientas estadísticas al procesamiento de resultados y al control de calidad.

Contenidos: • Conceptos básicos de estadística aplicados al conteo radiactivo (distribución de Poisson, distribución gaussiana, etc.).

- Propagación de incertidumbres.
- Cálculo de límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LC).

-
- Control de calidad del sistema: mediciones repetitivas, gráficos de control, estabilidad.
 - Análisis combinado de incertidumbre (GUM ISO simplificada).

Sesión práctica:

- Cálculo de incertidumbres y límites de detección en casos reales.
- Ejercicio de control de calidad y evaluación de la repetibilidad.

Módulo 5 – Aplicaciones, mantenimiento y evaluación final

Objetivos: Integrar los conocimientos adquiridos y garantizar la competencia operativa.

Contenido: • Aplicaciones típicas de la espectrometría gamma HPGe: ambiental, nuclear, médica e industrial.

- Buenas prácticas para el funcionamiento y el mantenimiento preventivo del detector HPGe.
- Elaboración de informes de resultados según las normas ISO.
- Evaluación teórica y práctica final.

Práctica final: • Análisis completo de una muestra desconocida (adquisición, calibración, análisis e informe).

PROGRAMA DE TRABAJO JORNADA 2

Tema: Uso de las técnicas Fingerprinting para estudios de sedimentos a nivel de cuenca. Compuestos específicos de isótopos estables (CSSI)+Trazadores Químicos

Experto: Reinaldo H. Gil Castillo. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones. (CPHR)

Contraparte Panameña: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Día TEMAS Tiempo

Lunes 1. Principios básicos de aplicación de la técnica de Fingerprinting a nivel de cuencas.

- Aplicación de la técnica CSSI.

- Aplicación de la técnica de trazadores químicos. 8.00 – 16.00

Martes 2. Estrategia de muestreo de la técnica Fingerprinting

-
- Caracterización de la cuenca a estudiar
 - Definición de fuentes de sedimentos y puntos de mezclas
 - Protocolos y equipamiento de muestreo

3. Pretratamiento de muestras

4. Análisis de laboratorio 8.00 – 16.00

Miércoles 5. Modelos de cálculo para interpretar resultados del Laboratorio (CSSI-Trazadores Químicos).

- Modelos IsoSource, CSSIAR, MIXSIAR, FingerPro
- Características principales

6. Preparación del trabajo de campo (Jueves) para el muestreo de sedimentos con la técnica Fingerprinting.

- Evaluación de la información disponible, mapas temáticos de la zona de práctica (usos de suelo, relieve, geología, hidrografía, etc.).
- Definición preliminar de la Estrategia de muestreo (identificación de los posibles puntos fuentes y mezclas).
- Protocolo de muestreo a emplear, etc. 8.00 – 16.00

Jueves 7. Trabajo de campo. Visita a la zona de prácticas de campo.

- Aplicación de la estrategia de muestreo.
- Identificación de zonas de posibles fuentes y puntos de mezclas de sedimentos.
- Tomas de muestras de sedimentos.
- Documentación del muestreo. 8.00 – 16.00

Viernes 8. Evaluación de salida de los modelos de mezclas

- Interpretación de los resultados, uso de herramientas SIG
- Análisis conjunto con FRN

-
9. Revisión de los protocolos propuestos
 - Estrategia de muestreo
 - Aplicación de modelos de mezclas
 10. Consideraciones finales de la visita 8.00 – 16.00

PROGRAMA DE TRABAJO JORNADA 3

Tema: Capacitación Uso Técnica nuclear radionúclidos de origen natural provenientes de la lluvia (FRN).

Experto: José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones)

- Lunes
1. Degradación del suelo por procesos de erosión y sedimentación.
 2. Aplicación de la técnica nuclear e isotópica (FRN) para evaluar degradaciones del suelo por erosión hídrica.
 - Base teórica-Principio físico de la técnica nuclear e isotópica (FRN).
 3. Mapa de inventario Global (FRN).
 4. Uso integrado de las Técnicas nucleares (FRN-CSSI-Hidrología isotópica). 9.00 – 17.00
- Martes
5. Planificación del trabajo para la colecta de sedimentos en la técnica FRN.
 - Preparación y revisión en SIG (QGIS) de los mapas temáticos de la zona de estudio (tipos y usos de suelo, geomorfología, geología, hidrografía, etc.).
 - Definición preliminar de la Estrategia de muestreo (geo-referencia de las posibles fuentes y mezclas).
 6. Protocolos y Estrategias del muestreo.
 - Requisitos generales del muestreo de suelo.
 7. Muestreo de suelos para la técnica FRN. Evidencias visuales del equipamiento de muestreo. 9.00 – 17.00
- Miércoles
8. Evidencias del equipamiento de laboratorio para analizar muestras de suelo (Espectrometría GAMMA).

9. Trabajos prácticos mediante la corrida del modelo con datos reales.

10. Análisis de la información de campo (georreferencia de las muestras a coleccionar). 9.00 – 17.00

Jueves - Visita al campo. Implementación práctica de los protocolos de muestreo.

- Toma de muestras de suelo. 8.00 – 17.00

Viernes 11. Fundamentos de la estadística en el muestreo de suelo.

12. Pretratamiento de las muestras de suelo.

13. Interpretación de los resultados del Laboratorio (Modelos de cálculo) (FRN). 9.00 – 14.00

Presentaciones realizadas

Durante las jornadas de formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en polígonos demostrativos de conservación de suelo, agua y bosques, se desarrolló un programa académico orientado al fortalecimiento de capacidades técnicas mediante la integración de técnicas isotópicas. En particular, se abordó el uso de radionúclidos de origen natural provenientes de la lluvia (FRN), la técnica de isótopos estables por compuesto (CSSI) y la espectrometría gamma, como herramientas clave para cuantificar procesos de erosión y redistribución del suelo. El objetivo central fue mejorar la capacidad de evaluar la degradación del suelo y precisar los impactos ambientales, económicos y sociales de las prácticas de conservación implementadas.

Las actividades se realizaron en el Centro de Gestión Socioambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), ubicado en La Chorrera, y en el Subcentro de Investigación e Innovación Agropecuario y Forestal de La Zanguenga, en Panamá Oeste. En estos espacios se combinó la formación teórica con ejercicios prácticos en campo, favoreciendo un enfoque integral de aprendizaje.

El ciclo de conferencias incluyó aportes de especialistas internacionales y regionales en espectrometría gamma y monitoreo radiológico ambiental. Se abordaron aspectos fundamentales de la técnica, así como avances en la mejora de la determinación de radionúclidos, incluyendo la calibración en eficiencia, la trazabilidad metrológica y la competencia técnica en laboratorios especializados. Asimismo, se presentaron experiencias del programa de monitoreo radiológico ambiental desarrolladas por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) de Cuba, con aplicaciones en agricultura y medio ambiente.

En el ámbito de la evaluación de la degradación del suelo, se discutieron metodologías de *fingerprinting* sedimentario mediante técnicas CSSI y FRX, incluyendo estrategias de muestreo, análisis de laboratorio, interpretación y validación de resultados. También se abordaron fundamentos sobre degradación de suelos y manejo sostenible en Panamá, así como criterios para la selección de áreas de estudio con enfoque hidrográfico. Finalmente, se profundizó en los principios teóricos y protocolos de muestreo para el uso de radionúclidos de precipitación radiactiva en la evaluación de la erosión. Este intercambio académico, organizado por el CPHR, el OIEA y el IDIAP, integró de manera efectiva teoría, discusión y práctica aplicada.

Presentación 1. Nociones sobre espectrometría gamma. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones) y Dmitry Krivonos (OIEA).

Resumen

La espectrometría gamma constituye una técnica analítica fundamental para la identificación y cuantificación de radionúclidos en matrices ambientales, desempeñando un papel clave en estudios de degradación del suelo, particularmente en la evaluación de la erosión hídrica mediante radionúclidos de origen natural (FRN). La ponencia aborda los principios físicos, instrumentales y metodológicos que sustentan esta técnica, enfatizando su aplicabilidad en sistemas agroambientales.

Desde el punto de vista físico, la espectrometría gamma se basa en la detección de la radiación electromagnética emitida durante la desintegración radiactiva de núcleos inestables. Cada radionúclido presenta un espectro energético característico, lo que permite su identificación inequívoca. Se describen las principales interacciones de la radiación gamma con la materia — efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares—, las cuales determinan la respuesta del detector y la forma del espectro obtenido.

En cuanto a la instrumentación, se destacan los detectores semiconductores de germanio hiperpuro (HPGe), ampliamente utilizados por su alta resolución energética. Se analizan sus componentes esenciales: el cristal detector, el sistema de enfriamiento (generalmente con nitrógeno líquido), la electrónica asociada (preamplificador, amplificador y analizador multicanal) y los sistemas de adquisición y procesamiento de datos. La calibración energética y de eficiencia se presenta como un paso crítico para asegurar la precisión de las mediciones, especialmente en estudios cuantitativos.

La ponencia también profundiza en el procesamiento espectral, incluyendo la identificación de picos, la corrección de fondo, la de convolución de señales superpuestas y la cuantificación de actividades específicas. Se subraya la importancia de aplicar protocolos estandarizados de preparación de muestras (secado, tamizado, homogenización y sellado) para garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de los resultados.

En el contexto de la evaluación de la degradación del suelo, la espectrometría gamma permite determinar la distribución espacial de radionúclidos como ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y ^7Be , los cuales actúan como trazadores de procesos de erosión y deposición. Estos radionúclidos, al ser

depositados desde la atmósfera y fijarse en las capas superficiales del suelo, proporcionan información integrada sobre la redistribución del suelo a diferentes escalas temporales. Su análisis facilita la estimación de tasas de erosión y la validación de prácticas de conservación.

Asimismo, se discute la complementariedad de la espectrometría gamma con otras técnicas isotópicas, como el uso de isótopos estables por compuesto (CSSI), permitiendo una caracterización más detallada de las fuentes de sedimentos y los procesos de degradación. Esta integración metodológica fortalece la capacidad de diagnóstico en sistemas complejos, como los polígonos demostrativos de conservación de suelos, agua y bosques.

Finalmente, se resalta la relevancia de esta técnica para la toma de decisiones en manejo sostenible de tierras, al proporcionar datos robustos sobre el impacto ambiental, económico y social de las prácticas de conservación. La espectrometría gamma se consolida así como una herramienta indispensable para el monitoreo y la evaluación de la degradación del suelo en el contexto del cambio climático y la seguridad alimentaria

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/1._Principios_de_espectrometr%C3%ADa_gamma_mj.pdf

Presentación 2. Contribuciones a la mejora de la determinación de radionúclidos por espectrometría gamma. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La espectrometría gamma es una técnica analítica ampliamente utilizada para la determinación de radionúclidos emisores gamma en suelos y sedimentos, con aplicaciones relevantes en estudios de erosión, sedimentación y vigilancia radiológica ambiental. La ponencia presenta un conjunto de contribuciones científicas orientadas a mejorar la exactitud, confiabilidad y trazabilidad de las mediciones, abordando problemáticas clave asociadas a la calibración en eficiencia, la autoabsorción y la variabilidad de las matrices.

Uno de los principales desafíos identificados es la influencia de la composición química elemental (CQE) de las muestras en la determinación de radionúclidos de baja energía ($E < 60$ keV). A través de estudios basados en simulación Monte Carlo (MC), se demostró por primera vez el impacto aislado de la CQE en las correcciones por autoabsorción, evidenciando desviaciones relativas significativas en la actividad estimada: hasta 70% para ^{109}Cd , 36% para ^{210}Pb y 20% para ^{241}Am . Estos resultados revelan que variaciones en la composición química, aun bajo condiciones controladas de densidad y geometría, pueden comprometer la veracidad de los resultados analíticos, lo que tiene implicaciones directas en ejercicios de intercomparación internacional y en la calidad de los datos utilizados en estudios ambientales.

En el caso específico de sedimentos, se evaluó el efecto de estas desviaciones en la datación mediante ^{210}Pb utilizando el modelo CRS (Constant Rate of Supply). Se evidenció que las variaciones en la CQE pueden inducir errores sustanciales en la estimación de la edad de los sedimentos, alcanzando desviaciones de hasta 40.6 años. Este hallazgo resalta la necesidad de considerar adecuadamente las propiedades fisicoquímicas de las matrices en estudios geocronológicos y de dinámica sedimentaria.

La ponencia también aborda las limitaciones asociadas al uso de patrones experimentales de calibración, tales como su alto costo, disponibilidad limitada y la dificultad de reproducir condiciones reales de medición (densidad, geometría y composición). Como alternativa, se propone el uso de técnicas de simulación Monte Carlo, específicamente mediante el código DETEFF, desarrollado y validado internacionalmente. Este enfoque permite modelar de manera detallada la interacción de la radiación con el sistema fuente-detector, facilitando la obtención de curvas de eficiencia para diversas geometrías y condiciones sin necesidad de patrones físicos.

En el contexto de mediciones “in situ”, se validó la aplicabilidad de DETEFF para la estimación de radionúclidos depositados en el terreno, utilizando un modelo de capas. Los resultados obtenidos mostraron una alta concordancia con métodos experimentales y semiempíricos, con diferencias dentro de los rangos de incertidumbre aceptables. Asimismo, se estableció la equivalencia entre diferentes códigos de simulación MC utilizados internacionalmente en la transferencia de eficiencias, con desviaciones relativas inferiores al 1.2%, lo que respalda la robustez de este enfoque metodológico.

Estas contribuciones tienen un impacto significativo en la mejora de la calidad de las mediciones en espectrometría gamma, con implicaciones directas en la vigilancia radiológica ambiental, la respuesta a emergencias nucleares, el control de alimentos y el desarrollo de estudios sobre erosión y sedimentación. En particular, fortalecen la capacidad de evaluar procesos de degradación del suelo mediante radionúclidos trazadores, aportando mayor precisión en la estimación de tasas de erosión y en la validación de prácticas de conservación en sistemas agroambientales.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/2._Espectrometr%C3%ADa_en_Suelos_y_Sedimentos1.pdf

Presentación 3. Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Experiencias del CPHR, Cuba. Doctor Jorge Carrazana (Centro Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La vigilancia radiológica ambiental constituye un componente esencial en la gestión del riesgo radiológico, orientado a la detección temprana de anomalías, la protección de la salud pública y la preservación del medio ambiente. La ponencia presenta las experiencias del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) de Cuba en el diseño e implementación de sistemas integrados de monitoreo, así como en la ejecución de estudios aplicados en diversos escenarios ambientales y productivos.

Uno de los pilares del sistema es la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental (RNVRA), concebida como un sistema de alerta temprana capaz de identificar variaciones en los niveles de radiación a escala local, regional o global. Esta red se estructura mediante postas radiológicas distribuidas estratégicamente en el territorio nacional, donde se monitorean indicadores clave como la tasa de dosis gamma en tiempo real, la radioactividad en aerosoles, precipitaciones, leche y otros matrices ambientales, utilizando principalmente espectrometría gamma con detectores de germanio hiperpuro (HPGe). La frecuencia de monitoreo varía desde mediciones continuas hasta campañas mensuales o semestrales, garantizando una vigilancia sistemática y continua.

El sistema se complementa con herramientas tecnológicas avanzadas, como plataformas de adquisición y procesamiento de datos en tiempo real y modelos de dispersión atmosférica que permiten prever el impacto transfronterizo de accidentes nucleares. En este sentido, se destacan simulaciones realizadas para escenarios hipotéticos en centrales nucleares cercanas, estimando tiempos de arribo de masas de aire contaminadas y posibles restricciones en el consumo de alimentos. Estas capacidades fortalecen la preparación y respuesta ante emergencias radiológicas.

Otro componente relevante es el Programa Nacional de Vigilancia Radiológica de Alimentos y Agua, que establece niveles de referencia para radionúclidos en diferentes categorías de alimentos, en concordancia con normas internacionales como el Codex Alimentarius y las directrices del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este programa permite evaluar la inocuidad radiológica de productos destinados al consumo humano y al comercio

internacional, siendo especialmente importante tras eventos como el accidente de Chernóbil, que motivó la incorporación de los radionúclidos como contaminantes alimentarios de interés.

La vigilancia se extiende también al control radiológico en el reciclaje de metales, con el objetivo de prevenir la incorporación inadvertida de fuentes radiactivas en procesos industriales. Este control responde tanto a exigencias de seguridad como a normativas internacionales de comercio.

La ponencia incluye resultados de estudios sobre radiactividad natural en suelos, sedimentos, materiales de construcción, ambientes mineros y sistemas agrícolas. Se reportan concentraciones variables de radionúclidos como ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , así como evaluaciones de exposición ocupacional y pública, incluyendo estudios de radón (^{222}Rn) en viviendas, cuevas y balnearios. En general, los niveles observados se encuentran dentro de los rangos considerados normales, con dosis anuales compatibles con los límites establecidos para la población.

Estas investigaciones evidencian la aplicabilidad de la espectrometría gamma y técnicas nucleares asociadas en la caracterización de procesos ambientales, incluyendo la degradación del suelo y la dinámica de sedimentos. Asimismo, refuerzan la importancia de contar con sistemas de vigilancia robustos y metodologías analíticas confiables para sustentar la toma de decisiones en materia de protección radiológica, manejo sostenible de recursos naturales y evaluación de impactos ambientales.

La experiencia del CPHR demuestra que la integración de monitoreo sistemático, modelación y análisis isotópico constituye una estrategia eficaz para fortalecer las capacidades nacionales en la evaluación y gestión de riesgos radiológicos en el medio ambiente.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/3._Vigilancia_Radiol%C3%B3gica_Ambiental_compressed.pdf.

Presentación 4. Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Experiencias en la agricultura y el ambiente del CPHR, Cuba. Doctor Jorge Carrazana. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).

Resumen

La espectrometría gamma aplicada a la agricultura y al medio ambiente constituye una herramienta clave para la evaluación de la radiactividad natural y artificial en diferentes matrices, así como para el monitoreo de la calidad ambiental y la seguridad alimentaria. La ponencia expone la experiencia del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) de Cuba en la implementación de sistemas de vigilancia radiológica, destacando su contribución al estudio de sistemas agroambientales y a la gestión de riesgos asociados a la contaminación radiactiva.

Uno de los ejes centrales es la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental (RNVRA), concebida como un sistema de alerta temprana para la detección de anomalías radiológicas en el territorio. Esta red integra estaciones de monitoreo distribuidas estratégicamente, donde se evalúan indicadores como la tasa de dosis gamma, la radiactividad en aerosoles, precipitaciones y productos agropecuarios, utilizando principalmente espectrometría gamma con detectores de germanio hiperpuro (HPGe). Este sistema permite obtener información continua y confiable sobre la dinámica de los radionúclidos en el ambiente, incluyendo aquellos que pueden incorporarse a los sistemas productivos agrícolas.

En el ámbito de la agricultura, la vigilancia radiológica de alimentos y agua adquiere especial relevancia. A partir de estándares internacionales como los establecidos por el Codex Alimentarius y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se han definido niveles de referencia para radionúclidos en diferentes tipos de alimentos. Estos criterios permiten evaluar la inocuidad de los productos agrícolas y garantizar su calidad para el consumo humano y la exportación. La implementación de este programa se fortaleció a partir de eventos históricos como el accidente de Chernóbil, que evidenció la necesidad de controlar la transferencia de radionúclidos desde el ambiente hacia la cadena alimentaria.

La espectrometría gamma desempeña un papel fundamental en este contexto, al permitir la identificación y cuantificación de radionúclidos sin necesidad de tratamientos químicos complejos, lo que facilita el análisis de un amplio espectro de muestras agroambientales. Esta capacidad resulta especialmente útil en la evaluación de suelos, cultivos, agua y otros

componentes del agroecosistema, donde la presencia de radionúclidos puede estar asociada tanto a fuentes naturales como a actividades antropogénicas.

Asimismo, la ponencia destaca la importancia de los sistemas de monitoreo en la evaluación del impacto potencial de eventos radiológicos externos, como accidentes en instalaciones nucleares cercanas. Mediante herramientas de modelación atmosférica, es posible prever la dispersión de contaminantes y su posible deposición en áreas agrícolas, lo que permite implementar medidas preventivas oportunas para proteger la producción y la salud de la población.

La integración de la espectrometría gamma en programas de vigilancia ambiental y agrícola contribuye significativamente a la comprensión de los procesos de transferencia de radionúclidos en el medio ambiente, así como a la evaluación de su impacto en los sistemas productivos. Estos avances fortalecen las capacidades para el manejo sostenible de los recursos naturales, la protección de la seguridad alimentaria y la toma de decisiones basadas en evidencia científica en contextos de riesgo radiológico

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/4._Espectrometr%C3%ADa_Gamma_en_la_agricultura_y_ambiente_compressed.pdf

Presentación 5. Trazabilidad metrológica y competencia técnica en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental (LVRA). Doctor Jorge Carrazana. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).

Resumen

La trazabilidad metrológica y la competencia técnica constituyen pilares fundamentales en la calidad de las mediciones analíticas por espectrometría gamma, especialmente en el contexto de la vigilancia radiológica ambiental y los estudios agroambientales. La ponencia presenta la experiencia del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental (LVRA) del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) de Cuba en la implementación de estrategias de aseguramiento de la calidad, con énfasis en la participación sistemática en ensayos de aptitud e intercomparaciones internacionales.

La espectrometría gamma, ampliamente utilizada para la determinación cualitativa y cuantitativa de radionúclidos emisores gamma en diversas matrices, requiere mediciones confiables, precisas y trazables. En este sentido, el LVRA ha desarrollado y consolidado un enfoque metodológico basado en la simulación Monte Carlo como herramienta para la calibración en eficiencia, superando limitaciones asociadas al uso de patrones experimentales, tales como su alto costo, disponibilidad restringida y dificultad para reproducir condiciones reales de medición.

El código de simulación DETEFF, desarrollado en el CPHR, permite modelar detalladamente la interacción de la radiación con el sistema fuente-detector, siguiendo la trayectoria de cada fotón y reproduciendo los procesos físicos involucrados. Este enfoque ha sido validado mediante comparaciones con resultados experimentales y ha demostrado ser una alternativa robusta y confiable para la calibración de sistemas de espectrometría gamma, incluyendo el uso del método de transferencia de eficiencias.

Un elemento central en la demostración de la competencia técnica del laboratorio ha sido su participación continua, durante más de 15 años, en ensayos de aptitud organizados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), particularmente en el marco de la red ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity). Estos ejercicios permiten evaluar la veracidad, precisión y rapidez de las mediciones mediante criterios estandarizados, como el uso del estadístico u-score, donde valores inferiores a 2.58 indican resultados aceptables con un nivel de confianza del 99%.

Los resultados obtenidos por el LVRA en estos ejercicios han sido consistentemente satisfactorios para radionúclidos de alta relevancia ambiental, como ^{137}Cs , ampliamente utilizado como trazador en estudios de contaminación y procesos de erosión y sedimentación. Este desempeño ha permitido demostrar la equivalencia y confiabilidad del método de calibración basado en simulación Monte Carlo frente a métodos tradicionales, contribuyendo a su aceptación a nivel internacional.

La participación exitosa en estos ensayos ha sido determinante para mantener la acreditación del laboratorio bajo normas internacionales (como ISO/IEC 17025), garantizando que las mediciones realizadas cumplen con estándares de calidad reconocidos. Esta acreditación no solo respalda la competencia técnica del personal, sino que también asegura la validez de los datos generados para aplicaciones críticas, incluyendo la vigilancia radiológica ambiental, la seguridad alimentaria y la evaluación de procesos de degradación del suelo.

En el contexto de estudios agroambientales, la confiabilidad de las mediciones es esencial para la correcta interpretación de los datos obtenidos mediante técnicas isotópicas, como los radionúclidos de origen natural (FRN), utilizados en la evaluación de la erosión hídrica. Por tanto, el fortalecimiento de la trazabilidad metrológica y la competencia técnica contribuye directamente a mejorar la calidad de los diagnósticos ambientales y la efectividad de las medidas de conservación de suelos.

La experiencia del LVRA demuestra que la integración de simulación avanzada, control de calidad riguroso y participación en redes internacionales constituye una estrategia efectiva para garantizar mediciones de alta calidad en espectrometría gamma, con impacto significativo en la investigación y gestión ambiental.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/5._Vigilancia_Radiol%C3%B3gica_Ambiental_compressed.pdf

Presentación 6. Aplicación de técnicas de fingerprinting sedimentario (CSSI y FRX) para la identificación de fuentes de sedimentos en cuencas hidrográficas. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones)

Resumen

La ponencia presentada por el equipo del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) aborda el uso de técnicas de trazadores, conocidas como fingerprinting sedimentario, para la identificación y cuantificación de las fuentes de sedimentos en cuencas hidrográficas. Este enfoque constituye una herramienta avanzada para evaluar los procesos de erosión hídrica y degradación del suelo, contribuyendo al diseño y validación de estrategias de conservación en sistemas agroambientales.

El fingerprinting sedimentario se basa en la utilización de trazadores naturales o antrópicos que permiten discriminar el origen de los sedimentos presentes en puntos de mezcla dentro de una cuenca. Entre los tipos de trazadores evaluados se incluyen características físicas (color), propiedades biológicas (polen), elementos químicos mayoritarios y traza, radionucleidos de origen natural (FRN), y relaciones isotópicas estables, particularmente carbono y nitrógeno. La selección de estos trazadores depende de los objetivos del estudio, las características del área y la disponibilidad de capacidades analíticas, siendo fundamental que cumplan criterios de medibilidad y comportamiento conservativo o predecible.

Dentro de este enfoque, la técnica de Compuestos Específicos de Isótopos Estables (CSSI) destaca por su alta capacidad discriminante. Esta técnica se basa en el análisis de biomarcadores orgánicos, principalmente ácidos grasos, cuya firma isotópica ($\delta^{13}C$) refleja el tipo de vegetación y uso del suelo del que provienen. Estas firmas se fijan en las partículas del suelo y permanecen estables durante largos períodos, lo que permite rastrear su origen incluso tras procesos de transporte y deposición. Mediante el uso de espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS) y modelos de mezcla, como MixSIAR o CSSIAR, es posible estimar la contribución porcentual de diferentes fuentes (por ejemplo, áreas agrícolas, pastizales o bosques) a los sedimentos acumulados en ríos, embalses o zonas de deposición.

La implementación de la técnica CSSI requiere un diseño riguroso de muestreo, que incluya la recolección de muestras representativas tanto de las fuentes como de los puntos de mezcla, así como su adecuada preparación (secado, tamizado y encapsulado). Asimismo, es esencial contar

con información contextual del área de estudio, incluyendo aspectos hidrológicos, geológicos, geomorfológicos y de uso del suelo, para una correcta interpretación de los resultados. El análisis estadístico de los trazadores permite seleccionar aquellos con mayor capacidad discriminante, empleando herramientas como análisis de componentes principales, funciones discriminantes y pruebas no paramétricas.

Como técnica complementaria, se presenta el uso de elementos químicos mediante fluorescencia de rayos X (FRX), que permite identificar huellas geoquímicas del suelo a partir de la concentración de elementos como Al, Fe, Mn, Zn, entre otros. Aunque esta técnica presenta una menor capacidad discriminante en comparación con CSSI, ofrece ventajas en términos de costo y simplicidad operativa, lo que la convierte en una alternativa viable para estudios a mayor escala o con limitaciones presupuestarias.

La comparación entre CSSI y FRX evidencia que ambas técnicas comparten fundamentos metodológicos, incluyendo el uso de modelos de mezcla para la estimación de contribuciones de fuentes. Sin embargo, difieren en los requerimientos analíticos, costos y precisión, siendo CSSI más robusta pero más costosa, y FRX más accesible pero menos precisa. La integración de estas técnicas, junto con el uso de radionucleidos FRN, permite una evaluación más completa de los procesos de erosión y sedimentación.

El fingerprinting sedimentario representa una herramienta poderosa para la gestión integrada de cuencas, al permitir identificar y cuantificar las fuentes de sedimentos con alto nivel de detalle. Su aplicación contribuye significativamente al fortalecimiento de capacidades técnicas para evaluar la degradación del suelo y el impacto de las prácticas de conservación, en consonancia con los objetivos ambientales, económicos y sociales de la gestión sostenible de los recursos naturales.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/6._Bases_FingerPrint_CSSI-FRX_compressed.pdf

Presentación 7. Estrategia de muestreo de campo para estudios de fingerprinting sedimentario en cuencas hidrográficas. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La ponencia aborda el diseño e implementación de estrategias de muestreo de campo en estudios de fingerprinting sedimentario, destacando su papel determinante en la calidad, representatividad y trazabilidad de los datos utilizados para evaluar procesos de erosión hídrica y degradación del suelo. En el marco del proyecto de fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá, se presenta un enfoque metodológico integral que articula la planificación, ejecución y control de calidad del muestreo en cuencas hidrográficas.

El objetivo principal de la estrategia de muestreo es garantizar la recolección adecuada de muestras representativas tanto de fuentes de sedimentos como de puntos de mezcla, permitiendo una correcta aplicación de técnicas de trazadores como CSSI, FRN y métodos geoquímicos. El alcance del muestreo puede abarcar desde microcuencas hasta cuencas completas, considerando diferentes escalas espaciales y temporales, incluyendo eventos específicos (época seca o lluviosa) o ciclos hidrológicos completos. Este enfoque multiescalar es fundamental para capturar la variabilidad de los procesos erosivos y sedimentarios en sistemas agroambientales.

La estrategia se estructura en varias etapas clave: definición de objetivos, selección del área de estudio, caracterización del entorno, identificación preliminar de fuentes y mezclas, preparación logística, ejecución de campañas de campo y pretratamiento de muestras. La caracterización del área incluye la recopilación de información topográfica, hidrológica, edafológica, geológica y de uso del suelo, así como datos climáticos y antecedentes socioeconómicos, lo cual permite contextualizar los procesos de generación y transporte de sedimentos.

La identificación de fuentes se basa en la diferenciación de unidades de uso del suelo (agricultura, ganadería, bosque), características geomorfológicas (pendientes, taludes) y actividades antrópicas (minería, infraestructura vial). Por su parte, los puntos de mezcla corresponden a zonas donde se integran los aportes sedimentarios, como tramos de ríos, salidas de subcuencas o embalses. La correcta delimitación de estos puntos es esencial para la posterior aplicación de modelos de mezcla y la interpretación de resultados.

Durante las campañas de muestreo, se siguen protocolos estandarizados que incluyen la remoción de materia orgánica superficial, la recolección de muestras compuestas en áreas representativas (generalmente de 10 x 10 m y hasta 3 cm de profundidad), el registro de coordenadas geográficas, la toma de fotografías y el etiquetado adecuado. Se enfatiza la importancia de evitar la contaminación cruzada mediante el uso de guantes y la limpieza de instrumentos, así como la necesidad de realizar réplicas para reducir la incertidumbre.

El pretratamiento de las muestras, tanto de suelos como de sedimentos, incluye secado controlado, desagregación mecánica, tamizado (2 mm para suelos y 63 μm para sedimentos) y encapsulado para análisis de laboratorio. Estas etapas deben cumplir estrictamente con protocolos establecidos para garantizar la integridad de las muestras y la comparabilidad de los resultados.

Finalmente, se destaca que el muestreo constituye la principal fuente de incertidumbre en los estudios de fingerprinting sedimentario, por lo que el control de calidad es un componente crítico. Este incluye la verificación de la representatividad de las muestras, la consistencia de los registros, la cobertura de todas las fuentes definidas y la correspondencia con las condiciones hidrológicas objetivo.

Una estrategia de muestreo bien diseñada y ejecutada es esencial para el éxito de los estudios de trazadores, ya que permite generar datos confiables que sustenten la evaluación de la degradación del suelo y el impacto de las prácticas de conservación en cuencas hidrográficas.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/7._Estrategia_de_muestreo_de_campo_compressed.pdf

Presentación 8. Análisis de laboratorio en estudios de fingerprinting sedimentario mediante técnicas CSSI y FRX. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones)

Resumen

La ponencia presentada por el equipo del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) aborda los fundamentos, procedimientos analíticos y consideraciones técnicas del análisis de laboratorio en estudios de fingerprinting sedimentario, con énfasis en las técnicas de Compuestos Específicos de Isótopos Estables (CSSI) y fluorescencia de rayos X (FRX). Estas metodologías constituyen herramientas clave para la identificación y cuantificación de fuentes de sedimentos en cuencas hidrográficas, contribuyendo a la evaluación de procesos de erosión y degradación del suelo.

La técnica CSSI se basa en el análisis de biomarcadores orgánicos, específicamente ácidos grasos presentes en el suelo, cuya firma isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) refleja el origen del material sedimentario en función del uso del suelo y la vegetación asociada. La determinación de estas relaciones isotópicas se realiza mediante espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS), un equipamiento de alta precisión, pero de elevado costo y limitada disponibilidad en la región. El principio analítico se fundamenta en la medición de la relación entre los isótopos estables de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), expresada en notación delta (δ), lo que permite identificar diferencias isotópicas entre fuentes y mezclas de sedimentos.

El proceso de preparación de muestras para CSSI es complejo y requiere múltiples etapas críticas que deben ejecutarse bajo estrictos protocolos. Estas incluyen el secado inicial, la determinación del contenido de carbono orgánico, la remoción del carbono inorgánico, un segundo secado, la derivatización o metilación de los ácidos grasos para formar ésteres metílicos (FAMES), y finalmente la medición isotópica. Cada una de estas etapas puede introducir fuentes de error si no se controla adecuadamente, por lo que es indispensable el cumplimiento de procedimientos operacionales estandarizados.

En cuanto a las correcciones analíticas, se destaca la necesidad de ajustar los resultados derivados del proceso de metilación, ya que la adición de grupos metilo puede alterar la señal isotópica original. Asimismo, en estudios de largo plazo, como aquellos basados en núcleos de sedimentos, se debe considerar el efecto Suess, relacionado con el empobrecimiento isotópico del dióxido de carbono atmosférico debido a la quema de combustibles fósiles, lo que puede

influir en la interpretación de las series temporales. Además, los resultados isotópicos deben ser transformados adecuadamente para su uso en modelos de mezcla, que estiman las proporciones de las diferentes fuentes de sedimentos.

Por otro lado, la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) se presenta como una alternativa complementaria basada en la caracterización geoquímica de los sedimentos. Esta técnica permite la determinación de concentraciones de elementos químicos, incluyendo metales pesados y elementos traza, mediante análisis no destructivos. Su principal ventaja radica en su menor costo, mayor disponibilidad regional y simplicidad en el pretratamiento de las muestras, que generalmente incluye secado y homogenización. A diferencia de CSSI, los resultados obtenidos mediante FRX no requieren correcciones complejas, lo que facilita su aplicación en estudios a mayor escala.

Ambas técnicas comparten la necesidad de aplicar estrictos sistemas de aseguramiento de la calidad, incluyendo el uso de materiales de referencia, controles analíticos y la participación periódica en ensayos de aptitud e intercomparaciones internacionales. Estos elementos son esenciales para garantizar la trazabilidad metrológica y la confiabilidad de los resultados generados.

El análisis de laboratorio en estudios de fingerprinting sedimentario requiere un enfoque riguroso que combine metodologías analíticas avanzadas con protocolos de calidad bien establecidos. La integración de técnicas como CSSI y FRX permite fortalecer la capacidad de identificar fuentes de sedimentos y evaluar procesos de degradación del suelo, aportando información clave para la gestión sostenible de cuencas hidrográficas.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/8._An%C3%A1lisis_Laboratorio_FP_sedimentario_compressed.pdf

Presentación 9. Fingerprinting sedimentario mediante técnicas CSSI y FRX: fundamentos, metodología y aplicaciones. Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La ponencia presentó un enfoque integral del fingerprinting ambiental aplicado a la identificación de fuentes de sedimentos y contaminantes en cuencas hidrográficas, mediante la combinación de técnicas de isótopos estables específicos de compuestos (CSSI) y fluorescencia de rayos X (FRX). Este enfoque constituye una herramienta avanzada para la evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica, al permitir vincular los sedimentos transportados con sus fuentes de origen, reduciendo la incertidumbre en los modelos de transporte y facilitando la toma de decisiones en la gestión ambiental.

Se abordaron los fundamentos científicos del fingerprinting, destacando su evolución desde el uso de isótopos estables globales ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) hacia el análisis de compuestos orgánicos específicos mediante CSSI, lo que ha incrementado significativamente la resolución espacial y la capacidad de discriminación de fuentes. La técnica FRX complementa este enfoque al cuantificar elementos mayores y trazas (como Fe, Mn, Pb, Zn, As), permitiendo establecer relaciones geoquímicas y ratios discriminatorios que diferencian entre fuentes naturales y antrópicas.

En el ámbito metodológico, se enfatizó la importancia del diseño de muestreo, tanto espacial como temporal, adaptado a la morfología de la cuenca y a la variabilidad hidrológica. Se destacó el uso de herramientas geoespaciales (SIG y GPS diferencial) para garantizar la representatividad estadística, así como la necesidad de capturar eventos extremos y variaciones estacionales mediante campañas de muestreo planificadas.

El procesamiento analítico incluye etapas rigurosas de pretratamiento de muestras, tales como secado, tamizado, extracción y purificación en el caso de CSSI, y molienda, compactación y calibración para FRX. El análisis isotópico mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-IRMS) permite determinar relaciones isotópicas con alta precisión, mientras que la FRX proporciona una caracterización elemental rápida y confiable, respaldada por estándares internacionales.

Un componente clave es la aplicación de modelos de mezcla bayesianos, como MixSIAR, que integran la variabilidad de los trazadores y permiten estimar de manera probabilística la contribución relativa de distintas fuentes de sedimentos. Estos modelos incorporan análisis

estadísticos avanzados, como análisis discriminante y reducción de dimensionalidad, para optimizar la selección de trazadores y mejorar la robustez de los resultados.

Los casos de estudio presentados evidenciaron la utilidad del enfoque CSSI-FRX en contextos mineros y urbanos, donde se logró identificar y cuantificar las principales fuentes de sedimentos y contaminantes, permitiendo priorizar áreas de intervención y reducir costos de restauración. Asimismo, se destacó su aplicabilidad en el seguimiento de medidas de conservación, evidenciando reducciones significativas en la carga de sedimentos y contaminantes tras intervenciones.

Finalmente, se discutieron las fortalezas, limitaciones y perspectivas futuras del método, incluyendo desafíos asociados al fraccionamiento isotópico, la disponibilidad de firmas de referencia y los costos analíticos. Se proyecta una mayor integración con herramientas de aprendizaje automático, desarrollo de bases de datos abiertas y avances en instrumentación portátil, lo que ampliará su aplicabilidad en la gestión sostenible de suelos y recursos hídricos.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/9._Fingerprinting_T%C3%A9cnicas_y_Aplicaciones_compressed.pdf

Presentación 10. Interpretación y validación de resultados en estudios de fingerprinting sedimentario para la evaluación de la degradación del suelo Doctor Reinaldo Gil (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La etapa de interpretación de resultados en estudios de fingerprinting sedimentario constituye un componente crítico para garantizar la validez científica y aplicabilidad de los modelos de desmezcla utilizados en la identificación de fuentes de sedimentos. En el contexto del proyecto orientado al fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá, esta fase tiene como objetivo principal proporcionar una base metodológica robusta para interpretar, validar y comunicar los resultados obtenidos, contribuyendo así a la toma de decisiones en la gestión sostenible del suelo y los recursos hídricos.

Los modelos de desmezcla generan como salidas fundamentales el porcentaje de contribución de distintas fuentes de sedimentos en puntos de mezcla específicos, acompañado de indicadores estadísticos como la desviación estándar, la bondad de ajuste (Goodness of Fit, GOF) y resultados derivados de iteraciones y pruebas estadísticas. La correcta interpretación de estas salidas requiere una evaluación rigurosa de su validez, verificando que las proporciones estimadas sumen el 100%, que no existan valores negativos y que los errores asociados sean mínimos. Asimismo, la representación gráfica y espacial de los resultados mediante sistemas de información geográfica (SIG) permite contextualizar los hallazgos y facilitar su análisis integral.

Un aspecto clave en la evaluación es la interpretación de la bondad de ajuste, donde valores de GOF superiores al 80% son generalmente aceptables, aunque estudios más robustos demandan umbrales superiores al 90% o 95%. Sin embargo, la confiabilidad de los resultados no depende únicamente de indicadores estadísticos, sino también de su coherencia con información complementaria, incluyendo datos de campo (uso del suelo, prácticas agrícolas, pendientes), datos hidrológicos (caudales, eventos de lluvia), información geoquímica e isotópica, así como observaciones directas y conocimiento local. Esta integración multidimensional permite identificar inconsistencias, tales como la aparición de “fuentes fantasmas”, y verificar la lógica de los patrones de erosión y sedimentación observados.

La validación de los resultados se aborda mediante múltiples estrategias. Entre ellas destaca la repetición de corridas del modelo variando los trazadores seleccionados, con el fin de evaluar la robustez de las estimaciones. Asimismo, se promueve la comparación con métodos alternativos, como mediciones directas de caudales y cargas sedimentarias, el uso de trazadores naturales o artificiales (incluyendo radionúclidos de origen natural, FRN), y la aplicación de modelos hidrológicos distribuidos como SWAT o RUSLE. La coherencia geomorfológica y el contraste con imágenes satelitales o inspecciones de campo constituyen herramientas adicionales para validar los resultados y fortalecer su interpretación.

La documentación de los resultados debe ser exhaustiva y estructurada, incluyendo la caracterización del área de estudio, la estrategia de muestreo, los análisis de laboratorio, los modelos empleados y los resultados finales, acompañados de mapas, tablas y gráficos que respalden los hallazgos. Finalmente, se reconoce la necesidad de continuar desarrollando el campo mediante la incorporación de nuevos enfoques estadísticos, la integración de la variabilidad espacio-temporal y la combinación con técnicas nucleares e isotópicas avanzadas.

La interpretación adecuada de los resultados en fingerprinting sedimentario no solo mejora la calidad científica de los estudios, sino que también fortalece su utilidad como herramienta para la gestión sostenible del suelo, permitiendo identificar fuentes de degradación y diseñar estrategias efectivas de conservación en cuencas hidrográficas.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/10._Interpretaci%C3%B3n_de_resultados_compressed.pdf

Presentación 11. Degradación de los suelos y manejo sostenible en Panamá: fundamentos, procesos y estrategias de conservación. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

El suelo constituye un recurso natural esencial para la sostenibilidad de los sistemas productivos, la seguridad alimentaria y el equilibrio ambiental. Su degradación, particularmente por erosión hídrica, representa uno de los principales desafíos globales y regionales, con implicaciones directas en la productividad agrícola, la disponibilidad de agua y el bienestar socioeconómico. En el marco de la capacitación orientada al fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá, se abordaron los fundamentos conceptuales, procesos y estrategias de manejo sostenible del suelo, destacando la urgencia de implementar medidas integradas de conservación.

A escala global, la degradación del suelo se manifiesta en diversas formas, incluyendo la degradación física (erosión hídrica y eólica), química y biológica. La erosión hídrica constituye el proceso dominante, responsable de la pérdida de entre 20 000 y 37 000 millones de toneladas de suelo anualmente, lo que reduce la fertilidad, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes. Este fenómeno se ve intensificado por actividades antrópicas como la deforestación, el sobrepastoreo, la expansión urbana y el manejo inadecuado de los sistemas agrícolas. En América Latina y el Caribe, más de 300 millones de hectáreas presentan algún grado de degradación inducida por el ser humano, lo que evidencia la magnitud del problema en la región.

El proceso de erosión hídrica inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, lo que provoca la desagregación de partículas, la formación de sellos superficiales y el incremento del escurrimiento. Este flujo superficial transporta sedimentos hacia zonas bajas, generando una redistribución no deseada del recurso suelo, lo cual ha sido descrito como un “doble desastre”: pérdida de suelo donde es necesario y acumulación donde resulta perjudicial. Estos procesos afectan directamente los horizontes del suelo, especialmente el horizonte A, rico en materia orgánica y nutrientes, cuya pérdida compromete la productividad agrícola.

Diversos métodos han sido utilizados para evaluar la erosión y degradación del suelo, incluyendo el método del perfil, parcelas de escurrimiento y estudios en microcuencas. Aunque estos enfoques permiten obtener información detallada, presentan limitaciones asociadas a altos

costos, requerimientos de tiempo prolongado y limitada capacidad de extrapolación espacial. En este contexto, las técnicas nucleares e isotópicas, como los radionúclidos de origen natural (FRN), el fingerprinting sedimentario y la hidrología isotópica, emergen como herramientas innovadoras que permiten una evaluación más integrada, espacialmente representativa y eficiente de los procesos de erosión y sedimentación.

El análisis del estado del arte evidencia que estas técnicas han sido utilizadas tradicionalmente de forma aislada, lo que limita la comprensión integral de los procesos de degradación. Por ello, se plantea la necesidad de integrar metodologías nucleares e isotópicas para evaluar de manera secuencial e interconectada los fenómenos de erosión, transporte y deposición de sedimentos en el paisaje y en cuerpos de agua superficiales. Este enfoque integrado permite una mejor caracterización de las fuentes de sedimentos y sus dinámicas, contribuyendo al diseño de estrategias de manejo más efectivas.

En cuanto a las medidas de conservación, se destacan prácticas de manejo sostenible adaptadas al grado de vulnerabilidad del suelo. Estas incluyen medidas culturales (fertilización orgánica, labranza mínima), agronómicas (rotación de cultivos, cobertura vegetal, barreras vivas) y mecánicas (terrazas, zanjas, diques), orientadas a reducir la erosión, mejorar la infiltración y conservar la estructura del suelo. La implementación de estas prácticas no constituye una opción, sino una necesidad urgente para mitigar la degradación y garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos.

La degradación del suelo en Panamá y en la región requiere un enfoque multidisciplinario e integrado que combine técnicas avanzadas de evaluación con prácticas sostenibles de manejo. La adopción de estas estrategias permitirá no solo preservar el recurso suelo, sino también fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático y contribuir al desarrollo sostenible.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/11._Degradaci%C3%B3n_Suelos-Panam%C3%A1_mj3_compressed.pdf

.

Presentación 12. Fundamentos teóricos del uso de radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN) en la evaluación de la erosión y redistribución del suelo. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

El uso de radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN, por sus siglas en inglés) constituye una de las herramientas más avanzadas y robustas para la evaluación de la erosión y redistribución del suelo en diferentes escalas espaciales. En el marco del fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá, esta ponencia abordó los fundamentos teóricos, alcances, ventajas y limitaciones de esta técnica nuclear, destacando su aplicabilidad en el análisis integrado de procesos de degradación del suelo.

Los FRN son radionúclidos depositados sobre la superficie terrestre a través de la precipitación atmosférica, ya sea por procesos naturales o por eventos antropogénicos como las pruebas nucleares atmosféricas. Entre los más utilizados en estudios de erosión se encuentran el cesio-137 (^{137}Cs), el plomo-210 (^{210}Pb) y el berilio-7 (^7Be), cada uno con características particulares en términos de origen y vida media. El ^{137}Cs , con una vida media aproximada de 30 años, se originó principalmente durante las pruebas nucleares de mediados del siglo XX; el ^{210}Pb , de origen geogénico, presenta una vida media de 22,3 años; mientras que el ^7Be , de origen cosmogénico, tiene una vida media corta de aproximadamente 53 días, lo que lo hace útil para estudios de corto plazo.

El principio fundamental de esta técnica se basa en la comparación entre el inventario de radionúclidos medido en un sitio de referencia (no perturbado) y los valores observados en áreas de estudio. En zonas erosionadas, los niveles de FRN son inferiores al valor de referencia debido a la pérdida de suelo superficial, mientras que en áreas de deposición se registran concentraciones superiores, producto de la acumulación de sedimentos. Este enfoque permite estimar tasas de erosión y sedimentación de manera retrospectiva, integrando la variabilidad temporal de los procesos sin necesidad de monitoreo continuo.

Una de las principales ventajas del uso de FRN radica en su capacidad para proporcionar información espacialmente distribuida con base en una única campaña de muestreo, lo que reduce significativamente los costos y tiempos asociados a métodos tradicionales. Además, estos radionúclidos se fijan fuertemente a las partículas del suelo, lo que garantiza su trazabilidad

durante los procesos de transporte sedimentario. La técnica también permite validar modelos hidrológicos y de erosión, así como evaluar la efectividad de prácticas de conservación del suelo en diferentes contextos.

No obstante, el uso de FRN presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Entre ellas se destacan la necesidad de contar con información histórica sobre el uso del suelo, la dificultad para identificar sitios de referencia representativos, la alta variabilidad espacial de los inventarios y las limitaciones en la evaluación de ciertos tipos de erosión, como la eólica o la asociada a cárcavas. Asimismo, factores como la interceptación del ^7Be por la vegetación, la complejidad del paisaje y las características del suelo pueden influir en la interpretación de los resultados

La técnica de FRN se integra dentro de un conjunto más amplio de metodologías nucleares e isotópicas, incluyendo el fingerprinting sedimentario y la hidrología isotópica, que permiten abordar de manera integral los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos. Esta integración es fundamental para superar las limitaciones de enfoques aislados y avanzar hacia una comprensión sistémica de la degradación del suelo y su impacto en el ambiente.

Los radionucleidos de precipitación radiactiva representan una herramienta poderosa para la evaluación de la dinámica del suelo en el paisaje, proporcionando información clave para la gestión sostenible de los recursos edáficos e hídricos. Su aplicación en contextos como el de Panamá resulta estratégica para fortalecer la toma de decisiones y diseñar medidas efectivas de conservación frente a los desafíos de la degradación del suelo.

Link:

[https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/12._Base_Te%C3%B3rica\(FRN\)Panam%C3%A1_1_mj2_compressed.pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/12._Base_Te%C3%B3rica(FRN)Panam%C3%A1_1_mj2_compressed.pdf)

Presentación 13. Fundamentos teóricos del uso de radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN) en la evaluación de la erosión y redistribución del suelo. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La adecuada selección del área de estudio constituye una etapa fundamental en investigaciones orientadas a evaluar la degradación del suelo por erosión hídrica, especialmente cuando se integran técnicas nucleares e isotópicas. En el contexto del proyecto de fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá, se enfatizó la importancia de adoptar un enfoque basado en cuencas hidrográficas, dada su relevancia como unidades naturales de análisis para la gestión integrada de los recursos hídricos y edáficos.

Una cuenca hidrográfica se define como un territorio delimitado por divisorias de aguas, donde el drenaje superficial converge hacia un único sistema fluvial. Este enfoque permite comprender de manera integral los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos, así como su interacción con factores geomorfológicos, climáticos y antrópicos. A su vez, la diferenciación entre cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica resulta relevante, ya que esta última incorpora también el componente de aguas subterráneas, ampliando el análisis del ciclo hidrológico.

Dentro de este marco, las subcuencas y microcuencas adquieren especial importancia como unidades de estudio más detalladas, al permitir una mejor caracterización de la variabilidad espacial de los procesos erosivos. La delimitación precisa de estas unidades, mediante el análisis de modelos digitales de elevación (MDT) y líneas de parteaguas, facilita la identificación de patrones de escorrentía y conectividad hidrológica, aspectos clave para interpretar la dinámica del suelo en el paisaje .

La selección del área de estudio debe sustentarse en un análisis multidimensional que integre información geoespacial y biofísica. Entre los insumos fundamentales se incluyen mapas de precipitación (isoyéticos), geología, tipos y usos de suelo, topografía y geomorfología. Estos elementos permiten identificar zonas críticas de erosión y sedimentación, así como establecer relaciones entre los procesos naturales y las actividades humanas. En este sentido, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de modelación espacial resulta indispensable para la planificación y ejecución de estudios a escala de cuenca.

Un componente esencial en la caracterización del área de estudio es el diseño de la estrategia de muestreo, la cual debe ser representativa de la heterogeneidad espacial del sistema. En el caso presentado, se integran diferentes matrices ambientales, incluyendo agua, suelo y sedimentos, con el objetivo de aplicar técnicas isotópicas y nucleares de forma complementaria. Para el análisis de agua, se contemplan mediciones isotópicas (^{18}O , ^2H , ^3H), parámetros fisicoquímicos y compuestos químicos, mediante un sistema de estaciones y colectores distribuidos temporalmente. En suelos, se emplean radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN), particularmente ^{137}Cs , así como técnicas de isótopos estables por compuesto (CSSI) para la identificación de fuentes de sedimentos. En sedimentos, se utilizan radionúclidos como ^{210}Pb y ^{137}Cs para estimar tasas de sedimentación mediante análisis cronológicos en núcleos extraídos de cuerpos de agua.

La integración de estas metodologías permite abordar de manera sistémica los procesos de degradación del suelo, desde la generación de sedimentos en las áreas fuente hasta su transporte y deposición en zonas de acumulación. Este enfoque no solo mejora la precisión de los diagnósticos, sino que también fortalece la capacidad de evaluar el impacto de prácticas de manejo y conservación implementadas en el territorio.

La selección adecuada del área de estudio, basada en un enfoque hidrográfico y sustentada en información geoespacial detallada y estrategias de muestreo integradas, es un requisito indispensable para el éxito de investigaciones sobre erosión hídrica. Este enfoque permite generar información científica robusta que respalde la toma de decisiones en la gestión sostenible de los recursos suelo y agua, contribuyendo a mitigar los efectos de la degradación en contextos vulnerables como el de Panamá.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/13._Selecci%C3%B3n_Area_de_estudio_mj_compressed.pdf

Presentación 14. Protocolo y estrategia de muestreo en estudios de erosión del suelo mediante radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN). José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

El diseño de un protocolo de muestreo robusto constituye un elemento determinante en la calidad y confiabilidad de los estudios orientados a evaluar la redistribución del suelo mediante radionúclidos de precipitación radiactiva (FRN). En el contexto del fortalecimiento de capacidades para la restauración de suelos degradados en Panamá, se destaca que la heterogeneidad intrínseca del suelo y la variabilidad espacial de los radionúclidos ambientales exigen la implementación de estrategias de muestreo cuidadosamente planificadas, capaces de garantizar la representatividad de las muestras y la validez de los resultados obtenidos .

El objetivo fundamental del protocolo de muestreo es obtener información confiable sobre los inventarios de radionúclidos clave, como el cesio-137 (^{137}Cs), el berilio-7 (^7Be) y el plomo-210 (^{210}Pb), los cuales permiten evaluar los procesos de erosión y sedimentación en el paisaje. En este sentido, se enfatiza que la toma de muestras constituye la principal fuente de variabilidad en los resultados, por lo que, ante la imposibilidad de muestrear la totalidad del área de estudio, resulta esencial diseñar un esquema que capture adecuadamente la variabilidad espacial del sistema .

La etapa inicial del estudio incluye un reconocimiento exhaustivo del área, que abarca la recopilación de información climática, geomorfológica, edáfica y de uso de la tierra, así como la realización de visitas de campo y muestreos preliminares. Esta información permite definir un plan de muestreo adaptado a las condiciones locales y a los objetivos de la investigación. Un aspecto crítico en este proceso es la selección del sitio de referencia, el cual debe representar condiciones estables sin pérdida ni deposición de suelo, reflejando únicamente la deposición atmosférica de radionúclidos y su decaimiento radiactivo. La correcta identificación de estos sitios es esencial para establecer los inventarios de referencia contra los cuales se comparan las áreas erosionadas o de deposición .

El plan de muestreo contempla diferentes enfoques metodológicos, entre los que se incluyen el muestreo aleatorio, sistemático, estratificado, por transectos y basado en el juicio de expertos. Cada uno presenta ventajas y limitaciones, y su selección depende de las características del área de estudio y los objetivos específicos del análisis. El muestreo sistemático, particularmente mediante redes regulares, es ampliamente utilizado en estudios con FRN debido a su capacidad

para representar de manera uniforme la variabilidad espacial y facilitar la interpolación de resultados. Por su parte, el muestreo estratificado permite optimizar recursos al considerar la heterogeneidad del terreno, mientras que el muestreo por juicio de expertos resulta útil en fases exploratorias .

Asimismo, se establecen recomendaciones sobre el número de muestras necesarias para distintos tipos de análisis. Por ejemplo, se sugiere un mínimo de 11 muestras para caracterizar sitios de referencia y al menos 10 muestras por grupo en estudios comparativos. Para la generación de mapas o superficies, el número de muestras puede variar entre 20 y 150, dependiendo de la complejidad del área. También se destaca el uso de muestras compuestas en estudios orientados a obtener valores promedio, aunque estas limitan el análisis de la variabilidad espacial .

El protocolo incluye además lineamientos para el registro de información de campo, etiquetado de muestras y uso de equipamiento adecuado, diferenciando entre muestreo en profundidad (perfil) y muestreo total. Se enfatiza la importancia de evitar la contaminación entre muestras, garantizar volúmenes adecuados de suelo y adaptar las técnicas de muestreo a las características del terreno.

La implementación de un protocolo de muestreo bien estructurado es esencial para reducir la incertidumbre en estudios de erosión del suelo mediante FRN. La adecuada selección de sitios, métodos y número de muestras permite generar información confiable que sustente la evaluación de procesos de degradación y contribuya al diseño de estrategias efectivas de conservación del suelo y el agua.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/14._Protocolo-EstrategiaMuestreo_mj_compressed.pdf

Presentación 15. Modelos de conversión para la evaluación de la redistribución del suelo mediante radionucleidos. José Luis Peralta (Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones).

Resumen

La ponencia abordó los fundamentos teóricos y prácticos de los modelos de conversión aplicados al uso de radionúclidos de origen natural y antrópico, específicamente Cs-137, Pb-210 y Be-7, para la evaluación de la redistribución del suelo en sistemas agropecuarios y ecosistemas naturales. Este enfoque constituye una herramienta robusta dentro de las técnicas nucleares empleadas en la cuantificación de procesos de erosión y deposición, contribuyendo al análisis de la degradación del suelo por erosión hídrica.

Se destacó que los modelos de conversión permiten transformar mediciones de densidad superficial de actividad (DSA), expresadas en Bq/m^2 , en tasas de redistribución del suelo ($t/ha \cdot año$), facilitando la interpretación cuantitativa de los procesos erosivos. La selección del modelo adecuado depende de múltiples factores, entre ellos las características del sitio de estudio (relieve, tipo de suelo, uso de la tierra), la disponibilidad de información y las condiciones climáticas, particularmente el régimen de precipitaciones.

La ponencia enfatizó la importancia de contar con información básica para la aplicación de estos modelos, incluyendo mediciones de actividad (Bq/kg y Bq/m^2), densidad aparente del suelo, profundidad de labranza, precipitación media anual y profundidad másica. Estos parámetros son esenciales para garantizar la confiabilidad de los resultados y su adecuada interpretación.

Se presentaron los principales modelos utilizados, diferenciando entre suelos cultivados y no cultivados. En suelos cultivados, se describieron el modelo proporcional, el modelo de balance de masa simplificado (MBM1), el modelo de balance de masa sin cultivo (MBM2) y el modelo de balance de masa con labranza (MBM3). Cada uno presenta ventajas y limitaciones: mientras los modelos más simples requieren menos información, tienden a simplificar la realidad y pueden generar estimaciones menos precisas; en contraste, los modelos más complejos incorporan variaciones temporales del radionúclido y efectos de la labranza, aunque demandan mayor cantidad de parámetros.

Para suelos no cultivados, se abordaron el modelo de perfil y el modelo de difusión y migración. El primero se caracteriza por su simplicidad y bajo requerimiento de datos, aunque no considera la evolución temporal del radionúclido en el perfil del suelo. El segundo, más sofisticado, incorpora procesos de redistribución vertical mediante coeficientes de difusión y migración, ofreciendo resultados más realistas a costa de una mayor complejidad.

Asimismo, se realizó una comparación entre los radionúclidos utilizados, destacando sus diferencias en origen, vida media y escala temporal de análisis. El Cs-137, derivado principalmente de pruebas nucleares atmosféricas, permite estimaciones a escala de décadas; el Pb-210, de origen geogénico, permite evaluaciones de más largo plazo; mientras que el Be-7, de origen cosmogénico y vida media corta, es útil para estudios de eventos recientes.

Finalmente, se destacó la disponibilidad de herramientas computacionales desarrolladas por organismos internacionales que facilitan la aplicación de estos modelos, integrando los parámetros requeridos y permitiendo estimaciones más eficientes de la redistribución del suelo. La correcta aplicación de estos modelos constituye un elemento clave para fortalecer las capacidades técnicas en la evaluación de la degradación del suelo y la efectividad de las prácticas de conservación implementadas.

Link:

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/15._Modelos_Conversi%C3%B3n_compressed.pdf

Experiencia visitada. Síntesis técnica de las experiencias observadas y testimonios brindados durante las jornadas de capacitación.

Las jornadas de capacitación sobre evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica mediante técnicas isotópicas y espectrometría gamma constituyó una experiencia práctica y altamente especializada orientada al fortalecimiento de capacidades técnicas en el uso de metodologías nucleares aplicadas al estudio y conservación de los recursos suelo, agua y bosque. Las actividades desarrolladas combinaron sesiones teóricas, ejercicios prácticos de laboratorio y trabajo de campo, permitiendo a los participantes adquirir conocimientos científicos y herramientas metodológicas para la evaluación de procesos erosivos en sistemas agropecuarios.

Uno de los principales componentes de la experiencia fue la capacitación práctica en el manejo del Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución instalado en el IDIAP. Durante las sesiones, los especialistas recibieron entrenamiento en la preparación y puesta a punto del sistema para garantizar mediciones confiables y trazables de radionúclidos presentes en muestras de suelo y otros materiales ambientales. Las actividades incluyeron calibración en energía y resolución, control de calidad previo a las mediciones, selección de geometrías adecuadas de análisis, determinación de tiempos óptimos de medición, adquisición y análisis de espectros gamma, conformación de librerías para identificación de radionúclidos y generación de reportes técnicos. Asimismo, se abordaron aspectos relacionados con la colección y utilización del espectro de fondo radiactivo y la correcta introducción de parámetros de las muestras analizadas.

Los testimonios de los participantes reflejaron una valoración altamente positiva de la capacitación, calificándola como “muy productiva”, “estupenda” y de gran utilidad para ampliar los parámetros de análisis y toma de decisiones técnicas. Los asistentes destacaron que los conocimientos adquiridos fortalecen las capacidades institucionales para el monitoreo y evaluación de la degradación del suelo, así como para la generación de información científica aplicable a programas de manejo sostenible de los recursos naturales en Panamá.

Otro componente relevante de la experiencia fue el desarrollo de prácticas de muestreo de suelo y sedimentos en campo, considerando elementos de cobertura vegetal como árboles, arbustos y pastos, fundamentales para interpretar los procesos de erosión y redistribución de sedimentos. Durante estas actividades, los participantes aplicaron metodologías de identificación de zonas

fuentes y puntos de mezcla de sedimentos, así como técnicas de documentación y registro de muestras.

Adicionalmente, se desarrollaron conferencias teóricas sobre la técnica de fingerprinting sedimentario, incluyendo la aplicación de la técnica de isótopos estables específicos por compuesto (CSSI) y el uso de trazadores químicos. Los participantes recibieron formación sobre estrategias de muestreo, modelos de cálculo e interpretación de resultados de laboratorio mediante herramientas como CSSIAR y FingerPro. Estas sesiones permitieron comprender los principios científicos y estadísticos utilizados para identificar las fuentes de sedimentos y evaluar la dinámica de degradación del suelo en áreas agrícolas.

Las visitas y prácticas realizadas en la zona de estudio de La Zanguenga facilitaron la integración entre teoría y práctica, permitiendo a los participantes observar directamente la aplicación de las metodologías aprendidas en condiciones reales de campo. En términos generales, la experiencia visitada fortaleció significativamente las capacidades técnicas y científicas de los participantes, promoviendo el uso de tecnologías nucleares innovadoras para la evaluación de la erosión hídrica y la conservación sostenible de los recursos naturales.

Aprendizajes alcanzados. Los participantes explican brevemente los logros alcanzados, evidencias generadas, elementos claves a considerar para aplicar.

Las jornadas de capacitación permitieron fortalecer significativamente las capacidades técnicas y científicas de los participantes en el uso de metodologías nucleares e isotópicas aplicadas a la evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica. Entre los principales logros alcanzados destacó el aprendizaje práctico en el manejo del Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución, incluyendo la medición de muestras de suelo, análisis cualitativo de espectros gamma y generación de reportes técnicos. Como evidencia del nivel de aprendizaje obtenido, se comprobó que los especialistas capacitados lograron desarrollar de manera autónoma el proceso completo de medición de muestras, interpretación básica de resultados y elaboración de reportes analíticos, demostrando dominio inicial de las herramientas y procedimientos aprendidos.

Los participantes adquirieron además conocimientos relacionados con la correcta preparación y manejo de muestras de suelo, aspecto considerado fundamental para garantizar la calidad, precisión y trazabilidad de los análisis de laboratorio. En este sentido, se fortalecieron competencias sobre criterios técnicos de muestreo, conservación de muestras y control de calidad durante las diferentes etapas del proceso analítico.

Otro aprendizaje relevante fue la comprensión de la importancia de evaluar los procesos de erosión y sedimentación como elementos clave para la gestión sostenible de los recursos naturales y la planificación de medidas de conservación de suelos y agua. Los participantes destacaron que las explicaciones teóricas y prácticas brindadas durante la capacitación fueron claras, motivadoras y de gran utilidad para ampliar la comprensión de los impactos ambientales asociados a la degradación del suelo.

En el componente de trabajo de campo, se incorporaron nuevos conceptos y criterios para la toma de muestras en áreas agrícolas y cuencas hidrográficas, considerando factores asociados a la cobertura vegetal, características del terreno y dinámica de transporte de sedimentos. Estas experiencias permitieron comprender la importancia de diseñar estrategias de muestreo adecuadas para garantizar resultados representativos y científicamente válidos.

Asimismo, los participantes fortalecieron conocimientos sobre las bases de la técnica de fingerprinting sedimentario, incluyendo las especificidades de la técnica de isótopos estables específicos por compuesto (CSSI) y el uso de trazadores químicos como herramientas para

identificar fuentes de sedimentos y evaluar procesos de erosión hídrica. Las sesiones teóricas y prácticas permitieron conocer las principales exigencias metodológicas asociadas a las estrategias de muestreo de suelos y sedimentos requeridas para la aplicación efectiva de estas técnicas.

Durante las capacitaciones también se abordaron aspectos relacionados con el procesamiento, análisis e interpretación de resultados mediante modelos de desmezcla sedimentaria. Los participantes recibieron formación básica en el uso de programas estadísticos en R para el análisis de aportes sedimentarios a nivel de cuencas, así como en la utilización de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para apoyar la interpretación espacial de los resultados obtenidos. Como parte de los ejercicios prácticos, se desarrolló un análisis preliminar para definir criterios técnicos orientados a la implementación de una estrategia de muestreo en la microcuenca de La Zanguenga.

Recursos utilizados. Los participantes describen brevemente los elementos utilizados para implementar los conocimientos adquiridos.

En cada jornada de capacitación se emplearon diversos recursos técnicos, tecnológicos y logísticos que permitieron el desarrollo efectivo de las actividades teóricas, prácticas y de campo orientadas al fortalecimiento de capacidades en evaluación de la degradación del suelo mediante técnicas isotópicas y espectrometría gamma. Entre los principales recursos utilizados destacó el Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución instalado en el IDIAP, equipado con detector HPGe (High Purity Germanium), herramienta fundamental para la medición y análisis de radionúclidos presentes en muestras de suelo y otros materiales ambientales.

Asimismo, se utilizaron programas especializados para la adquisición y análisis de espectros gamma, procesamiento de datos y generación de reportes técnicos. Estos recursos informáticos permitieron a los participantes familiarizarse con el manejo de software especializado para la interpretación de resultados analíticos y el procesamiento de información derivada de las mediciones de laboratorio. Como parte de las actividades prácticas, también se emplearon muestras de suelo preparadas para el análisis espectrométrico y ejercicios de calibración y control de calidad del sistema.

No obstante, se identificó como limitación la ausencia temporal de patrones experimentales de calibración en el IDIAP de Panamá, debido a dificultades para su recepción desde el exterior. Esta situación impidió desarrollar ejercicios prácticos relacionados con las calibraciones de eficiencia del sistema y restringió parcialmente la capacitación especializada en este componente técnico. A pesar de ello, las sesiones permitieron fortalecer conocimientos conceptuales y operativos asociados al funcionamiento general del equipo y los procedimientos de medición.

Durante las actividades de campo se emplearon diversos equipos y materiales básicos para el muestreo de suelos y sedimentos, incluyendo GPS, palines, palas, espátulas, machetes, guantes, baldes, cintas métricas y bolsas de nylon abiertas y con cierre para la recolección y conservación de muestras. Los participantes también utilizaron libretas de apuntes, celulares y computadoras como herramientas de apoyo para el registro de información, documentación de campo y organización de datos.

El uso de sistemas GPS fue considerado especialmente importante para la georreferenciación de puntos de muestreo y la delimitación de áreas de estudio, permitiendo mejorar la precisión espacial de las investigaciones relacionadas con erosión hídrica y transporte de sedimentos.

Asimismo, los equipos básicos de muestreo facilitaron la implementación práctica de estrategias de recolección de muestras de suelo y sedimentos en diferentes condiciones de campo.

En el componente teórico de la capacitación se emplearon recursos audiovisuales y tecnológicos para el desarrollo de presentaciones interactivas, incluyendo computadoras, proyectores, pantallas, micrófonos y medios informáticos especializados. Estas herramientas contribuyeron a facilitar la comprensión de conceptos técnicos relacionados con la técnica Fingerprinting sedimentario, el uso de isótopos estables específicos por compuesto (CSSI), trazadores químicos y modelos de desmezcla sedimentaria.

Adicionalmente, el entrenamiento práctico realizado durante las visitas de campo requirió apoyo logístico mediante el uso de transporte terrestre y organización de equipos de trabajo multidisciplinarios. La combinación de recursos tecnológicos, equipos de laboratorio, herramientas de campo y medios didácticos permitió desarrollar una experiencia de capacitación integral, favoreciendo el aprendizaje práctico y la aplicación de metodologías científicas avanzadas para la evaluación y conservación sostenible de los recursos suelo y agua en Panamá.

Desafíos pendientes. Los participantes describen brevemente que hace falta, limitaciones, obstáculos dificultades para aplicar las experiencias en Panamá.

A pesar de los importantes avances alcanzados durante las jornadas de capacitación, los participantes identificaron diversos desafíos técnicos, institucionales y operativos que deben ser atendidos para garantizar la aplicación efectiva y sostenible de las metodologías aprendidas en Panamá. Entre las principales limitaciones señaladas destacó la falta de patrones de calibración para el Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución con detector HPGe instalado en el IDIAP. Esta situación limita actualmente la realización de análisis cuantitativos precisos de radionúclidos presentes en muestras de suelo y otros materiales ambientales, afectando el desarrollo completo de las capacidades analíticas del laboratorio.

Los especialistas señalaron que las calibraciones en eficiencia constituyen un requisito indispensable para la correcta cuantificación de radionúclidos de interés mediante espectrometría gamma, por lo que resulta prioritario gestionar la adquisición de patrones certificados y fortalecer los procedimientos de aseguramiento y control de calidad analítica. Asimismo, se destacó la necesidad de continuar el entrenamiento especializado del personal técnico en temas avanzados relacionados con calibración, interpretación de resultados y validación de métodos analíticos.

Otro desafío identificado fue la necesidad de fortalecer el reconocimiento institucional y la apropiación de estas tecnologías por parte de los tomadores de decisiones. Algunos participantes manifestaron la importancia de que los programas relacionados con degradación del suelo y técnicas nucleares sean asumidos con mayor prioridad a nivel institucional y gubernamental, de manera que los resultados generados puedan incorporarse efectivamente en procesos de planificación, formulación de políticas públicas y estrategias nacionales de conservación de suelos y agua.

También se evidenció la necesidad de disponer de mayor información de base y datos previos que permitan mejorar la toma de decisiones técnicas y el diseño de estrategias de monitoreo y conservación adaptadas a las condiciones locales. En este contexto, los participantes resaltaron la importancia de contar con mapas actualizados, sistemas de información geográfica funcionales y software especializado para apoyar el procesamiento, análisis e interpretación de la información obtenida durante los estudios de erosión y sedimentación.

En el ámbito operativo, se identificó la necesidad de fortalecer las acciones orientadas al control de la erosión hídrica y ampliar la integración de los productores agropecuarios en los procesos

de capacitación, validación y aplicación de las metodologías aprendidas. Los participantes consideraron fundamental involucrar de manera más activa a los usuarios finales y actores locales para facilitar la adopción de prácticas sostenibles de conservación de suelos y agua.

Asimismo, se reconoció la importancia de fortalecer los vínculos entre investigadores, productores, técnicos y tomadores de decisiones para lograr una implementación más efectiva e interdisciplinaria de las técnicas isotópicas y de fingerprinting sedimentario. Los participantes destacaron que la interpretación adecuada de los resultados requiere integrar conocimientos en áreas como edafología, hidrología, estadística, geografía y manejo de cuencas hidrográficas.

En relación con las herramientas informáticas utilizadas durante la capacitación, se reportó que el modelo CSSI presentó limitaciones técnicas para su instalación debido a las características propias del sistema, por lo que únicamente pudieron brindarse recomendaciones para su instalación y utilización posterior. Adicionalmente, se identificó la necesidad de fortalecer las capacidades en análisis estadístico y manejo de modelos de desmezcla sedimentaria para mejorar la evaluación de criterios conservativos de los trazadores empleados en los estudios.

Los participantes coincidieron en que es necesario fortalecer las estrategias de comunicación y divulgación dirigidas a los usuarios finales y actores institucionales, con el propósito de evidenciar los impactos negativos de la erosión hídrica y promover la implementación de medidas de conservación que contribuyan al desarrollo de una agricultura sostenible y resiliente en Panamá

.

Lecciones aprendidas. Los participantes describen brevemente: ¿Que salió mal?, Que salió Bien?, ¿Que acciones debemos tomar para evitar estos errores y repetir los aciertos en el futuro?

La jornadas de capacitación permitieron identificar importantes lecciones aprendidas relacionadas con la implementación de técnicas isotópicas y nucleares aplicadas a la evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica. En términos generales, los participantes coincidieron en que las actividades desarrolladas fueron altamente exitosas, destacándose la calidad de las capacitaciones, el interés demostrado por los asistentes y el adecuado desarrollo de las sesiones teóricas y prácticas programadas. Las actividades se ejecutaron conforme al cronograma establecido, en un ambiente de cordialidad, cooperación institucional y activa participación de especialistas, técnicos, investigadores y productores vinculados al proyecto.

Uno de los aspectos mejor valorados fue la calidad técnica de los expositores, quienes lograron transmitir conocimientos especializados utilizando un lenguaje claro y accesible para los participantes, incluyendo productores y técnicos extensionistas. Asimismo, se destacó positivamente la integración de diversas instituciones relacionadas con el proyecto, lo que favoreció el intercambio de experiencias y fortaleció el trabajo colaborativo e interdisciplinario.

Entre los principales logros alcanzados, se comprobó que los especialistas capacitados lograron desarrollar de manera autónoma la medición de muestras de suelo, el análisis cualitativo de espectros gamma y la generación de reportes técnicos, evidenciando la apropiación efectiva de los conocimientos impartidos. También se resaltó el aprendizaje adquirido en el uso de modelos de desmezcla sedimentaria, particularmente mediante el programa FingerPro en R, así como en el procesamiento estadístico requerido para la selección y validación de fuentes y trazadores utilizados en estudios de fingerprinting sedimentario.

Las actividades de campo permitieron además reforzar conocimientos prácticos sobre estrategias de muestreo de suelo y sedimentos, destacándose la importancia de seleccionar adecuadamente las zonas fuente y los puntos de mezcla, evitar la contaminación cruzada de muestras y garantizar la representatividad mediante el uso de réplicas. Los participantes reconocieron igualmente la relevancia de considerar factores externos, como las cargas sedimentarias generadas por caminos y carreteras, así como las características del entorno y cobertura vegetal, para mejorar la interpretación de los resultados obtenidos.

No obstante, también se identificaron algunos aspectos que requieren fortalecimiento. Entre las principales limitaciones señaladas figuró la falta de materiales e insumos especializados necesarios para desarrollar completamente ciertos ejercicios prácticos, particularmente aquellos relacionados con calibraciones avanzadas del sistema de espectrometría gamma. En este sentido, los participantes coincidieron en la necesidad de gestionar oportunamente la adquisición de equipos, patrones de calibración y materiales de laboratorio que permitan consolidar las capacidades analíticas instaladas.

Conclusiones

La jornada de capacitación realizadas permitieron fortalecer significativamente las capacidades técnicas y científicas de los participantes en el uso de metodologías innovadoras aplicadas a la conservación de los recursos suelo, agua y bosque. Las actividades desarrolladas se ejecutaron satisfactoriamente y cumplieron con los objetivos previstos, generando resultados positivos tanto en el componente teórico como en las prácticas de laboratorio y trabajo de campo.

Los participantes coincidieron en que la capacitación constituyó una experiencia altamente valiosa para comprender la importancia de las técnicas nucleares e isotópicas en la evaluación de procesos erosivos y sedimentarios, así como para fortalecer la toma de decisiones relacionadas con la gestión sostenible de los recursos naturales. En particular, se reconoció el aporte del entrenamiento recibido en el manejo del Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución, el procesamiento de muestras de suelo y la interpretación de resultados asociados a radionúclidos y técnicas de fingerprinting sedimentario.

Uno de los principales hallazgos del evento fue la constatación de que los especialistas capacitados lograron adquirir competencias básicas para desarrollar de manera autónoma procedimientos relacionados con la medición de muestras de suelo, análisis cualitativo de espectros gamma y elaboración de reportes técnicos. Asimismo, las experiencias prácticas permitieron comprender la relevancia de aplicar protocolos adecuados de muestreo y análisis para garantizar resultados confiables y representativos en estudios de erosión hídrica y transporte de sedimentos.

Los participantes destacaron además la importancia de fortalecer la responsabilidad técnica durante los procesos de muestreo de suelo, considerando factores asociados al entorno, cobertura vegetal, uso del suelo y posibles fuentes de contaminación sedimentaria. Se concluyó que la correcta observación y caracterización del paisaje constituye un elemento fundamental para interpretar adecuadamente los procesos de degradación del suelo y diseñar estrategias efectivas de conservación.

En relación con las técnicas de fingerprinting sedimentario, se definieron las bases conceptuales, alcance y relevancia de herramientas como CSSI y los modelos de desmezcla utilizados internacionalmente para identificar fuentes de sedimentos. Las prácticas desarrolladas permitieron a los participantes familiarizarse con experiencias reales en el empleo de modelos estadísticos y fortalecer los protocolos de muestreo requeridos para este tipo de investigaciones.

No obstante, los participantes reconocieron que aún existen desafíos técnicos que deben ser atendidos para consolidar plenamente las capacidades instaladas en Panamá. Entre ellos destacó

la necesidad de completar las calibraciones del Sistema de Espectrometría Gamma mediante la adquisición de patrones experimentales adecuados y el acompañamiento técnico especializado para el desarrollo de análisis cuantitativos de radionúclidos. En este sentido, se consideró prioritario continuar fortaleciendo las capacidades institucionales y asegurar la disponibilidad de insumos y recursos necesarios para garantizar la sostenibilidad de las actividades analíticas.

Los asistentes concluyeron que los conocimientos adquiridos poseen un alto potencial de aplicación y réplica en sistemas productivos y áreas de estudio en Panamá. Se destacó la importancia de involucrar de manera más activa a productores, propietarios de tierras y tomadores de decisiones, promoviendo una mayor articulación entre investigación, extensión agrícola y gestión ambiental. De manera general, la experiencia fue considerada pertinente, aplicable y estratégica para impulsar acciones orientadas al control de la erosión hídrica, la conservación de los suelos y el fortalecimiento de una agricultura sostenible y resiliente.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos, resultados y experiencias obtenidas durante la jornada de capacitación sobre evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica mediante técnicas isotópicas y espectrometría gamma, los participantes formularon diversas recomendaciones orientadas a fortalecer las capacidades técnicas e institucionales necesarias para la implementación sostenible de estas metodologías en Panamá.

Una de las principales recomendaciones fue la adquisición prioritaria de patrones experimentales de calibración para el Sistema de Espectrometría Gamma de Alta Resolución con detector HPGe instalado en el IDIAP. Los participantes señalaron que las calibraciones en eficiencia son imprescindibles para garantizar resultados cuantitativos confiables y trazables en el análisis de radionúclidos presentes en muestras de suelo y otros materiales ambientales. En este sentido, se recomendó que, una vez adquiridos los patrones de calibración desde el exterior, se continúe el proceso de capacitación y entrenamiento especializado del personal técnico del IDIAP bajo la asesoría de expertos internacionales, con el propósito de fortalecer las competencias necesarias para desarrollar de manera autónoma calibraciones confiables y procedimientos analíticos de alta calidad.

Asimismo, se recomendó fortalecer la infraestructura de soporte del laboratorio, particularmente mediante la adquisición de sistemas de respaldo energético, como estaciones de energía tipo ECOFLOW o BLUETTI de 1000 W, que permitan proteger el funcionamiento continuo del sistema de espectrometría gamma ante interrupciones prolongadas del suministro eléctrico. De igual manera, los participantes destacaron la necesidad de asegurar un suministro estable y permanente de nitrógeno líquido para el enfriamiento del detector HPGe, evitando interrupciones que puedan comprometer la estabilidad y vida útil del equipo.

En el componente técnico y metodológico, se recomendó continuar fortaleciendo las capacidades nacionales en el uso de técnicas de fingerprinting sedimentario, particularmente en la aplicación de la técnica de isótopos estables específicos por compuesto (CSSI), el manejo de modelos de desmezcla y el uso del programa estadístico R. Los participantes sugirieron realizar ejercicios prácticos adicionales y entrenamientos periódicos que permitan mejorar las habilidades de procesamiento, análisis e interpretación de resultados relacionados con erosión hídrica y transporte de sedimentos.

También se recomendó fortalecer los equipos interdisciplinarios de trabajo integrando especialistas en suelos, hidrología, estadística, geografía, sistemas de información geográfica y manejo de cuencas hidrográficas, con el fin de mejorar la interpretación de los resultados finales

y reducir las incertidumbres asociadas a la aplicación de estas técnicas. En este contexto, se destacó la importancia de continuar perfeccionando las estrategias de muestreo de suelo y sedimentos para minimizar errores y garantizar la representatividad de las muestras recolectadas.

Los participantes sugirieron además ampliar la divulgación y convocatoria de futuras capacitaciones, promoviendo una mayor participación de técnicos, extensionistas, productores y tomadores de decisiones vinculados a la gestión sostenible de los recursos naturales. Se recomendó fortalecer las estrategias de transferencia tecnológica y sensibilización sobre la importancia del control de la erosión hídrica y la conservación de los suelos agrícolas.

Entre las propuestas planteadas, se mencionó la elaboración de materiales de divulgación, como murales temáticos y mapas de Panamá que integren los diferentes usos del suelo y las áreas con mayores cargas sedimentarias, como herramienta educativa para apoyar los procesos de sensibilización ambiental y toma de decisiones.

Finalmente, los participantes coincidieron en la necesidad de dar continuidad a este tipo de iniciativas de formación y cooperación técnica, considerando que el fortalecimiento de capacidades en técnicas nucleares e isotópicas representa una herramienta estratégica para mejorar la evaluación de la degradación del suelo, apoyar el diseño de medidas de conservación y promover una agricultura sostenible y resiliente en Panamá.

Referencias

Blake, W. H., Ficken, K. J., Taylor, P., Russell, M. A., & Walling, D. E. (2012). Fingerprinting sediment sources in agricultural catchments using compound-specific stable isotopes (CSSI). *Geoderma*, 184, 9–21.

Collins, A. L., Pulley, S., Foster, I. D. L., Gellis, A., Porto, P., Horowitz, A. J., & Stone, M. (2017). Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: A review of the current state of knowledge and emerging priorities. *Science of the Total Environment*, 596–597, 292–307.

Debertin, K., & Helmer, R. G. (1988). *Gamma and X-ray spectrometry with semiconductor detectors*. North-Holland.

Eisenbud, M., & Gesell, T. (1997). *Environmental radioactivity: From natural, industrial, and military sources* (4.^a ed.). Academic Press.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *La gestión sostenible de los suelos: oportunidades y recomendaciones para tomadores de decisiones*. FAO.

Gilmore, G. (2008). *Practical gamma-ray spectrometry* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.

González, J. A. C. (2017). *Contribuciones a la mejora de la determinación de radionucleidos mediante espectrometría de radiación gamma* (Doctoral dissertation, Universidad de Extremadura).

International Atomic Energy Agency. (2004). *Quality assurance for radioactivity measurement in nuclear applications* (IAEA-TECDOC-1401). International Atomic Energy Agency.

International Atomic Energy Agency. (2005). *Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection* (Safety Guide No. RS-G-1.8). International Atomic Energy Agency.

International Atomic Energy Agency. (2014). *Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies* (IAEA-TECDOC). International Atomic Energy Agency.

International Atomic Energy Agency. (2014). *Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies* (IAEA-TECDOC). International Atomic Energy Agency.

International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO.

Knoll, G. F. (2010). Radiation detection and measurement (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

Ministerio de Ambiente de Panamá. (2024). DS-SLM/LADA: Apoyo en la toma de decisiones para la integración y ampliación del manejo sostenible de la tierra. Gobierno de Panamá.

Walling, D. E. (2013). The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *Journal of Soils and Sediments*, 13(10), 1658–1675.

Walling, D. E., & He, Q. (1999). Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *Journal of Environmental Quality*, 28(2), 611–622.

Sección de imágenes



Ponencia sobre Nociones de la espectrometría gamma y su uso en la agricultura. Doctor Jorge Carrazana. Centro Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Actores claves del proyecto intercambian experiencias sobre Espectrometría Gamma para la Determinación de Cs-137 en Suelos Panameños. Doctor Jorge Carrazana. Centro Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Puesta en marcha de un Laboratorio de Espectrometría Gamma Agrícola en IDIAP-La Zanguenga. Doctor Jorge Carrazana. Centro Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Capacitación para manipular equipos donados por el OIEA y lecturas de muestras de suelo en el Laboratorio de Espectrometría Gamma Agrícola en IDIAP-La Zanguenga. Doctor Jorge Carrazana. Centro Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Capacitación teórica sobre el Uso de la técnica de isótopos estables por compuesto específicos (CSSI) + trazadores químicos. Doctor Reinaldo Gil. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Demostración de métodos sobre el Uso de la técnica de isótopos estables por compuesto específicos (CSSI) + trazadores químicos. Doctor Reinaldo Gil. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Toma de muestras de suelos en predios con pasturas con la técnica de isótopos estables por compuesto específicos (CSSI) + trazadores químicos. Doctor Reinaldo Gil. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Toma de muestras de suelos en predios con cultivos de piña con la técnica de isótopos estables por compuesto específicos (CSSI) + trazadores químicos. Doctor Reinaldo Gil. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Toma de muestras de suelos en predios con bosques secundarios con la técnica de isótopos estables por compuesto específicos (CSSI) + trazadores químicos. Doctor Reinaldo Gil. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Jornadas de capacitación Uso Técnica nuclear radionúclidos de origen natural provenientes de la lluvia (FRN). Doctor José Luis Peralta. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Intercambios de experiencias con María Castro (AECID) y Ariadna Torres (MIREX) en la Mesa Redonda sobre la evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas. Doctor José Luis Peralta. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba.



Intercambios de experiencias con Ing. Jesús Ocampo representando a la Red Nacional de Juventudes Rurales en la Mesa Redonda sobre la Degradación de los suelos y soluciones para su restauración en la región Oeste del Canal de Panamá



Participantes de la Mesa Redonda en el Centro de Centro de Gestión Socioambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, con el tema: Evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.



Palabras de clausura del evento por Doña María Castro Responsable de Programas de Cooperación Española de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)



Clausura del evento y entrega de certificados a expositores y participantes de las jornadas de Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Listas de asistencias

Día 1: 15 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME | INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ | acid | Cooperación Española | USC

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 15/12/2025. Lugar: IDIAP - Zangueyga

N°	NOMBRE	CÉDULA	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Aldemar González	8-210-607	aldemar201@idm.com	64762632	PD	MIDA-RS	Coordinador	M
2	Melangi Elias Soto	6-53-2245	melangi@midia.gub.pa	63741207	Panamá Oeste	MIDA-RS	Estadístico	M
3	Douglas Hincapié	8-327-373	ahincapie@midia.gub.pa	6613-087	Panamá Oeste	MIDA-RS	Estadístico	M
4	Nichillo Toumouly	8-894-1542	ntoumouly@midia.gub.pa	66583825	Panamá Oeste	MIDA-RS	Estadístico	F
5	Jorge Carrazzini	7-000315043	carrazzini@idm.com	53002361	La Habana	CPHR	Física Nuclear	M
6	Rebeca Harpen	8-711-26	rebeca@idm.com	6660000	Id. Caspa	MIDA-RS	Ext. Agrícola	M
7	Kenny Amare	5-959-10	kenny.amare@gmail.com	696-2211	Panamá	UTP	Estudiante	M
8	Ana Serrano	8-961-1989	ana.serrano32017@gmail.com	61027784	Panamá	UTP	Estudiante	F
9	Alexander Esquivel	8-705-4	alexander.esquivel@idm.com	6614052	Panamá Oeste	UTP	Investigador	M
10	Georgel Bastista	7-702-229	georgel.bastista@idm.com	6647105	Panamá	IDIAP	Investigador	M
11	Jorge S. Chiribón	8-922-1139	-	6677415	P. Oeste	IDIAP	Investigador	F
12	Rothmerys	8-722-1700	rothmerys@idm.com	6677777	P. Oeste	IDIAP	Investigador	F
13	Yvonne Jasso B.	8-523-28	yvonne.jasso@idm.com	66244187	P. Oeste	IDIAP	Investigador	F
14	Stefan Llanos	8-101-1986	stefan.llanos@idm.com	67622050	Panamá	IDIAP	Investigador	M
15	Johann Pacheco	8-993-2352	johann.pacheco@idm.com	6121887	Panamá	IDIAP-Diálogo	Técnico	M
16	Walter Camarero	8-968-2314	walter.camarero@idm.com	6302490	Panamá Oeste	IDIAP	Investigador	M
17	José Saiz Mejía C.	8-718-1976	jsaizmejia@idm.com	6756157	P. Oeste	IDIAP	Investigador	M
18	Dolida Rodríguez	8-706-1109	dolida.rodriguez@idm.com	66725153	Panamá Oeste	IDIAP-Diálogo	Asistente	F
19	Boris Saiz Mejía	8-237-1572	boris.saizmejia@idm.com	66797516	P. Oeste	IDIAP	Investigador	M
20	Franco Moreno	8-714-373	franco.moreno@idm.com	6734709	P. Oeste	Mi Ambiente	Investigador	M

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME | INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ | acid | Cooperación Española | USC

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 1: Análisis de capacidades y de necesidades del consorcio para identificar procesos de degradación de suelos y técnicas de corrección

Fecha: 15-12-2025. Lugar: IDIAP - Zangueyga.

N°	NOMBRE	CÉDULA	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
21	Walter Llanos	8-968-2314	walter.llanos@idm.com	-	P. Oeste	Visitante	Técnico	M
22	Johann Pacheco	8-993-2352	johann.pacheco@idm.com	6121-8887	Panamá	Visitante	Técnico	M
23	Dmitri Krivosos	-	dmitri.krivosos@idm.com	61230403811	Latvia	Visitante	Técnico	M
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								

Productores: 2
Investigadores: 1
Técnicos: 21
F: 6
M: 23
Productores: 1
Ext: 3

Día 2: 16 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME AGROPECUARIA DE PANAMA

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 16/12/2025 Lugar: Centro La Cisterna Socarrador

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Genia de la Cruz	8-851-1847	genia851@prod.com	60662374	P. Oeste	O.B.C	Técnica	M
2	Alexander Feyjuel	8-905-4	alexander.feyjuel@dep.pa	6094003	P. Oeste	UTP	Investigador	M
3	Ana C. Soreche	8-161-1484	ana.soreche@entreec.com	55023384	Panamá	UTP	Estudiante	F
4	Yenny Rojas	8-751-10	yenny.rojas@dep.pa	6076-221E	Panamá	UTP	Estudiante	M
5	Masha Alvarez D.	8-327-373	maria.alvarez@dep.pa	6044-0811	Panamá Oeste	ALCA	Estudiante	M
6	Evelina Rojas	8-525-114	evelina.rojas@dep.pa	60552526	Panamá Oeste	P. de Café	P. de Café	F
7	Abraham González	8-210-607	abraham.gonzalez@dep.pa	6012-2637	P.O.	MIDA	Investigador	M
8	Alfonso Rojas	8-772-1100	alfonso.rojas@dep.pa	602572-5	P.O.	SDIAP	Técnico	F
9	Alfonso Moreno	5-714-378	alfonso.moreno@dep.pa	673470-7	Panamá Oeste	Mi Ambiente	Técnico	M
10	Alfonso Rojas	6-55-2345	alfonso.rojas@dep.pa	67448709	Panamá Oeste	MIDA AHS	Administrador	M
11	Diana Madrid	8-933-1139	diana.madrid@dep.pa	60374953	P. Oeste	SDIAP	Productora	F
12	Margarita Caballero	8-882-212	margarita.caballero@dep.pa	60594178	P. Oeste	O.B.C	Técnica	M
13	José Isaac Hays	8-772-1976	isac@entreec.com	60754652	P. Oeste	IRAP	Investigador	M
14	Kristian Pérez	5-237-551	kristian.perez@dep.pa	66673	P.O.	SDIAP	Técnico	M
15	Jairo R. Carrasco	7-0030315043	jairo.carrasco@dep.pa	53852329	La Chorrera	CARR	Técnico	M
16	Isabelina Chávez	8-523-28	isabelina.chavez@dep.pa	604646152	P. Oeste	SDIAP	Investigadora	F
17	Español Barchita	7-702-225	espanol.barchita@dep.pa	604931103	P. Oeste	SDIAP	Investigadora	F
18	Dolores Rodríguez	8-706-1107	dolores.rodriguez@dep.pa	60151553	P. Oeste	SDIAP	Investigadora	F
19	Abraham Rodríguez	8-993-2352	abraham.rodriguez@dep.pa	6011-5153	Panamá Oeste	Tecnología	Investigador	M
20	Emilio Krivonoz		emilio.krivonoz@dep.pa	602002511	Latvia	IRAP	Técnico	M

M/14 F/6

Día 3: 17 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME AGROPECUARIA DE PANAMA

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 17/12/2025 Lugar: Centro La Cisterna Socarrador

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Abraham Rodríguez	8-993-2352	abraham.rodriguez@dep.pa	6011-5153	Panamá	SDIAP	Técnico	M
2	Alfonso Moreno	5-714-378	alfonso.moreno@dep.pa	6734707	Panamá Oeste	Mi Ambiente	Técnico	M
3	Ana Soreche	8-161-1484	ana.soreche@entreec.com	55023384	Panamá	UTP	Estudiante	F
4	Yenny Rojas	8-751-10	yenny.rojas@dep.pa	6076-221E	Panamá	UTP	Estudiante	M
5	Alexander Feyjuel	8-905-4	alexander.feyjuel@dep.pa	6094003	Panamá Oeste	UTP	Investigador	M
6	Masha Alvarez D.	8-327-373	masha.alvarez@dep.pa	6044-0811	Panamá Oeste	MIDA	Estudiante	F
7	Abraham González	8-210-607	abraham.gonzalez@dep.pa	6012-2637	P. Oeste	MIDA	Investigador	M
8	Evelina Rojas	8-525-114	evelina.rojas@dep.pa	60552526	P. Oeste	P. de Café	P. de Café	F
9	Alfonso Rojas	8-772-1100	alfonso.rojas@dep.pa	602572-5	P.O.	SDIAP	Técnico	F
10	Alfonso Moreno	5-714-378	alfonso.moreno@dep.pa	6734707	Panamá Oeste	Mi Ambiente	Técnico	M
11	Diana Madrid	8-933-1139	diana.madrid@dep.pa	60374953	P. Oeste	O.B.C	Técnica	F
12	Margarita Caballero	8-882-212	margarita.caballero@dep.pa	60594178	P. Oeste	O.B.C	Técnica	M
13	José Isaac Hays	8-772-1976	isac@entreec.com	60754652	P. Oeste	SDIAP	Investigador	M
14	Abraham González	8-210-607	abraham.gonzalez@dep.pa	6012-2637	P.O.	MIDA-BS	Investigador	M
15	Johana Hays	8-772-235	johana.hays@dep.pa	60530057	P.O.	ACP	Técnica	F
16	Isabelina Chávez	8-523-28	isabelina.chavez@dep.pa	604646152	P. Oeste	SDIAP	Investigadora	F
17	Español Barchita	7-702-225	espanol.barchita@dep.pa	604931103	P. Oeste	SDIAP	Investigadora	F
18	Dolores Rodríguez	8-706-1107	dolores.rodriguez@dep.pa	60151553	Latvia	IRAP	Investigadora	F
19	Abraham Rodríguez	8-993-2352	abraham.rodriguez@dep.pa	6011-5153	Latvia	IRAP	Investigador	M
20	Emilio Krivonoz		emilio.krivonoz@dep.pa	602002511	Latvia	IRAP	Técnico	M

M/14 F/6

Día 4: 18 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 18/12/2025 Lugar: IDIAP - Zona Zona de Campo

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
21	Johann Pacheco	8-993-2352	johnpacheco@...	6011-8183	Panamá	IDIAP	Asesor	M
22	Georgina Beltrán	7-702-229	georgina.beltran@...	69043763	Panamá	IDIAP	Asesor	M
23	Yolanda Hernández	8-894-1542	yhernandez@...	6658-883	Panamá	IDIAP	Asesor	F
24	Yolanda Hernández	8-327-373	yhernandez@...	6613-0574	Panamá	IDIAP	Asesor	F
25	Yolanda Hernández	8-237-1576	yhernandez@...	66742215	Panamá	IDIAP	Asesor	F
26	Yolanda Hernández	8-240-607	yhernandez@...	6456-2632	Panamá	IDIAP	Asesor	F
27	Yolanda Hernández	6-58-3345	yhernandez@...	63546309	Panamá	IDIAP	Asesor	F
28	Yolanda Hernández	8-523-258	yhernandez@...	60061172	Panamá	IDIAP	Asesor	F
29	Yolanda Hernández	8-887-212	yhernandez@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	F
30	Yolanda Hernández	8-714-778	yhernandez@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	F
31	Yolanda Hernández	5-703-2044	yhernandez@...	69432267	Panamá	IDIAP	Asesor	F
32	Yolanda Hernández	8-103-226	yhernandez@...	6033-3000	Panamá	IDIAP	Asesor	F
33	Yolanda Hernández	7-103-182	yhernandez@...	60550011	Panamá	IDIAP	Asesor	F
34	Yolanda Hernández	8-714-1576	yhernandez@...	66742215	Panamá	IDIAP	Asesor	F
35	Yolanda Hernández	70090215043	yhernandez@...	53882301	Panamá	IDIAP	Asesor	F
36	Yolanda Hernández	8-977-1155	yhernandez@...	68737663	Panamá	IDIAP	Asesor	F
37	Yolanda Hernández	8-976-170	yhernandez@...	66742215	Panamá	IDIAP	Asesor	F
38	Yolanda Hernández	---	yhernandez@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	F
39	Yolanda Hernández	---	yhernandez@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	F
40	Yolanda Hernández	---	yhernandez@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	F

Día 5: 19 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 19 Diciembre 2025 Lugar: IDIAP La Zona

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Felisa Mayra	8-209-7	felisa.mayra@...	67865520	Panamá	IDIAP	Asesor	F
2	Roberto Herrera	8-711-26	roberto.herrera@...	6851-1065	Panamá	IDIAP	Asesor	M
3	Rafael Vega	2-171-844	rafael.vega@...	65723074	Panamá	IDIAP	Asesor	M
4	David Rojas	8-713-2274	david.rojas@...	66444077	Panamá	IDIAP	Asesor	M
5	Rafael Vega	2-745-815	rafael.vega@...	63456210	Panamá	IDIAP	Asesor	M
6	Roberto Herrera	5-714-378	roberto.herrera@...	667134229	Panamá	IDIAP	Asesor	M
7	Roberto Herrera	8-1031-286	roberto.herrera@...	69952300	Panamá	IDIAP	Asesor	M
8	Roberto Herrera	8-327-373	roberto.herrera@...	6613-0574	Panamá	IDIAP	Asesor	M
9	Roberto Herrera	3-703-2044	roberto.herrera@...	69432267	Panamá	IDIAP	Asesor	M
10	Roberto Herrera	3-727-977	roberto.herrera@...	6022-9913	Panamá	IDIAP	Asesor	M
11	Roberto Herrera	8-887-212	roberto.herrera@...	60061172	Panamá	IDIAP	Asesor	M
12	Roberto Herrera	8-714-1576	roberto.herrera@...	66742215	Panamá	IDIAP	Asesor	M
13	Roberto Herrera	8-523-258	roberto.herrera@...	60061172	Panamá	IDIAP	Asesor	M
14	Roberto Herrera	8-456-709	roberto.herrera@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	M
15	Roberto Herrera	8-921-216	roberto.herrera@...	65801100	Panamá	IDIAP	Asesor	M
16	Roberto Herrera	8-814-1118	roberto.herrera@...	65305155	Panamá	IDIAP	Asesor	M
17	Roberto Herrera	8-913-844	roberto.herrera@...	60061172	Panamá	IDIAP	Asesor	M
18	Roberto Herrera	8-273-10	roberto.herrera@...	68-063104	Panamá	IDIAP	Asesor	M
19	Roberto Herrera	4-284-970	roberto.herrera@...	62110571	Panamá	IDIAP	Asesor	M
20	Roberto Herrera	8-705-7	roberto.herrera@...	---	Panamá	IDIAP	Asesor	M

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSH+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 19 diciembre 2025 Lugar: IDIAP La Zangaya

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
21	Maricela González	8-210-607		6766-2632	P.O.	MDO-R5	Investigadora	M
22	Alfonso Chiriqui	6-53-2345	alfo@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	MDO-R5	Estudiante	M
23	Wilson Madroal	8-938-126	comunicacion@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	MDO-R5	Estudiante	M
24	José Isaac Mejía	8-284-1376	comunicacion@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	MDO-R5	Estudiante	M
25	Miguel Ángel Rodríguez	8-252-895		6755-5353	P.O.	MDO-R5	Estudiante	M
26	Roberto Pérez	8-772-1300	RobertoPerez@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	MDO-R5	Estudiante	F
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								

Día 6: 22 de diciembre de 2025

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.1: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSH+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 22 diciembre 2025 Lugar: La Zangaya

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Katherine León	8-772-1300	kat@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Investigadora	F
2	Alicia Fonseca	8-735-10	alicia@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Estudiante	M
3	Ana Salvadora	8-961-1489	ana@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Estudiante	F
4	Alexander Espinoza	8-105-1458	alex@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Investigador	M
5	José Manuel Rodríguez	8-222-1596	jos@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Investigador	M
6	José Isaac Mejía	8-284-1376	comunicacion@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Estudiante	M
7	Dra. Rosalva	8-106-1402	rosalva@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Investigadora	F
8	Roberto Pérez	8-772-1300	RobertoPerez@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Estudiante	M
9	Roberto Pérez	8-772-1300	RobertoPerez@vinda.gov.pa	6766-2632	P.O.	IDIAP	Estudiante	F
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Estadística: F=3, M=0, N=3

Día 9: 07 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.2: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 7/1/2026 Lugar: C.G.S.A.

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Agustín Aguayo	8-327-373	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	M E
2	Abraham González	8-210-604	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	M E
3	Fred Alvarado	8-229-1423	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
4	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
5	Agustín Aguayo	8-511-448	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
6	Alexander Espinosa	8-284-1970	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	M E
7	José María	8-523-27	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
8	Verónica Chiriboga	8-523-27	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
9	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
10	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
11	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
12	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
13	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
14	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
15	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
16	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
17								
18								
19								
20								

Día 10: 08 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.2: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 8-1-2026 Lugar: IDIAP - Zaragoza

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Boris Sánchez	8-237-1596	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	IDIAP	Estadística	M E
2	Agustín Aguayo	8-327-373	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	M E
3	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
4	Fred Alvarado	8-229-1423	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
5	Polina E. Ben	8-791-1900	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	IDIAP	Estadística	F E
6	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
7	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
8	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
9	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
10	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
11	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
12	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
13	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
14	Eleonora Riquelme	8-525-114	caamayo@msd.com	6613-087	P.O.	M.C.D.A	Estadística	F E
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Día 11: 10 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.2: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 10/01/2026 Lugar: CGSA

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
21	Procis Sanchez	8-232-1594	hacienda@hacienda.com	6692815	Pan Este	IDIA	Asistente	M
22	Resurrección Castilla	8-959093	resurreccion.castilla@gmail.com	6692815	Pan Este	CPHR	Asistente	M
23	Irene Hahn	8-228-1538	ihahn@hahn.com	6692815	Pan Oeste	ANAGRA	Vice Pres. Asista	F
24	Agustín Amador	8-232-3373	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
25	Alfonso Amador	8-232-3300	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
26	Marta Amador	8-232-3300	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	F
27	Estelina Amador	8-232-114	estelina@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	F
28	Miguel Batista	8-974-2214	miguelbatista@gmail.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
29	María Amador	8-958-1418	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
30	Ana Carolina Amador	8-703-2054	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	F
31	Alfonso Amador	8-706-1109	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
32	Miguel Batista	8-974-2214	miguelbatista@gmail.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
33	Jose Eric Hahn	8-714-976	hahn@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
34	José Luis Amador	8-413-172	amador@hahn.com	6692815	P.O.	MDIA	Asistente	M
35								
36								
37								
38								
39								
40								

Día 12: 12 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.3: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 12/01/2026 Lugar: San Lorenzo

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO/OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Edgardo Hahn	8-1035-1302	edgardo@hahn.com	6324850	P. Oeste	MDIA	miembro	M
2	Abel Hahn	8-1035-2482	abel@hahn.com	6324850	P. Oeste	MDIA	miembro	M
3	Edgardo Hahn	8-232-1594	edgardo@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
4	Proceso Amador	8-777-1203	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
5	Proceso Amador	8-523-28	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
6	Proceso Amador	8-413-172	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
7	Proceso Amador	7-702-229	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
8	Proceso Amador	8-505013	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
9	Proceso Amador	8-714-1576	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
10	Proceso Amador	7-714-692	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	M
11	Proceso Amador	8-738-1690	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
12	Proceso Amador	8-362-434	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
13	Proceso Amador	8-526-474	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
14	Proceso Amador	8-706-1109	amador@hahn.com	6692815	P. Oeste	MDIA	miembro	F
15	Proceso Amador							
16								
17								
18								
19								
20								

Día 13: 13 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.3: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 13/1/2026 Lugar: CGSA - Trapichito

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Eleudra Rojas P	8-525-114	eleudra.p@cpa.gov.pa	60392576	P.O.	PR de Café	C.F.	F
2	Edgson Marín	8-1035-1307	Edgson.Marin@cpa.gov.pa	63245543	P.O.	PR de Café	Asesor	M
3	José Luis Mejía G.	8-74-1576	joseluismejia@cpa.gov.pa	6756553	P.O.	ISAP	Asesor	M
4	José A. Parilla V.D.	E-505613	parilla@cpa.gov.pa		P.O.	ISAP	Asesor	M
5	Rosendo Sánchez	8-237-1596	rosendo.sanchez@cpa.gov.pa	6622255	P.O.	ISAP	Asesor	M
6	Donise Valenzuela	8-927-1139	donisevalenzuela@cpa.gov.pa	6877-6151	P.O.	ISAP	Asesor	F
7	Parayssi Obregón	8-523-28	parayssiobregon@cpa.gov.pa	6606187	P.O.	ISAP	Asesor	F
8	Roberto Rodríguez	8-772-1720	robertorodriguez@cpa.gov.pa	6676211	P.O.	ISAP	Asesor	M
9	Angel Marín	9-700-2377	angelmarin@cpa.gov.pa		P.O.	ISAP	Asesor	M
10	Davila Rodríguez	8-706-1109	davilarodriguez@cpa.gov.pa	6909563	P.O.	ISAP	Asesor	F
11	Esquivel Batista	7-902-227	esquivelbatista@cpa.gov.pa	6909767	P.O.	ISAP	Asesor	M
12	Irene Marín	8-229-1433	irene.marin@cpa.gov.pa	6372-7440	P.O.	ANAGAN P.O.	Vice Presidenta	F
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Handwritten notes: Edgson Marín, Parayssi Obregón, Roberto Rodríguez, Ángel Marín, Davila Rodríguez, Esquivel Batista, Irene Marín.

Día 14: 14 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7.3: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 14/01/2026 Lugar: CGSA - Trapichito

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELEFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN-ORGANIZACIÓN	CARGO-OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	Juan Luis Obispo B	8-523-25	juanluisobispo@cpa.gov.pa	66306187	P.O.	ISAP	Asesor	F
2	Irene Marín	8-229-1433	irene.marin@cpa.gov.pa	6372-7440	P.O.	ANAGAN P.O.	Vice Presidenta	F
3	Donise Valenzuela	8-927-1139	donisevalenzuela@cpa.gov.pa	6877-6151	P.O.	ISAP	Asesor	F
4	Eleudra Rojas P	8-525-114	eleudra.p@cpa.gov.pa	60392576	P.O.	PR de Café	Asesor	F
5	Esquivel Batista	7-902-227	esquivelbatista@cpa.gov.pa	6909767	P.O.	ISAP	Asesor	M
6	Rosendo Sánchez	8-237-1596	rosendo.sanchez@cpa.gov.pa	6622255	P.O.	ISAP	Asesor	M
7	José A. Parilla V.D.	E-505613	parilla@cpa.gov.pa		P.O.	ISAP	Asesor	M
8	José Luis Mejía G.	8-74-1576	joseluismejia@cpa.gov.pa	6756553	P.O.	ISAP	Asesor	M
9	Edgson Marín	8-1035-1307	Edgson.Marin@cpa.gov.pa	63245543	P.O.	PR de Café	Asesor	M
10	Davila Rodríguez	8-706-1109	davilarodriguez@cpa.gov.pa	6909563	P.O.	ISAP	Asesor	F
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Handwritten notes: Juan Luis Obispo B, Irene Marín, Donise Valenzuela, Eleudra Rojas P, Esquivel Batista, Rosendo Sánchez, José A. Parilla V.D., José Luis Mejía G., Edgson Marín, Davila Rodríguez.

Día 15: 15 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 15-1-2026 Lugar: CGSA

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN ORGANIZACIÓN	CARGO OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	...	8-769-523	Secad...	622-142	Panamá Oeste	Red de...	...	M
2	...	8-204-7227	...	...	...	...	...	M
3	...	5-225-114	...	...	...	...	...	F
4	...	8-22-120	...	...	...	...	...	F
5	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
6	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
7	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
8	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
9	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
10	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
11	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
12	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
13	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
14	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
15	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
16	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
17	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
18	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
19	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F
20	...	8-22-1033	...	...	...	...	...	F

Día 16: 16 de enero de 2026

GOBIERNO NACIONAL CON PASO FIRME INSTITUTO DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Proyecto: Fortalecimiento de capacidades I+P+P (Innovación+Promoción+Pago) para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá

Actividad de Programación 7: Formación en evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en los polígonos demostrativos de conservación del suelo, el agua y bosques integrando técnicas isotópicas FRN+CSSI+Espectrometría gamma y conexas.

Fecha: 16/1/2026 Lugar: CGSA

N°	NOMBRE	CÉDULA/IDENTIFICACIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	N° TELÉFONO	PROVINCIA	INSTITUCIÓN ORGANIZACIÓN	CARGO OCUPACIÓN	GÉNERO (F-M)
1	...	8-525-114	...	...	...	...	...	F
2	...	7-702-227	...	...	...	...	...	M
3	...	8-714-1970	...	...	...	...	...	M
4	...	8-204-2224	...	...	...	...	...	M
5	...	8-216-53	...	...	...	...	...	F
6	...	8-525-28	...	...	...	...	...	F
7	...	8-1035-120	...	...	...	...	...	F
8	...	8-706-107	...	...	...	...	...	F
9	...	8-507-435	...	...	...	...	...	F
10	...	8-752-2	...	...	...	...	...	F
11	...	8-975-1473	...	...	...	...	...	F
12	...	8-973-1139	...	...	...	...	...	F
13	...	8-909-639	...	...	...	...	...	F
14	...	8-769-523	...	...	...	...	...	F
15	...	32075216	...	...	...	...	...	F
16	...	8-851-1814	...	...	...	...	...	M
17	...	8-771-1100	...	...	...	...	...	F
18	F
19	F
20	F

Biografías de los expositores



Jorge Antonio Carrazana investigador y especialista del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), institución científica cubana de referencia en protección radiológica, seguridad nuclear y aplicaciones de técnicas nucleares al medio ambiente. Su trayectoria profesional se ha desarrollado en el campo de la espectrometría gamma, vigilancia radiológica ambiental, metrología de radionúclidos y

aseguramiento de la calidad analítica en laboratorios especializados.

Ha participado en proyectos de investigación y cooperación técnica relacionados con la implementación y calibración de sistemas de espectrometría gamma con detectores de germanio hiperpuro (HPGe), así como en estudios orientados a la determinación de radionúclidos en matrices ambientales, monitoreo radiológico y aplicaciones isotópicas para la gestión sostenible de los recursos naturales. Su experiencia incluye además el desarrollo de protocolos analíticos, validación metrológica, procesamiento estadístico de datos radiométricos y fortalecimiento de capacidades técnicas en laboratorios de América Latina y el Caribe.

El Dr. Carrazana ha contribuido como conferencista, instructor y asesor técnico en programas de capacitación internacional vinculados al uso de técnicas nucleares para la evaluación de la degradación de suelos, erosión hídrica y caracterización ambiental. Asimismo, ha participado como autor y coautor de publicaciones científicas y técnicas relacionadas con protección radiológica, espectrometría gamma y control de calidad en mediciones radiométricas, contribuyendo al fortalecimiento de la cooperación científica regional en aplicaciones pacíficas de la energía nuclear.



Reinaldo Gil, investigador y especialista del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), institución científica de referencia en Cuba en materia de protección radiológica, seguridad nuclear y vigilancia ambiental. Su actividad profesional se ha desarrollado en el ámbito de las aplicaciones de técnicas nucleares e isotópicas orientadas a la evaluación ambiental, la hidrogeología y la gestión segura de desechos radiactivos.

A lo largo de su trayectoria ha participado en proyectos de investigación relacionados con la caracterización hidrogeológica e isotópica de cuencas kársticas, la evaluación de emplazamientos para repositorios de desechos radiactivos y el estudio de procesos ambientales asociados al uso pacífico de la energía nuclear. Asimismo, ha contribuido como autor y coautor en publicaciones científicas y técnicas vinculadas a la protección radiológica y la sostenibilidad ambiental.

Su labor investigativa ha favorecido el fortalecimiento de las capacidades científicas y técnicas en materia de seguridad radiológica y gestión ambiental en Cuba, contribuyendo al desarrollo de estrategias para la protección de los recursos naturales y la salud humana mediante el empleo de tecnologías nucleares aplicadas.



José Luis Peralta: investigador y especialista del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), institución científica dedicada al desarrollo de investigaciones y aplicaciones en protección radiológica, seguridad nuclear y monitoreo ambiental. Su labor científica se ha enfocado en el empleo de técnicas nucleares e isotópicas aplicadas al estudio de procesos ambientales, vigilancia radiológica y evaluación de la degradación de los recursos naturales.

A lo largo de su trayectoria profesional ha participado en proyectos de investigación y cooperación técnica internacional relacionados con la aplicación de radionúclidos ambientales, espectrometría gamma, hidrología isotópica y técnicas de fingerprinting sedimentario para la evaluación de erosión y redistribución de suelos en cuencas hidrográficas. Asimismo, ha contribuido al fortalecimiento de capacidades técnicas y analíticas en laboratorios especializados mediante el desarrollo de protocolos de muestreo, validación de métodos y aseguramiento de la calidad en mediciones radiométricas y ambientales.

El Dr. Peralta ha participado como conferencista, instructor y asesor técnico en programas de formación científica promovidos en América Latina y el Caribe, vinculados al uso pacífico de la energía nuclear y a la gestión sostenible de los recursos suelo y agua. Además, es autor y coautor de publicaciones científicas y documentos técnicos relacionados con protección radiológica, monitoreo ambiental y aplicaciones de técnicas nucleares e isotópicas en estudios de erosión, sedimentación y conservación de suelos.



Dmitry Krivonos. investigador y especialista asociado a Baltic Scientific Instruments, empresa internacional especializada en el desarrollo de instrumentación nuclear, sistemas de espectrometría gamma y soluciones tecnológicas para aplicaciones científicas, ambientales e industriales. Su trayectoria profesional se ha orientado al diseño, implementación y optimización de sistemas avanzados de detección radiométrica y espectrometría gamma de alta resolución.

Ha participado en proyectos de investigación y cooperación científica relacionados con el desarrollo de detectores de germanio hiperpuro (HPGe), sistemas digitales de adquisición y procesamiento espectral, así como en aplicaciones de monitoreo radiológico ambiental, seguridad nuclear y análisis de radionúclidos en diferentes matrices ambientales. Su experiencia incluye además la calibración y validación de sistemas espectrométricos, aseguramiento metrológico y desarrollo de software especializado para el procesamiento y análisis de espectros gamma.

El Dr. Krivonos ha colaborado en programas internacionales de capacitación técnica y transferencia tecnológica orientados al fortalecimiento de capacidades en laboratorios de espectrometría gamma y vigilancia radiológica. Asimismo, ha participado como conferencista y asesor técnico en eventos científicos vinculados a aplicaciones nucleares, protección radiológica y tecnologías de detección avanzada, contribuyendo al desarrollo y modernización de la instrumentación radiométrica utilizada en investigación ambiental, industria y seguridad radiológica.



aecid
Panamá