



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

**“ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EROSIÓN, A PARTIR DE LA
CUANTIFICACIÓN DEL Cs-137 EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: LILIANA JACQUELINE SHILQUIGUA VELATA

DIRECTOR: Dr. RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA MSc

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Liliana Jacqueline Shilquigua Velata

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, LILIANA JACQUELINE SHILQUIGUA VELATA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de agosto de 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Liliana Shilquigua Velata', enclosed within a large, loopy oval shape.

Liliana Jacqueline Shilquigua Velata

060483774-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS.
CARRERA DE FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Integrador, “**ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EROSIÓN, A PARTIR DE LA CUANTIFICACIÓN DEL Cs-137 EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, realizado por la señorita: **LILIANA JACQUELINE SHILQUIGUA VELATA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla MSc PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA  <small>El texto digitalizado por LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA. Firma digitalizada por LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA. Fecha: 24-08-2021 10:00:00 AM IP: 192.168.1.100</small>	24-08-2021
Dr. Richard Willians Pachacama Choca MSc DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	24-08-2021
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	24-08-2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios por siempre estar conmigo guiándome en mi camino.

A mis padres, Narciso Shilquigua y Emilia Velata quienes con su amor, trabajo y sacrificio me han apoyado en el trayecto de mi vida han sido mi mayor inspiración para seguir adelante.

También lo dedico a mi esposo quien me apoyado no solo económicamente sino también a través de sus consejos, de su amor y su paciencia me ayudado a concluir esta meta.

A mis hermanos/as por estar presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Liliana

AGRADECIMIENTO

Quiero primeramente agradecer a Dios por darme salud y sabiduría a lo largo de mi vida estudiantil en la ESPOCH. Luego agradecer desde el fondo de mi corazón a mis padres Narciso Shilquigua y Emilia Velata y a todos mis hermanos porque de una u otra manera me han apoyado dándome las cosas que necesite para seguir estudiando, de lo cual me siento muy agradecida. A mi esposo por ser el apoyo incondicional en mi vida, que, con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos. A mis amigas Joseth Pachacama y Mery Huaraca quienes me han acompañado en los buenos y malos momentos durante esta etapa estudiantil. También agradezco a todos los docentes de mi carrera por compartir sus conocimientos y habilidades las cuales me han ayudado para mi formación profesional.

Finalmente agradezco a mi director Dr. Richard Pachacama, a la Biof. Vilma Yanchapanta y a la técnica docente Biof. Gabriela Ureña quienes me ayudaron en mi trabajo de integración curricular, también a conseguir los detectores y el equipo de espectroscopia gamma, los cuales utilice en mi investigación.

Liliana

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. A nivel internacional.....	4
1.2. MARCO TEÓRICO.....	5
1.2.1. Erosión del suelo.....	5
1.2.1.1. Tipos de erosión.....	6
1.2.2. Principales enfoques para evaluar la erosión de los suelos en la Provincia de Chimborazo.....	7
1.2.3. Factores y efectos que influyen en las tasas de degradación del suelo.....	9
1.2.3.1. Factores.....	9
1.2.3.2. Efecto e impactos de la degradación del suelo.....	10
1.2.4. Técnicas del radionucleido Cs-137 para calcular en nivel de erosión.....	11
1.2.5. Métodos nucleares en la investigación de la erosión de los suelos.....	11
1.2.6. Confiabilidad de la cuantificación de la erosión del suelo empleando la técnica del Cs-137.....	12
1.2.7. Ventajas y limitaciones de la técnica del Cs-137.....	13
1.2.8. Análisis de datos de Cs-137: espectrometría GAMMA.....	15
1.2.8.1. Principios básicos de la espectrometría gamma.....	16
1.2.9. Fórmulas para la conversión del Cs-137.....	17
1.2.9.1. Modelos empíricos.....	18
1.2.9.2. Modelos teóricos.....	18
1.2.10. Factores que considerar en el estudio.....	22
1.2.10.1. Sitio de referencia.....	22
1.2.10.2. Sitio de estudio.....	22

1.2.10.3. <i>Altitud</i>	22
1.2.10.4. <i>Latitud</i>	23
1.2.10.5. <i>Topografía del suelo</i>	23

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	24
2.1. Diseño de muestro	25
2.1.1. <i>Enfoque geográfico</i>	25
2.1.2. <i>Selección del sitio de estudio y recopilación de datos</i>	25
2.1.2.1. <i>Datos geográficos</i>	26
2.1.3. <i>Estrategias de muestreo en el sitio de referencia</i>	30
2.1.4. <i>Recopilación de muestras del sitio de referencia</i>	31
2.1.5. <i>Recolección de muestras y herramientas de muestreo</i>	31
2.1.5.1. <i>Muestreo a granel</i>	31
2.1.5.2. <i>Muestreo incremental de profundidad</i>	32
2.1.5.3. <i>Muestreo básico</i>	32
2.1.6. <i>Análisis de datos del Cs-137 mediante espectrometría gamma</i>	33
2.1.6.2. <i>Preparación de muestras</i>	33
2.1.7. <i>Conversión de datos de Cs-137 a valores de pérdida de suelo</i>	34
2.1.8. <i>Técnicas de análisis de datos</i>	34
2.2. Metodología general utilizada en la investigación	35
2.2.5. <i>Condiciones naturales</i>	35
2.2.5.2. <i>Ubicación geográfica</i>	35
2.2.6. <i>Estrategia de muestreo</i>	36
2.2.7. <i>Número de muestras</i>	37
2.2.8. <i>Preparación de las muestras</i>	38
2.2.9. <i>Medición de las muestras y cálculos de la actividad del Cs-137</i>	38

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
3.1. Actividad y distribución del inventario del Cs-137 en el sitio de referencia	39
3.2. Actividad e inventario del Cs-137 en los sitios de estudio	41
3.3. Estimación de la redistribución del Cs-137 y la erosión	43

CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Evaluación de las pérdidas de suelos por erosión en Chimborazo.	8
Tabla 1-2:	Factores que intervienen en la erosión del suelo.	9
Tabla 1-3:	Efectos e impactos del desgaste del suelo.	10
Tabla 1-4:	Ventajas y limitación del uso del radionucleido Cs-137.	13
Tabla 2.1:	Profundidades para las diferentes zonas.	31
Tabla 2-2:	Número de muestras	37
Tabla 3-1:	Valores de las actividades y distribución del inventario del Cs-137 en el sitio de referencia de la zona de San Juan del cantón Guamote.	40
Tabla 3-2:	Actividades y distribución del inventario del Cs-137 en las zonas de siembra de papas del punto 1 y 2.	41
Tabla 3-3:	Porcentaje de distribución del Cs-137 en el sitio de estudio y estimación de la pérdida de suelo calculadas por el modelo proporcional en barrio San Juan.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Mapa de la erosión de la Provincia de Chimborazo.....	8
Figura 1-2:	Origen de los radionucleidos Cs-137, Pb-210 Be-7.....	12
Figura 1-3:	Equipo de espectrometría gamma.....	16
Figura 1-4:	Pico de Energía del Cs-137.....	17
Figura 2-1:	Mapa topográfico del Cantón Guamote.....	27
Figura 2-2:	Mapa topográfico de cantón Colta.....	28
Figura 2-3:	Mapa topográfico del cantón Alausí.....	28
Figura 2-4:	Mapa topográfico del cantón Riobamba.....	29
Figura 2-5:	Mapa topográfico de la provincia de Chimborazo.....	30
Figura 2-6:	Toma de muestra de suelo.....	33
Figura 2-7:	Sitio de estudio ubicado en el cantón Guamote.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1:	Actividad del Cs-137 en el sitio de referencia.....	40
Gráfico 3-2:	Actividad del Cs-137 en el sitio de estudio punto 1.....	41
Gráfico 3-3:	Actividad del Cs-137 en el sitio de estudio punto 2.....	42
Gráfico 3-5:	Perdida de suelo ($\text{ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DE REFERENCIA.
- ANEXO B:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
- ANEXO C:** MUESTRAS DEL SITIO DE ESTUDIO
- ANEXO D:** PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SER EVALUADAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA GAMMA.
- ANEXO E:** MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA GAMMA
- ANEXO F:** ESPECTROS Y VALORES DE LAS ACTIVIDADES DEL Cs-137, DE DOS PUNTOS DEL SITIO DE REFERENCIA
- ANEXO G:** ESPECTROS Y VALORES DE LAS ACTIVIDADES DEL Cs-137, DE DOS PUNTOS DEL SITIO DE ESTUDIO

RESUMEN

El proyecto integrador tuvo como objetivo principal elaborar una metodología para determinar el nivel de erosión, a partir de la cuantificación del Cs-137, en los suelos de los cantones más afectados por el desgaste de la tierra dentro de la provincia de Chimborazo. La metodología está basada en la utilización de radio trazadores que aventaja a los métodos tradicionales, esta técnica se ha aplicado en diversas regiones del mundo, sin embargo, no existe bibliografías sobre la aplicación de este método en Ecuador. Para la comprobación de la metodología planteada se tomó un ejemplo del cantón con mayor erosión, como es el cantón Guamote, en el barrio San Juan; de aquí se recolectaron muestras a diferentes profundidades (0-5cm, 5-10cm, 10-20cm y 20-30cm) y fueron analizadas en un equipo de espectrometría gamma. Se obtuvo como resultado que las actividades del Cs-137 del sitio de referencia, toman valores entre no detectables hasta un valor máximo de 9.39 ± 6.34 Bq/Kg e inventarios del Cs-137 varían entre valores no detectables, y un valor máximo de 95.93 ± 68.75 Bq/m² en el punto 1 y en el punto 2 no fue detectado actividad, mientras que en los sitios de estudio se obtuvo resultados de las actividades del Cs-137 de valores entre no detectables hasta 8.01 ± 5.02 Bq/Kg e inventarios de hasta 95.47 ± 63.72 Bq/m² en el punto 1 y hasta 3.36 ± 6.07 Bq/Kg e inventarios de hasta de 91.09 ± 16.44 Bq/m² en el punto 2. Se empleo el modelo proporcional obteniendo una pérdida de suelo con valores de 4.78 ton/ (ha año) del primer punto y del segundo punto de 10.54 ton/ (ha año). Partiendo de este análisis se recomienda seguir con un tratamiento para combatir con la erosión de los suelos en este sector, además continuar con el estudio de la erosión de los suelos de la provincia de Chimborazo.

Palabras clave: <PROBLEMA AMBIENTAL>, <METODOLOGÍA>, <EROSIÓN>, <INVENTARIO AMBIENTAL>, <ESPECTROMETRÍA GAMMA>, <ACTIVIDAD DEL CESIO 137>.



1860-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The main objective of the integrative project was to develop a methodology to determine the level of erosion, based on the quantification of Cs-137, in the soils of the cantons most affected by soil erosion in the province of Chimborazo. The methodology is based on the use of radio tracers, which is an advantage over traditional methods. This technique has been applied in various regions of the world; however, there are no bibliographies on the application of this method in Ecuador. To verify the proposed methodology, an example was taken from the canton of Guamote, in the San Juan neighbourhood, where samples were collected at different depths (0-5cm, 5-10cm, 10-20cm and 20-30cm) and analysed using gamma spectrometry equipment. It was obtained as a result that the Cs-137 activities of the reference site, take values between non-detectable to a maximum value of 9.39 ± 6.34 Bq/Kg and Cs-137 inventories vary between non-detectable values, and a maximum value of 95.93 ± 68.75 Bq/m² in point 1 and in point 2 no activity was detected, while in the study sites were obtained results of Cs-137 activities of values between non-detectable to 8.01 ± 5.02 Bq/Kg and inventories up to 95.47 ± 63.72 Bq/m² at point 1 and up to 3.36 ± 6.07 Bq/Kg 3.36 ± 6.07 Bq/Kg and inventories up to 91.09 ± 16.44 Bq/m² at point 2. The proportional model was used, obtaining a soil loss with values of 4.78 ton/(ha year) for the first point and 10.54 ton/(ha year) for the second point. Based on this analysis, it is recommended to continue with a treatment to combat soil erosion in this sector, as well as to continue with the study of soil erosion in the province of Chimborazo.

Keywords: <ENVIRONMENTAL PROBLEM>, <METHODOLOGY>, <EROSION>, <ENVIRONMENTAL INVENTORY>, <GAMMA SPECTROMETRY>, <ACTIVITY OF THE CESIUM 137>

INTRODUCCIÓN

La erosión se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales a nivel global. En la provincia de Chimborazo se ha identificado un acelerado proceso de erosión del suelo, debido a la mala repartición de la tierra, caracterizada por la presencia extendida del terreno como efecto de un inconveniente e inequitativo proceso de reforma agraria y colonización, que no mejoró la situación de los sectores rurales (Chimborazo, 2015, pp.37-38), es por eso que, los suelos han quedado despojados de su cobertura protectora y los ha transformado en semi desérticos.

Existen varios métodos tradicionales que han permitido calcular la erosión, pero no son tan satisfactorios, ya que les ha tomado mucho tiempo, sin embargo, gracias a varias investigaciones realizadas descubrieron que el Cs-137 está fuertemente unido a los coloides del suelo, la absorción por las plantas es insignificante. Cuando el Cs-137 sea absorbido por la vegetación, este es liberado después que está muere y se descompone. En las investigaciones de tierras no perturbadas por sembríos se puede observar que la mayoría del Cs-137 se encuentra en la capa super de la tierra y su contenido va disminuyendo con la profundidad del suelo (Jawerth y Gaspar, 2018,p.17).

Por otro lado, el Cs-137 no es intercambiable, no puede migrar, tampoco se libera en la solución del suelo, por tanto, no participa en los procesos químicos que se desarrollan en el suelo. Sin embargo, al existir una redistribución de la tierra puede alcanzar una profundidad de 10 a 20 cm debido a la bioturbación que realizan los animales excavadores existentes en el suelo.

La erosión en los suelos se ha estado analizando mediante mediciones de la concentración en el terreno del isótopo radioactivo Cs-137, se ha establecido un modelo de distribución de la concentración que tiene dicho isótopo en función del tiempo y de la erosión producida por el terreno tomando como referencia las concentraciones de Cs-137 de otro lugar que ha sufrido(SOTO et al., 2002, pp.73-81).

Por este motivo para evaluar y rediseñar el sistema de manejo del suelo, para su sostenibilidad, es fundamental determinar el nivel de erosión. La metodología basada en la utilización de radio trazadores para la calcular el nivel de erosión aventaja a los métodos tradicionales ya que es un método directo y dinámico (Hernández, Águila y Pérez, 2005, pp.19-20).

La sugerencia de usar Cs-137 como trazador para la evaluación de la erosión se originó en la década de 1960 cuando los científicos ambientales investigaron la contaminación de la tierra por radionucleidos liberados durante pruebas de armas nucleares (FAO/OIEA, 2017, p.1).

La división mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura juega una importante labor en el desarrollo del método Cs-137. Fue determinado en 1964 y representa una sociedad estratégica entre la FAO y la OIEA, movilizand los medios de las dos organizaciones para iniciar el estudio de la ciencia y la tecnología nuclear para favorecer al campesino y la elaboración segura de alimentos (FAO/OIEA, 2017, pp.1-2).

Esta técnica ha sido utilizada en diferentes regiones del mundo, sin embargo, no existe información sobre la aplicación de este método en nuestro país. En este trabajo se desarrollará una metodología para la cuantificación del Cs-137, para determinar el nivel de erosión en la provincia de Chimborazo.

El trabajo curricular tiene la siguiente estructura;

Capítulo I, el marco referencial describe los antecedentes a nivel internacional, planteamiento del problema, justificación y los objetivos de la investigación dentro del marco teórico se toma a consideración los siguientes temas: antecedentes, erosión del suelo, principales enfoques para evaluar la erosión de los suelos en la Provincia de Chimborazo, Técnicas del radionucleido Cs-137 para calcular en nivel de erosión, Métodos nucleares en la investigación de la erosión de los suelos, Técnicas del radionucleido Cs-137 para calcular en nivel de erosión. Métodos nucleares en la investigación de la erosión de los suelos, confiabilidad de la cuantificación de la erosión del suelo empleando la técnica del Cs-137, ventajas y limitaciones de la técnica del Cs-137, análisis de datos de Cs-137: espectrometría gamma.

Capítulo II, es el marco metodológico en el que se trata del tipo y el diseño de esta investigación, en el que se plantea detalladamente para futuras investigaciones, además, la metodología utilizada en este estudio, las condiciones naturales, ubicación de los sitios, métodos utilizados, estrategia de muestreo, número, preparación y las mediciones de las muestras y cálculos de la actividad del Cs-137.

Capítulo III, se desarrolla el marco de resultados y discusión de estos, donde se encuentra las actividades y distribución de los inventarios del Cs-137 en los sitios de referencia, y la actividad el Cs-137 en los sitios de estudio, estimación de la redistribución del Cs-137 y la erosión.

Finalmente, se formula las conclusiones y recomendaciones del trabajo de integración curricular.

Planteamiento del problema

La producción agraria es una acción económica necesaria en Ecuador, sin embargo, los suelos a nivel nacional están sufriendo una grave erosión que perturba la capa superficial considerable la más fértil (Valverde, 2001, p.17).

Durante los experimentos nucleares practicadas en 1950 y 1960, y más recientemente durante los accidentes de Chernóbil y Fukushima, se han liberado grandes cantidades del radionucleido Cs-137 a la atmósfera. Cuando Cs-137 entra en contacto con el suelo, permanece fijado a las partículas de la tierra, sin ser arrastrado ni absorbido por las plantas. Esto significa que la evolución del Cs-137 en el suelo es un buen indicador de la erosión (FAO/OIEA, 2017, pp.1-11).

Justificación

Franklin Valverde, técnico del Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP) manifiesta que las laderas son los sitios con mayor afectación por la erosión, por lo que la Sierra es la región que tiene más provincias con esta degradación como, por ejemplo, Chimborazo, Cotopaxi, Loja, Bolívar y Pichincha (Valverde, 201, p.17). A nivel mundial según la organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) cada año se pierde más de 75 mil millones de toneladas de tierra fértil debido a la erosión y que los métodos convencionales de monitoreo del suelo son intensivos en recursos y mano de obra, por lo que el programa conjunto de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura de la FAO y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ha estudiado estas técnicas alternativas para evaluar la erosión del suelo, mediante la cuantificación del Cs-137 con el equipo de espectrometría gamma (FAO/OIEA, 2017, pp.13-15).

La técnica del Cs-137 para medir el nivel de erosión supera a los métodos tradicionales, ya que es un procedimiento directo y dinámico, no requiere de análisis extensas y es capaz de calcular las pérdidas de suelo independientemente de los factores que la han originado y además nos permite conocer la redistribución de suelo en el campo (Sibello, 2013, p.8).

Esta técnica ha sido utilizada en diferentes países, se puede decir que la división mixta FAO/OIEA a través del subprograma de ordenación del agua, el suelo y nutrición se puede considerar la institución líder en el trabajo y desarrollo del método Cs-137, para la cultivos gestión sostenible de la tierra y la conservación del suelo (FAO/OIEA, 2017, pp.1-12).

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar una metodología para determinar el nivel de erosión, a partir de la cuantificación del Cs-137 en la provincia de Chimborazo.

Objetivos Específicos

- Revisar los parámetros y factores que influyen en la erosión, en la provincia de Chimborazo.
- Identificar las zonas de monitoreo y recolectar las muestras de erosión del suelo en la provincia de Chimborazo con ayuda de los sistemas de información geográfica.
- Analizar las muestras obtenidas y cuantificar el contenido del radionucleido Cs-137 a través de la espectrometría gamma.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

1.1.1. A nivel internacional

En el trabajo “*Utilización de técnicas nucleares para estimar la erosión hídrica en plantaciones de tabaco en cuba*” (2015) Reinaldo H. Gil, et, hablan sobre la erosión del suelo el mismo que ha provocado efectos negativos en estos cultivos y buscaron una estrategia en el manejo sostenible de tierras para obtener la cuantificación de las pérdidas de la erosión, utilizaron la técnica del Cs-137 en dos sectores de una granja con plantación de tabaco, situadas en la llanura suroccidental de la provincia de Pinar del Rio de estos lugares se tomaron muestras de suelos que incluyeron todo el Cs-137 del perfil. Para conseguir resultados óptimos prepararon las muestras de suelo de los niveles de Cs-137 en el laboratorio, aquí fueron medidas las densidades másicas de actividad del elemento por un sistema gamma espectro métrico “Silena”, utilizando un detector de germanio hiperpuro (tipo P) de 21% de eficiencia relativa.

Las muestras fueron expuestas 60 000s que permitió un límite de detección. Emplearon algunos modelos de conversión, sin embargo, el modelo de balance de masa II proporciono los mejores resultados, obteniendo una tasa de redistribución de suelos con valores de $-18,28$ a $8,15 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Las conclusiones de estudio dieron por resultado que “la aplicación de técnicas nucleares con el uso de Cs-137 permitió la determinación efectiva del estado de erosión del suelo en el sitio de estudio con plantación de tabaco, siendo el modelo de balance de masa II el que se dio los resultados más representativos”(Gil et al., 2015, pp.7-13).

Por otro lado, en un artículo publicado por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Y Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2017), estudian sobre el uso del Cs-137 para la evaluación de la erosión del suelo en el cual explican el uso de este radio trazador para la gestión sostenible de la tierra y la conservación del suelo. Este estudio es de gran importancia porque da a conocer mediante resultados experimentales y averiguaciones bibliográficas sobre uso del Cs-137 en la erosión del suelo el mismo que muestra una vasta distribución geográfica que está afectando a una gran parte de nuestro planeta, principalmente las tierras que han sido cultivada y los pastizales que se encuentran en áreas áridas y semiáridas. Explican los métodos más comunes para la medición de la erosión del suelo, así como: los métodos volumétricos con el que se encuentra el volumen de arroyos y cárcavas que son medidos por instrumentos simples o con escáneres, métodos

hidrológicos estos están controlados por algunos principios de movimiento (FAO/OIEA, 2017, pp.13-70).

Yader caballero (2018) del centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua, en su artículo “*Aplicación nuclear de Cs-137 para estimar el desgaste de los suelos en la subcuenca del Rio Ochomogo*”, donde se realizó un estudio que la degradación de los suelos es afectado por la agricultura y la falta de métodos para el uso de las tierras, agua y flora de épocas pasadas en la subcuenca del Rio Ochomogo, por lo que hacen uso del Cs-137 con lo que pretenden mejorar la técnica en uso de técnicas isotópicas en Nicaragua, analizando que la técnica nuclear si funcionó y así se conoció los patrones de distribución del Cs-137 en los perfiles del suelo, para finalmente demostrar que el uso del Cs-137 realmente es factible para la determinación de erosión del suelo (Caballero, 2018, pp.38-50).

En el artículo “*The application of Cs-137 and Pb-210 methods in soil erosion research of Titel loess plateau Vojvodina, Northern Serbia*” (2020) Kristina S. Kalkan et. Hablan sobre como emplearon el método del Cs-137 y el uso del Pb-210 como un trazador alternativo para explorar la tasa de erosión pluvial del suelo en un borde que aún no se ha cultivado, por tanto, esta investigación confirmó que el uso de estos dos radionucleidos es absolutamente aplicable en el estudio de la erosión del suelo en barrancos, corroborando que el Cs-137 es ventajoso para calcular los niveles de erosión (Kalkan et al., 2020, pp.11-22).

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. Erosión del suelo

Existen diferentes conceptos de erosión del suelo como:

Vásquez y Tapia destacan la siguiente conceptualización la erosión como un fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas del suelo por acción del agua, viento, o de la actividad biológica. Puede ser natural (normal o geológica) cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos favoreciendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre; también es uno de los problemas más graves que tiene que desafiar cualquier labor enfocada a alcanzar el desarrollo agropecuario, además de ser la causa de bajas ganancias de los cultivos, reduce la vida útil de los trabajos de regulación por la cantidad de depósitos que lleva el agua que se acumula colmatando el lecho de los ríos y asistiendo, en varios casos las inundaciones, problemas de drenaje y salinización de los suelos (Condori Apaza, 2018, p.6). También García (citado de Condori Apaza 2018) define el fenómeno de la erosión como un proceso de desgaste, transporte y deposición de las partículas de la masa de suelo. El impacto de las gotas de lluvia y el deslizamiento incorporan los agentes externos que trabajan para rendir la unión de las partículas de la masa de tierra e inducir su transporte (Condori Apaza, 2018, p.7).

Por otro lado, Caballero (2018) explica que la erosión es la principal causa en la mala gestión de la tierra, y esto se debe al incremento de la agricultura y la falta de técnicas para el uso y un adecuado manejo de los suelo, agua y vegetación esto generado graves problemas ambientales y sociales, así como la deforestación, también existe la reducción de la cobertura vegetal, la pérdida de suelo y biodiversidad, asimismo hay alteraciones en características físicas y químicas del suelo y agua.

Morgan (citado en Ticllasuca 2019) menciona que la erosión del suelo se da en un proceso con dos fases, el desprendimiento de partículas individuales de la aglomeración del suelo, también su transporte por los agentes erosivos, como el viento y las corrientes de agua. Cuando no hay suficiente energía para transportar las partículas en estos agentes se produce una tercera fase: su deposición (Alvarez Ticllasuca, 2018, p.39).

Por último, según la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) (citado en Caballero 2018), las principales causas de la erosión son; la deforestación (43%), el sobrepastoreo (29%) y el mal manejo de los suelos que ha aumentado en los últimos (24%) (Caballero, 2018, p.39).

1.2.1.1. Tipos de erosión

Según Fitz Patrick (2011) citado en (Condori Apaza, 2018, p.7), Los tipos de erosión que se conocen son:

a) Erosión por el viento

En este tipo de erosión, el movimiento del viento produce una revuelta sobre las partículas de la tierra, colocándolas, trasladándolas y desprendiéndolas en otro lugar.

b) Erosión por gotas de lluvia

Las gotas de agua producen un impacto en el suelo desnudo provocando un movimiento de las partículas a distancias realmente sorprendentes. Es decir, la lluvia al caer sobre un terreno que está sin vegetación mueve el suelo que no está protegido durante eventos fuertes, las capas de agua enturbada por material suspendido, que corren a través de estas zonas desnudas.

c) Erosión laminar

Las corrientes de agua pueden provocar el desprendimiento de las capas más exteriores de tierra en un método de erosión por capas que se profundizan. Por tanto, la erosión laminar es el efecto compuesto por la acción del golpe que desprende las partículas del suelo y la escorrentía.

d) Erosión en surcos

La erosión por surcos es la reunión del flujo en pequeños canales o pliegues, este hace que se penetren estos pequeños canales estableciendo una serie de surcos generalmente semi-paralelos.

e) Erosión por afloramiento de agua

El agua subterránea al surgir al área puede despegar las partículas de suelos subsuperficial formando hoyos o covachas.

f) Erosión interna

El flujo de agua puede transportar partículas creando subsuelos internos dentro de la tierra.

g) Erosión en cárcavas

En la tesis redactada por (López, 2019, p.16) informa que, la erosión en cárcavas es un proceso de desgaste de suelo que va afectando a muchas regiones. Además, que estos procesos causan importantes impactos in -situ como ex -situ. Una vez se inicie este proceso es muy difícil de suspender el proceso erosivo.

h) Erosión en cauces de agua (erosión lateral y profundización)

La fuerza atractiva del agua en las corrientes y ríos produce dinámica general de la corriente y aumento lateral de los arroyos profundizándolos.

i) Erosión por oleaje

Las fuerzas de las olas oceánicas que golpean contra las rocas van desprendiendo fragmentos causando así erosión del suelo.

j) Erosión en masa (deslizamientos)

La erosión en masa se relaciona a movimientos de masas el mismo que es un proceso geomorfológico por el cual el suelo se revuelven cuesta abajo dependiendo de la inclinación del terreno esto sucede por la fuerza de gravedad.

1.2.2. Principales enfoques para evaluar la erosión de los suelos en la Provincia de Chimborazo

En la provincia de Chimborazo para deducir la erosión de los suelos se han utilizado diferentes métodos que han permitido identificar pérdidas actuales y potenciales no tolerables, sobre los cuales han permitido identificar las pérdidas actuales. Vimos (2017) menciona que desde hace varios años se ha venido desarrollando diferentes metodologías, así como el método geográfico-comparativo, tomando como base mapas desarrollados en instituciones de suelos (Vimos, 2017, pp.20-30). En la figura 1 se puede observar el grado de desgaste del suelo la provincia de Chimborazo, el mismo que ha sido afectado por varios tipos de erosión. Mientras que en la tabla 1-1 podemos ver que el suelo de la provincia está más afectado por procesos indiferenciados con un 67,87% del territorio, seguido por el escurrimiento concentrando que ocupa el 14.27% del territorio de la provincia de Chimborazo.

Tabla 1-1: Evaluación de las pérdidas de suelos por erosión en Chimborazo.

EROSIÓN	ÁREA	%
	Has	Área total
Erosión Hídrica	27.567	4,51
Escurrecimiento Concentrado	87.270	14,27
Escurrecimiento difuso y concentrado	44.863	7,34
Escurrecimiento muy concentrado	17.303	2,83
Erosión eólica	19.577	3,20
Procesos Indiferenciados	415.012	67,86
Total	611.592	100,00

Fuente: Diferentes tipos de erosión en la Provincia de Chimborazo
Realizado por: (Tierra.tutiempo.net, 2021).



Figura 1-1: Mapa de la erosión de la Provincia de Chimborazo.
Realizado por: (Tierra.tutiempo.net, 2021).

Este es el último mapa de erosión y potencial elaborados en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Chimborazo, en los suelos de la provincia que gracias a la cartografía temática de

factores que han evaluado la erosión de los suelos aprovechando los sistemas de información geográfica.

Ha existido la necesidad objetiva de obtener datos confiables de la extensión y sobre las tasas actuales de erosión no solo en nuestra provincia sino también en el planeta.

Para lograr esto, es necesario primero obtener una información confiable de las pérdidas de suelo y la técnica para la cuantificación de la erosión empleando el Cs-137 como radiotrazador puede resultar una de las opciones ventajosas (Sibello, 2013, pp.18-25).

1.2.3. Factores y efectos que influyen en las tasas de degradación del suelo

En la provincia de Chimborazo existe la presencia de factores y efectos que hay producido la erosión del suelo en los diferentes sectores que conformar esta provincia. Por ende, es necesario conocer y estudiar los factores y efectos existentes.

1.2.3.1. Factores

Existen tres clasificaciones de los principales factores que influyen en la erosión del suelo.

Tabla 1-2: Factores que intervienen en la erosión del suelo.

Factores de energéticos	Factores de resistencia	Factores de protección
Estos factores están relacionados con algunos agentes como: la lluvia, la escorrentía, el viento, el hielo, la gravedad y además las herramientas mecánicas que causan erosión. Sin embargo, cada uno de estos factores afecta a distintos tipos de erosión así; En la erosión hídrica la escorrentía superficial es la que produce movimientos en la vegetación. Por otra parte, la velocidad del viento y la	Este está relacionado con la erosionabilidad del suelo que depende directamente de las propiedades físico-mecánicas del suelo e indirectamente de otras propiedades	Dentro de estos factores la remoción de la vegetación por la deforestación y sobrepastoreo provoca mayor desgaste del suelo. Existen agricultores de escasos recursos económicos que trabajan en la agricultura y al no tener suficientes recursos económicos y técnicos para una adecuada gestión y conservación del suelo no pueden invertir para mejorar la eficacia del suelo. Es por ello que se debe tomar muy en cuenta los factores socioeconómicos y

<p>evaporación han sido los principales factores que intervienen en la erosión eólica. Finalmente, los procesos de erosión mecánica es la que incluye la labranza, la nivelación de la tierra y la cosecha de raíces y tubérculos que mediante una maquina causa movimiento y perdidas de suelo.</p>		<p>políticos que estimulan el desgaste del suelo.</p>
--	--	---

Fuente: Factores que intervienen en el desgaste del suelo (FAO/OIEA, 2014).

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

1.2.3.2. Efecto e impactos de la degradación del suelo

Cuando la erosión del suelo es acelerada perjudica a la productividad del suelo los impactos de la erosión se pueden dar de tipo:

Tabla 1-3: Efectos e impactos del desgaste del suelo.

Efectos in situ.	Efectos fuera del sitio.
<p>El desgaste del suelo perturba a los agricultores ya que existe una pérdida de nutrientes y materia orgánica porque hay una pérdida de fertilidad y productividad de los suelos reduciendo así el rendimiento de los cultivos. Esto se puede producir por dos procesos principales; en primer lugar, la compactación y el drenaje interno deficiente que es un problema al reducir la capacidad de infiltración del suelo y mejorar la escorrentía superficial. En segundo lugar, los arroyos y los barrancos extensos arrastran a una reducción de espacios cultivables.</p>	<p>Los sedimentos y los contaminantes potenciales agrupados principalmente nutrientes, plaguicidas y metabolitos de plaguicidas, estos pueden llegar al recorrido del agua y contribuir con la eutrofización y contaminación de los recursos hídricos que perjudican a los ecosistemas y los humedales. Asimismo, puede aumentar o crear problemas de sedimentación y otros impactos fuera del sitio, como corrientes de lodo e inundaciones que dañan la infraestructura de las viviendas y perjudica a los humanos.</p>

Fuente: Efectos e impactos de la erosión del suelo (FAO/OIEA, 2014).

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021

1.2.4. Técnicas del radionucleido Cs-137 para calcular en nivel de erosión

Según una publicación de la IAEA (2018) los radionucleidos procedentes de precipitación radiativa como el Cs-137, está presente en la atmosfera, es arrastrado por la lluvia y depositado en las capas superficiales del suelo. Este radionucleido se une a las partículas del suelo, concentrándose principalmente en la capa superior fuertemente fijados a las partículas, estos no son absorbidos por las plantas en los procesos de erosión y deposición, estas se desplazan junto a las partículas del suelo, por lo que pueden servir para rastrear la distribución del suelo en zonas muy amplias y durante largos periodos de tiempo. Al erosionarse la capa superior, la concentración de estos radionucleidos procedentes de precipitación radiativa disminuye, y estos procesos se los puede seguir y cuantificar por espectrometría de rayos gamma. Estos estudios de las concentraciones del suelo ayudan a detectar y evaluar la eficiencia de las medidas de conservación del suelo destinadas a controlar la erosión (Nam, 2018, pp.14-17).

El comportamiento del Cs-137 en el suelo. a lo largo de su periodo de semidesintegración (30,2 años), y fácil por detección de espectrometría gamma, gracias a su emisión gamma característica de 662KeV, el cual le otorga características excelentes a este radionucleido como radiotrazados de los movimientos del suelo (FAO/OIEA, 2017, p.9).

1.2.5. Métodos nucleares en la investigación de la erosión de los suelos

En una publicación realizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016 da a conocer que los radionucleidos procedentes de precipitaciones radiactivas, como el Cs-137, Pb-210 y el Be-7, se han utilizado para la evaluación de la erosión del suelo y los procesos de sedimentación a mediano y corto plazo en algunas ocasiones se complementa, o se sustituye las técnicas tradicionales y más lentas. Estos radionucleidos se establecen fuertemente a partículas del suelo y no son absorbidos por la vegetación. Cuando existe procesos de erosión y deposición, estos radionucleidos se mueven pegados a las partículas de la tierra y es así como se los puede utilizar para buscar la distribución del suelo en grandes extensiones y durante periodos de tiempo prolongados (FAO/OIEA, 2014, pp.1-2).

En la figura 1-2 se observa una representación gráfica del origen de los radionucleidos de la lluvia radioactiva (Cs-137, Pb-210 y Be-7) los cuales son utilizados como trazadores de suelos en estudios de erosión y sedimentación.

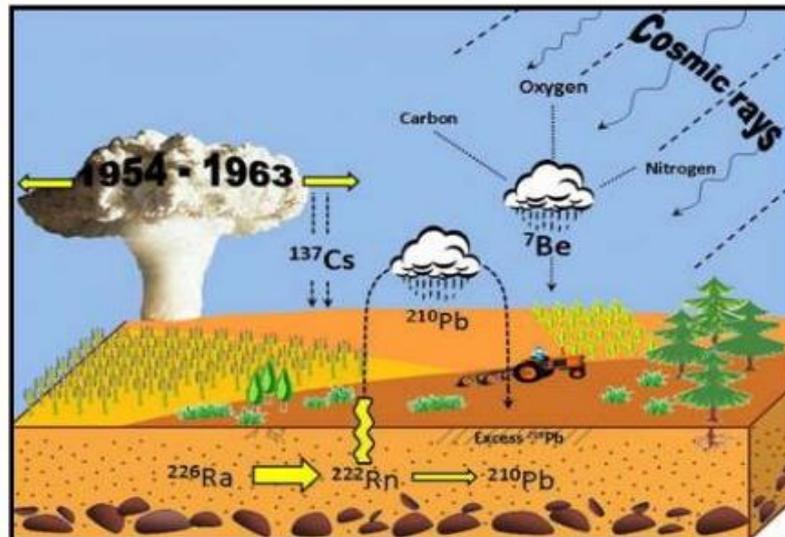


Figura 1-2: Origen de los radionucleidos Cs-137, Pb-210 Be-7.
Realizado por: (FAO/OIEA, 2014).

También existe la cuantificación de isotopos estables como el carbono 13, que se puede encontrar en compuestos orgánicos fijados en el suelo, también en los ácidos grasos. Estos ácidos grasos se hallan en las raíces de las plantas, desechos de animales y otros sedimentos que se localizan en el medio ambiente, que se descomponen y pasan a constituir parte de la materia orgánica de la tierra. “La composición del carbono 13 es única en cada compuesto, el análisis de este isotopo revele el origen del suelo erosionado”(Gaspar, 2015, pp.14-15), este método ayuda a determinar el origen del suelo erosionado y las zonas propensas a la degradación, es lo que favorece la preservación del suelo donde este sea más sensible el desgaste del suelo.

1.2.6. Confiabilidad de la cuantificación de la erosión del suelo empleando la técnica del Cs-137

Las investigaciones realizadas han dado a conocer que las tasas de erosión de suelos y sedimentación obtenidas mediante la técnica del Cs-137 han sido validas con estimaciones independientes suministradas a parcelas de erosión.

Así mismo los valores de las tasas de redistribución de suelo reunido por los diferentes estudiosos realizados en los cuales han usado protocolos estandarizados para la aplicación del método del Cs-137 han revisado información directamente comparable y representativa de las tasas de erosión en diferentes lugares del planeta. Y los países que representan son Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Chile, China, Grecia, Federación Rusa, Eslovaquia, Reino Unido y la USA, aunque en la actualidad se han sumado más países que han utilizado esta técnica del Cs-137 para el estudio de la erosión del suelo, dentro de ellos esta; Italia, Cuba, África, Nicaragua, México, España y con el pasar de los años habrá más países que empiecen a utilizar este método.

En la revista nucleus da a conocer que el uso del Cs-137 es una técnica aplicable para la cuantificación de la erosión que se basa estableciendo los niveles de Cs-137 en el lugar de estudio y en un sitio lo más cercano posible a este lugar, que no haya sido perturbado, llamado sitio de referencia (Hernández, Águila y Pérez, 2005, pp.19-21).

La redistribución del Cs-137 entre y dentro de los elementos del medio ambiente brinda información sobre las tasas de erosión y la repartición del suelo.

1.2.7. Ventajas y limitaciones de la técnica del Cs-137

Para encontrar de manera eficiente las pérdidas de suelo por erosión y también poder reducir sus impactos ambientales es necesario calcular y mitigar en áreas con alta erosión y transferencia de sedimentos. Para que el estudio de la erosión sea eficaz se debe conocer las tasas y los procesos de erosión del suelo y sus principales factores que han atribuido en el área de estudio.

En un artículo realizado por la Joint FAO/IAEA, Programa división de técnicas nucleares en alimentos y agrícolas, 2014 (FAO/OIEA, 2014, pp.33-34) da a conocer las siguientes ventajas y limitaciones al utilizar la técnica del Cs-137 para evaluar la erosión y la sedimentación.

Tabla 1-4: Ventajas y limitación del uso del radionucleido Cs-137.

VENTAJAS	LIMITACIONES
Para estimar el nivel de erosión hay que realizarlas a partir de muestras recolectadas en el momento actual.	En algunos sitios los inventarios del Cs-137 son bajos, principalmente en el hemisferio sur, y los análisis de gamma requerirán mayor tiempo para calcular y obtener una precisión en las mediciones y estas sean aceptables.
La técnica del Cs-137 proporciona valores de las tasas de redistribuciones del suelo a corto plazo (50 años), es por esto que, integra el uso de la tierra y la variabilidad climática, incluido otros eventos.	El accidente de Chernóbil ha permitido que la lluvia radioactiva llegue algunas áreas como entradas adicionales. Estas entradas se las debe tener en cuenta cuando se utilice el método del Cs-137 para calcular las tasas redistribución del suelo. para esto los modelos de conversión utilizados deben ser rectificados para tener en cuenta tanto la lluvia radioactiva de bombas como la lluvia radioactiva adicional de Chernóbil entrada en 1986.

<p>Este método da información tanto de la erosión como la deposición, es por ello que podemos calcular la erosión neta y la salida de sedimentos.</p>	<p>Este método es adecuado principalmente para evaluar las tasas de erosión a corto plazo (es decir unos 50 años) y no proporciona fácilmente la información precisa para documentar los cambios a corto plazo sobre las tasas de erosión en el uso y prácticas de manejo en las tierras.</p>
<p>Con la técnica del Cs-137 la evaluación de la distribución del suelo asocia todos los procesos que interfieren movimientos de partículas del suelo (agua, viento y erosión por sembrado).</p>	<p>El enfoque de este estudio es la comparación de inventarios medidos con un valor de referencia, que representa con el inventario asociado con un punto que no experimenta degradación. En vista que este proceso es fundamental puede causar problemas en las regiones montañosas, donde las lluvias pueden caracterizarse por una gran variabilidad espacial, en áreas con superficies pedregosas, en sitios de cultivo intenso donde no exista áreas no perturbadas, en áreas donde la nieve representa una proporción sustancial de la precipitación anual y donde se puede dar una deriva significativa, y en áreas áridas y semiáridas con vegetación pobre, donde la redistribución del suelo por procesos eólicos puede causar acumulación de sedimento adicional del Cs-137 en el sitio de referencia.</p>
<p>Utilizar este método permite calcular el nivel de erosión y deposición de la tierra asociada a la erosión laminar, que es difícil de evaluar utilizando otros enfoques tradicionales a nivel de campo, esto es debido a las profundidades definidas de separación y acumulación de tierra que se encuentran mezcladas.</p>	<p>Es necesario tener en cuenta la representatividad y la variabilidad de la muestra. Se recolectan varias muestras múltiples o replicadas para establecer el valor del inventario de referencia.</p>
<p>Los puntos de muestreo se aprecian dentro de ese panorama de manera individual, es por eso que se puede obtener una información</p>	

distribuida espacialmente sobre tasas y patrones de distribución del suelo que se ha generado.	
La técnica del Cs-137 no requiere programas de monitoreo a largo plazo y mucho menos que sea costosos y esforzados. Los resultados se los puede obtener a amplia vista del sitio para tomar muestras del suelo.	
El método del Cs-137 también se puede utilizar para un seguimiento continuo de la redistribución del suelo a través de la comparación de los inventarios medidos de los puntos específicos dentro del sitio de estudio que se las puede realizar mediante periodos de algunos años. Esto se puede analizar ya que se realiza una comparación entre el sitio de estudio con el inventario de referencia local.	
El muestreo es un proceso simple y rentable y se lo puede completar en poco tiempo, esto depende de la densidad del muestreo y el tamaño del área que se va a investigar.	
La alteración del sitio durante el muestreo es relativamente corta y no se interfiere con la siembra. No hay perturbaciones como otros métodos, este se puede muestrear campos y el perfil completo de la pendiente.	

Fuente: ventajas y limitaciones del uso del radionucleido Cs-137 (FAO/OIEA, 2017).

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

1.2.8. Análisis de datos de Cs-137: espectrometría GAMMA

La radiación gamma emitida por los radionucleidos ambientales que se encuentran en el suelo generalmente se mide con detectores gamma de laboratorio en muestras de suelo que se recogen en el campo y transportan al laboratorio.



Figura 1-3: Equipo de espectrometría gamma.
Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

1.2.8.1. Principios básicos de la espectrometría gamma

La espectrometría gamma se basa en la elaboración del espectro de energías de las emisiones gamma presentadas por los radionucleidos (Sanz y Fillol, 2017, p.9).

De acuerdo con la investigación realizada por la división FAO/IAEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura el Cs-137 es uno de los radionucleidos más fáciles de analizar por espectrometría gamma. Su medición se ve facilitada por su pico de energía relativamente alta (662,66 Kev) ya que no interfiere con otros radionucleidos existentes. Por lo tanto, el Cs-137 se pueden medir con detectores gamma estándar, que no son sensibles a bajas energías. Como tal medición no es destructiva, las muestras de suelo analizadas por espectrometría gamma se pueden utilizar posteriormente para realizar otros análisis, como análisis básicos del suelo, por ejemplo, la textura del suelo, el pH, el contenido de materia orgánica. El principio de detección de rayos gamma se basa en la interacción de los rayos gamma con el cristal de germanio, que emite señales eléctricas cuando se expone a los rayos gamma. Estas señales son características de radionucleidos particulares y son reconocidas por el analizador y se presentan como picos en la pantalla de la computadora conectada al analizador. Cada radionúclido puede tener uno o varios picos característicos a cierto nivel energético. El Cs-137 se caracteriza por un pico bien

identificable a una energía de 662 keV. Los datos espectrales recopilados se convierten en actividad de radiación gamma expresada en $Bq Kg^{-1}$. La actividad de radionúclidos por unidad de peso (actividad de masa) se convierte en inventario (actividad por unidad de área) expresada en $Bq m^{-2}$ (FAO/OIEA, 2017, p.28). En la figura 3-2 se observa un ejemplo del Cs-137, con su pico de energía a 662KeV en un espectro gamma de la muestra de suelo.

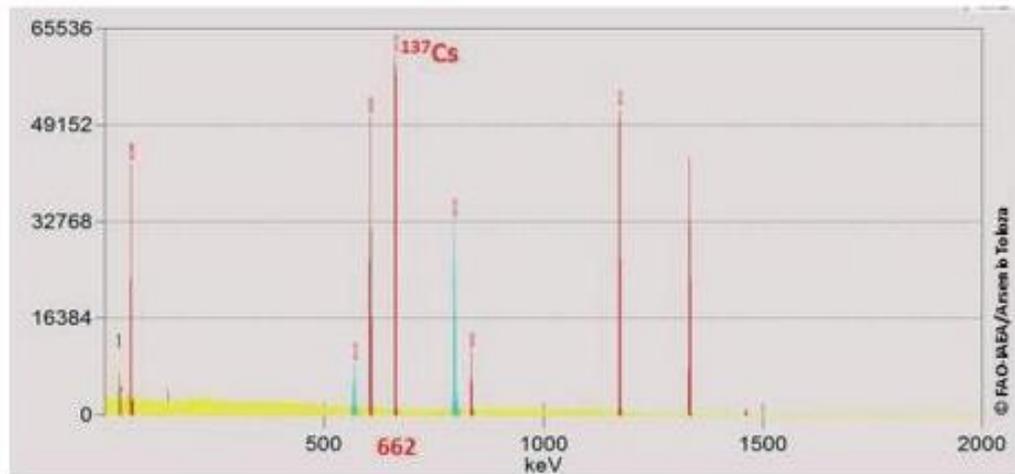


Figura 1-4: Pico de Energía del Cs-137.
Realizado por: (FAO/OIEA, 2017).

El equipo analítico espectrométrico consta de un detector semiconductor de germanio de alta pureza (detector HPGe) equipado con amplificador y conectado a un analizador multicanal (MCA) y una computadora con software para la evaluación de datos. Los detectores funcionan a temperaturas muy bajas y necesitan un enfriamiento eficiente. Por lo general, se usa nitrógeno líquido en estos procesos, pero el sistema de enfriamiento eléctrico también es una opción viable. También necesitan protección con plomo porque la radiación de las muestras ambientales es muy baja y es necesario eliminar la radiación de fondo en el laboratorio (FAO/OIEA, 2017, p.29).

1.2.9. Fórmulas para la conversión del Cs-137

Para calcular el nivel de erosión y deposición a partir de la cuantificación del Cs-137. En el artículo escrito por la (FAO/OIEA, 2017, pp.126-130) menciona que la cantidad de suelo erosionado es directamente proporcional a la distribución de la actividad del Cs-137, puesto que se realizó varios estudios experimentales en los que probaron y validaron varios enfoques diferentes. Y están separados en dos grupos modelos empíricos y modelos teóricos.

1.2.9.1. Modelos empíricos

Se basan en la calibración de las actividades del Cs-137 con tasas de erosión medido en parcelas experimentales. Las ecuaciones que están dentro de este modelo son sencillos, sin embargo, después de algunos estudios realizados dan a conocer que en la mayoría de los estudios de erosión que son por tiempos prolongados pudieran no estar disponibles para el lugar de estudio y por otro lado las ecuaciones empíricas obtenidas son para cada lugar específico. Las ecuaciones derivadas son específicas del lugar y tiempo, estas expresan la correlación que existe entre la reducción del inventario total de Cs-137 X (%) y la pérdida del suelo Y ($ton\ ha^{-1} años^{-1}$) y tienen la forma de ecuación exponencial como:

$y = axb$ o $y = ax$ con a y b como constantes.

Así obtuvieron la ecuación de la forma:

$$y = 0,88x^{1,18} \quad (1)$$

Esta ecuación se desarrolló con valores de estudios de la década de los 60 y los primeros años de la década de los 70, por lo que no se recomienda utilizar para condiciones actuales porque existen muchos cambios en el medio ambiente y la agricultura, por lo que podría haber resultados erróneos.

1.2.9.2. Modelos teóricos

- Modelos empleados en la cuantificación de la erosión en suelos cultivados.

Los modelos empíricos fueron superados por los modelos teóricos los cuales han podido expresar las condiciones de las tierras no perturbadas y cultivadas.

Para estos modelos tomaremos como referencia (FAO/OIEA, 2017, p.31) y (Kalkan et al., 2020, p.16), y algunos artículos en los que han utilizado estas ecuaciones para los estudios de la erosión suelo.

a) Modelo proporcional.

Este es el tipo de modelo más utilizado para evaluar los valores de la erosión de los suelos a partir de la cuantificación del Cs-137.

Dentro de este modelo proporcional se necesita de la siguiente ecuación, que es necesaria para encontrar los inventarios de cada profundidad tanto para el sitio de referencia como para el de estudio según menciona (Caballero, 2018, p. 42).

$$In = \frac{AESM * CPF}{ASH} \quad (2)$$

Donde:

In representa el inventario de Cs-137 de la muestra ($Bq\ m^{-2}$), I_{ref} representa el inventario del Cs-137 del sitio de referencia de la muestra ($Bq\ m^{-2}$), $AESM$ es la actividad específica de la muestra entregada para el análisis espectrométrico ($Bq\ Kg^{-1}$) y CPF es la masa corregida de la fracción fina de la muestra (kg), la cual se calcula según la ecuación.

$$CPF = PT - PG \quad (2.1)$$

Donde:

PT es la masa total de la muestra seca (g), PG simboliza el peso de la fracción gruesa (g) y ASH es el área superficial horizontal de la muestra m^2 .

El modelo proporcional se basa en una simple deducción del Cs-137 cuando se mezcla por completo en el arado o de cultivo y el desgaste del suelo es directamente proporcional a la cantidad de radionucleido removido desde el perfil del suelo donde se almacenado el Cs-137. Y está dado por la siguiente ecuación.

$$Y = \frac{10BdX}{100TP} \quad (3)$$

Donde:

Y es el promedio anual de la pérdida de suelo ($ton.\ ha^{-1}.\ año^{-1}$), d la profundidad del arado o lecho cultivado (m), B es la densidad volumétrica del suelo ($kg.\ m^{-3}$), T simboliza el tiempo transcurrido desde el inicio de la acumulación del Cs-137 (años), P es el factor de corrección del tamaño de la partícula X representa el porcentaje de reducción del inventario total de Cs-137 definido como:

$$X = \left(\frac{In - In_{ref}}{In_{ref}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

In_{ref} es el inventario total de referencia (Bqm^{-2}), In la medida de cada inventario de Cs-137 en cada capa de muestreo (Bqm^{-2}) en este caso solo del sitio de estudio.

El factor P ha sido incorporado en la ecuación 2 para la separación de las partículas finas. P es la función de la razón de la concentración del Cs-137 del depósito movilizado a la del suelo original. En caso donde el inventario del Cs-137, In para un punto de muestreo es mayor que el inventario local de referencia In_{ref} , P' es el factor de corrección del tamaño de las partículas, la degradación del depósito puede ser asumida por la tasa de deposición anual Y' ($ton.\ ha^{-1}.\ año^{-1}$), puede ser considerada usando la siguiente ecuación.

$$Y' = \frac{10BdX'}{100TP'} \quad (4)$$

X' = Porcentaje de incremento en el inventario total de Cs-137 definido como

$$X' = \left(\frac{In_{ref} - In}{In_{ref}} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

P' en la ecuación (4) es un factor de concentración del tamaño de las partículas definido como una función de la razón de la concentración del Cs-137 del sedimento depositado al sedimento que se ha movilizadado.

El modelo proporcional es una aplicación fácil, que solo requiere la información de la profundidad del arado y de la densidad volumétrica del suelo, igualmente de los valores del Cs-137 para los puntos de muestreo, sin embargo, este modelo no tiene en cuenta la progresiva reducción del contenido del Cs-137 del suelo depositado a medida que la erosión avanza cuanta arriba.

Este modelo proporcional es utilizado en otro artículo ya dentro de su estudio así como en (Caballero, 2018, p.42), que pudo determinar los inventarios y conocer los patrones de distribución del Cs-137 en los perfiles del suelo de 5 lugares.

b) Modelo de balance de masa simplificado (modelo de balance de masa 1)

En este modelo el balance de masas intenta superar algunas de las limitaciones del método proporcional simple en este modelo toma en cuenta tanto las entradas como las pérdidas de Cs-137, aquí se toma en consideración desde el inicio de la lluvia radioactiva y la caída progresiva de la capa del arado. No considera el tamaño de las partículas y le añaden el factor de corrección P en el modelo.

Para un sitio erosionado ($A(t) < A_{ref}$, asumiendo una tasa constante de descenso de la superficie $R(ma^{-1})$, el inventario total del Cs-137, (A, Bqm^{-2}), en el año t (año) se puede expresar como:

$$A(t) = A_{ref} \left(1 - P \frac{R}{d} \right)^{t-1963} \quad (5)$$

Se reorganiza la ecuación con la tasa de erosión. $Y = (ton. ha^{-1}. año^{-1})$ y queda:

$$Y = \frac{10dB}{P} \left[1 - \left(1 - \frac{X}{100} \right)^{\frac{1}{(t-1963)}} \right] \quad (5.1)$$

Donde:

A_{ref} es el inventario local de referencia (Bqm^{-2}), Y el promedio anual de la pérdida de suelo ($ton. ha^{-1}. año^{-1}$), d representa la profundidad del arado o lecho cultivado (m), B es la densidad volumétrica del suelo ($kg.m^{-3}$), X el porcentaje de reducción del inventario total de Cs-137 definido por la ecuación 2.1. y P el factor de corrección del tamaño de la partícula.

Para el sitio de deposición $A(t) < A_{ref}$, asumiendo una tasa de deposición contante $R'(kgm^{-2}a^{-1})$, en el sitio, la tasa de deposición de sedimento puede ser estimada desde la concentración de Cs-137 del sedimento $C_d(t')(Bqkg^{-1})$ según la ecuación.

$$R' = \frac{A_{ex}(t)}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A(t) - A_{ref}}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \quad (6)$$

Donde:

$A_{ex}(t)$ es el inventario en exceso del Cs-137 del punto de muestreo por encima del inventario de referencia en el año t (definido como el inventario medido menos el inventario de referencia) $Bq. m^{-2}$, $C_d(t')$ la concentración del Cs-137 del sedimento depositado en el año t' ($Bq. kg^{-1}$), λ representa a la constante de desintegración para el Cs-137 ($año^{-1}$), P' es el factor de corrección del tamaño de las partículas.

Se supone que la concentración del Cs-137 $C_d(t')$ del sedimento depositado es representada por la media ponderada de la concentración del Cs-137 de sedimento movilizado del área de contribución pendiente arriba $C_d(t')$ y por lo tanto se puede calcular como:

$$C_d(t') = \frac{1}{\int_S R dS} \int_S p' C_e(t') R dS \quad (7)$$

Donde: Sm^2 es el área de contribución de la pendiente ascendente y $C_e(t')$ ($Bq. kg^{-1}$) es la concentración Cs-137 de sedimento movilizado desde un punto de erosión, que se puede calcular a partir de la ecuación:

$$\begin{aligned} C_e(t') &= P \frac{A(t')}{d} = \frac{P}{d} A_{ref}(t') \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} \\ &= \frac{P}{d} A_{ref}(t) e^{\lambda(t-t')} \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} \end{aligned} \quad (8)$$

Donde: $A_{ref}(t) = A_{ref}$

El modelo de balance simplificado tiene en cuenta la reducción progresiva de la concentración del Cs-137 en el suelo dentro de la capa de arado debido a la incorporación de suelo que contiene este radionucleido por tanto representa una mejora con respecto al modelo proporcional. Sin embargo, este modelo no toma en consideración la posible eliminación de la lluvia radioactiva.

- Modelos empleados en la cuantificación de la erosión en suelos poco perturbados.

Para suelos no cultivados, la distribución de profundidad de Cs-137 en el perfil del suelo será diferente a la de los suelos cultivados donde este elemento se mezcla dentro del arado o cultivo.

a) El modelo de distribución de perfiles (para suelos no cultivados)

En algunas ocasiones, la profundidad de la distribución del Cs-137 en un suelo estable poco perturbado puede exhibir una exponencial decreciente con la profundidad. Y está dada por la siguiente ecuación (FAO/OIEA, 2014, pp.126-135).

$$A'(x) = A_{ref} \left(1 - e^{-\frac{x}{h_o}}\right) \quad (9)$$

$A'(x)$ es la profundidad másica desde la superficie del suelo ($Bq. m^{-2}$), x es la profundidad desde la superficie del suelo ($kg. m^{-2}$), h_o el coeficiente que describe la forma del perfil ($kg. m^{-2}$).

La distribución de la profundidad del Cs-137 en el suelo es independiente del tiempo, la tasa de erosión Y para un punto de erosión. (con un inventario total de Cs-137. $A_u(Bq \cdot m^{-2})$).

$$Y = \frac{10}{(t - 1963)P} \ln \left(1 - \frac{X}{100}\right) h_o \quad (10)$$

Donde:

t . El año de colección de la muestra (año), x es el porcentaje de reducción con respecto al inventario de referencia según la ecuación 2.1. para un lugar de deposición, se puede estimar una estimación tentativa de la tasa de deposición R' del exceso de Cs-137 $A_{ref}(t)(Bq \cdot m^{-2})$ y la concentración del Cs-137 en sedimento C_d .

$$R' = \frac{A_{ex}}{\int_{t_0}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A_u - A_{ref}}{\int_s \frac{P'}{RdS} \int A_{ref} (1 - e^{-R/h_o}) dt'} \quad (11)$$

1.2.10. Factores que considerar en el estudio

1.2.10.1. Sitio de referencia

Se debe tomar en consideración que un sitio de referencia es un sitio no cultivado, dentro de este trabajo de investigación representa al lugar o zona donde no está labrada la tierra, es un terreno que por muchos años ha permanecido lleno de césped y otras plantas, por esta razón esté se diferencia del sitio de estudio.

1.2.10.2. Sitio de estudio

A diferencia del sitio de referencia, el sitio de estudio representa al lugar o zona que es cultivado constantemente por el ser humano, es decir la tierra es preparada para los sembríos de diferentes productos, para esta investigación nuestro sitio de estudio es un terreno donde a menudo se siembra papas.

1.2.10.3. Altitud

Dentro de este estudio se debe considerar la altitud, que es una característica para determinar las consecuencias de la erosión que está sufriendo dicha zona o lugar. Según mencionan en (Significados.com, 2018, párr.2) la altitud es la altura o distancia vertical de un sitio de la tierra con relación al nivel del mar, más conocida como la elevación sobre el nivel medio del mar.

1.2.10.4. Latitud

La latitud también es otra característica que se debe tomar en cuenta para determinar el nivel de erosión y este en el área geográfica es el ángulo existente entre el plano del Ecuador y un punto de la superficie de la tierra (Significados.com, 2018, párr.1).

1.2.10.5. Topografía del suelo

La topografía es muy importante para esta investigación ya que ayuda a medir con precisión la superficie de la tierra, es decir, la topografía es el estudio de la superficie del terreno y este proviene de las palabras “topo” que es lugar y “graphia” que significa escritura (ArcGeek, 2019, párr.5).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de integración curricular es de tipo cuasiexperimental ya que se pretende determinar el nivel de pérdida de fertilidad de los suelos que causa problemas biológicos, físicos y socioeconómicos.

También, será una investigación aplicada porque una vez localizadas las zonas más vulnerables a la erosión se procederá a comprobar el método del Cs-137 para la conservación del suelo como uso de técnicas nucleares. Por otro lado, para profundizar nuestro estudio utilizaremos el método exploratorio el mismo que llevaremos a cabo investigando trabajos ya realizados referentes al tema, los cuales deben ser entendidos en profundidad analizando cada situación.

Finalmente, dado que se busca comprender la hipótesis previamente establecida, así como los objetivos trazados, el presente trabajo será elaborado bajo el planteamiento metodológico del enfoque mixto, ya que se recolectará un caso amañado de modelo de la aplicación de la metodología, dejando, identificando los puntos a continuar con futuras investigaciones.

Para mejores resultados se debe utilizar referencias efectivas, documentales oficiales de la provincia de Chimborazo e informes administrativos. En este estudio se pretende cuantificar el Cs-137 para determinar el nivel de erosión para el cual, tomaremos como referencias algunos artículos como; de Yader Cabellero 2018, que aplico la técnica nuclear de Cs-137 para estimar la erosión de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo (Caballero, 2018, pp.38-52), también el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) quienes trabajan con el fin de ayudar a los países a utilizar esas tecnologías adecuadamente y en condiciones de seguridad, realizaron una evaluación para el uso del Cs-137 para la erosión del suelo (FAO/OIEA, 2017, pp.1-76), por otro lado en el artículo de R. Gil, Peralta, J. Carranza.et al. Da a conocer procesos que ellos realizaron para la utilización de técnicas nucleares, para estimar la erosión hídrica en plantaciones de tabaco en Cuba (Gil et al., 2015, p.1), por último también se utilizará el boletín OIEA,2014 en que dan a conocer las pautas para usar los radionucleidos de lluvia radioactiva para evaluar la erosión y la eficacia de las estrategias de la conservación del suelo (FAO/OIEA, 2014, p.27).

Para comprobar esta metodología se ha realizado un ejemplo tomando muestras del cantón Guamote en el barrio San Juan, a continuación, se da a conocer cuáles son las principales estrategias de muestreo que debe conocer tanto para el lugar de estudio como para el de referencia.

2.1. Diseño de muestro

2.1.1. Enfoque geográfico

Después de la revisión bibliográfica se plantea que para calcular el nivel de erosión se debe tener presente el enfoque geográfico. La provincia de Chimborazo en el cual podemos encontrar diferentes tipos de estudio, dado que, difiere según la altura del lugar que van desde las más elevadas cumbres hasta el subtropical en las tierras bajas que se debe tener presente para la selección de estudio.

En el artículo de la (FAO/OIEA, 2017, p.17) mencionan cuatro tipos de estudio de distribución del suelo dentro de ellos están;

- Estudios de parcelas de campo o laderas. - son aquellos terrenos que tienen una pendiente.
- Estudios de llanuras aluviales. - es una parte orográfica de plano que contiene un arroyo y que puede ser inundada cuando existe una eventual crecida de las aguas de este.
- Estudios de captación (o cuenca). - es una parte de la superficie de la tierra donde las gotas de lluvia caen sobre esta superficie y estas desaguan hacia un mismo punto de salida.
- Estudios de sedimentación de yacimientos. – la sedimentación de yacimientos se produce por la pérdida de energía, que hace que se interrumpa, con lo que las partículas físicas que son arrastradas y estas tienden a depositarse por precipitación.

2.1.2. Selección del sitio de estudio y recopilación de datos

Para seleccionar el sitio de estudio se debe investigar si la erosión está activa en ese lugar. En la provincia de Chimborazo, estudios anteriores dan a conocer los lugares con mayor erosión. Según el plan de desarrollo y de ordenamiento territorial de Chimborazo (Chimborazo, 2015, p.38) ha identificado que los cantones con más porcentajes de suelos erosionados son: Alausí con un 5%, Guamote con un 90.13%, Riobamba con un 2,66% y Colta el 2,13%”.

- Cuando se realice la selección del sitio de estudio se debe entrevistar a los dueños de los terrenos, representantes municipales u otras a personas que estén relacionadas con el área, dado que ellos sabrán proporcionar información sobre el uso de las tierras, el clima del lugar, los fenómenos meteorológicos inusuales, si ha existido los deslizamientos de tierra, los cambios que se ha ido produciendo por la erosión.
- Para que la investigación no sea tan compleja es útil seleccionar lugares donde no sea tan variante el clima, debido a que con el clima podremos obtener un dato muy importante ya que sabremos una causa aproximada sobre el motivo de la erosión ya sea esta por abundantes

lluvias o falta de esta, también la humedad, la temperatura y la presión que exista en dicho lugar. Además, que exista datos topográficos y un historial de uso de la tierra.

- El lugar de estudio seleccionado no debe ser tan grande para limitar variedad y complejidad de los procesos, porque al escoger un lugar extenso primeramente se necesitaría de muchas personas que colaboren, y se tardaría muchos años en recolectar las muestras, además, todo el proceso por el cual debe pasar las muestras sería más demorado, y al realizar los cálculos podría haber confusiones para obtener los resultados. También es necesario conocer el presupuesto de la investigación y la disponibilidad del número de personal para obtener mejores resultados en la toma de muestras.
- Para la selección del sitio se debe realizar una recopilación de datos y antecedentes. También es importante tener los datos geográficos para la ubicación correcta de los sitios de estudio y de referencia, a continuación, se hace la descripción geográfica de los cantones que presentan mayor erosión dentro de la provincia de Chimborazo.

2.1.2.1. Datos geográficos

La provincia de Chimborazo se caracteriza por tener una heterogeneidad climática, que es de tipo glacial, debido que cuenta con climas mesotérmico seco en las zonas cercanas a la costa y también un clima mesotérmico húmedo y semihúmedo.

Considerando que Guamote es el cantón con mayor erosión, se describe la información geográfica de la zona.

- Guamote: Según (Castillo, 2019, p.24) se encuentra ubicado en centro del oriente de la provincia de Chimborazo, abarca una extensión de 1221.4 Km^2 lo cual representa el 18.5% del total de la provincia de Chimborazo y se encuentra a una altitud que varía desde los 2.560 hasta los 4.640 metros sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 12°C .

Por otra parte, su mayor extensión posee relieve de Cordillera, debido a la influencia de la cordillera Oriental y Occidental de los Andes que atraviesa a toda la provincia, con una extensión de aproximadamente 626.8 Km^2 , (Castillo, 2019, p.26) menciona que este relieve esta por rocas volcánicas y sedimentos piroclásticos distinguidos principalmente en valles glaciares y en las cimas de las cordilleras.

Según (Castillo, 2019, pp.31-32) las zonas climáticas del cantón dependen de la altitud, la ubicación y principalmente por la presencia de la cordillera de los Andes respecto al movimiento de las masas de aire.

- Clima ecuatorial frío de alta montaña. Este clima se identifica a los 3000 m.s.n.m las temperaturas máximas a veces sobrepasan los 20°C y las mínimas son inferiores a 0°C y en su mayoría se encuentran entre los 4 y 8°C .

- Clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo o húmedo. Las temperaturas medias anuales están comprendidas entre 12 y 20°C, sin embargo, existen temperaturas mínimas que desciende a 0°C y las máximas no superan los 30°C, finalmente la humedad está entre los 65 y 85%. Este tipo de clima se da durante dos estaciones lluviosas que son en los meses de febrero a mayo y en octubre y noviembre, mientras que la estación seca es de junio a septiembre.
- Clima de páramo. El clima es frio y húmedo, con algunos cambios imprevistos en el estado atmosférico, aunque existe una variabilidad en la temperatura anual, es pequeña de 2 a 10°C; los cambios de temperatura varias desde el punto de congelación hasta los 30°C. El clima en el páramo es invierno todas la noches y verano todos los días, sin embargo, la mayoría de tiempo es frio, y esto permite que la irradiación UV sea fuerte a medio día. En la figura 2.1 se observa un mapa topográfico del cantón Guamote, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.

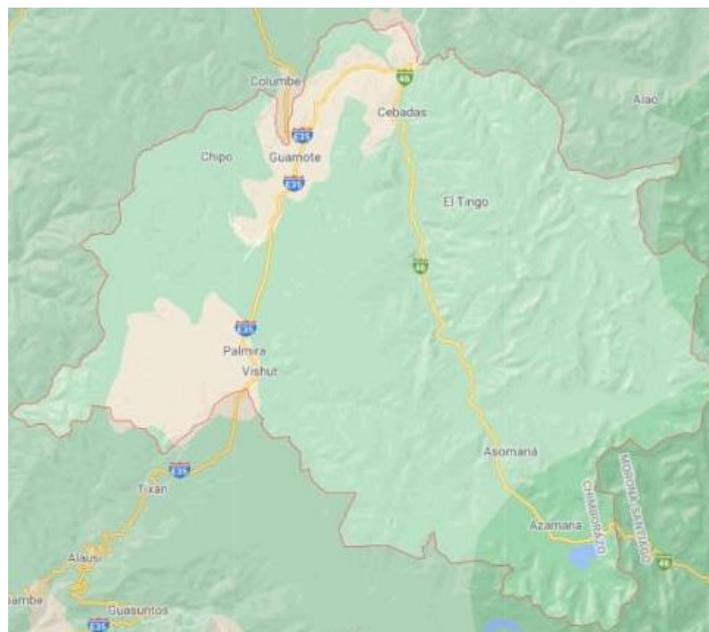


Figura 2-1: Mapa topográfico del Cantón Guamote
 Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021).

- Colta. En la página de (GAMDCCOLTA, 2018, párr.8) informa que Colta se halla al noroccidente de la provincia de Chimborazo a 18 Km de la ciudad de Riobamba. Se encuentra a una latitud es de 1° 39' a 78° 59' occidente a una altitud de 2750 a 3280 m.s.n.m, Su clima es frio y seco, la temperatura varía entre 10 y 13°C y en las colinas de la cordillera occidental, hacia la costa el clima varía notablemente, teniendo temperaturas de hasta 21°C. En las alturas de la cordillera es frio, húmedo y permanentemente con neblina. Existe una época de lluvia que va desde mediados de septiembre hasta mediados de enero. Finalmente, la humedad relativa es

del 73%. En la figura 2-2 es un Mapa topográfico del cantón Colta, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.



Figura 2-2: Mapa topográfico de cantón Colta
Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021).

- Alausí. En la página del gobierno autónomo descentralizado del cantón Colta (GAMDCALASI, 2020, párr.3) menciona que, tiene una superficie de 1.707 Km^2 . La temperatura promedio es de 14 a 15°C , se encuentra a 97Km de Riobamba. La figura 2-3 es un mapa topográfico del cantón Alausí, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.

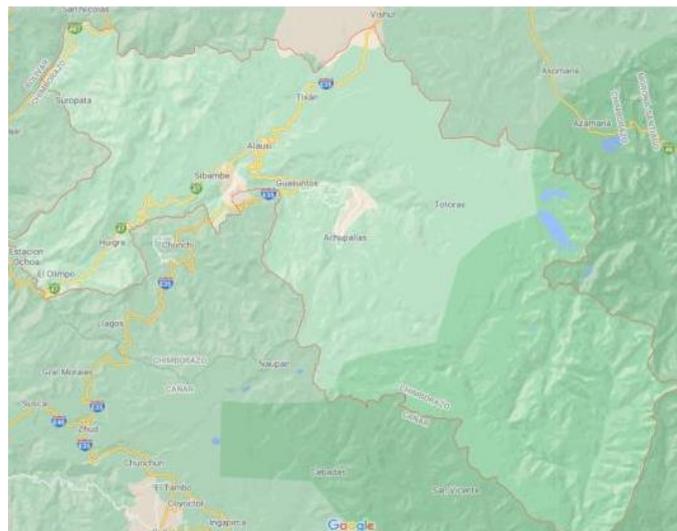


Figura 2-3: Mapa topográfico del cantón Alausí
Realizado por: (Technologies,U.S. Geological , 2021).

- Riobamba: (GADMRIOBAMBA, 2021, párr.1), Está situado a 2.754 metros sobre el nivel del mar, y tiene una latitud de 1° 41' 46' latitud sur; 0° 3' 36' a una distancia occidental del meridiano de Quito. La temperatura promedio anual es 14 °C. (Alvear, 2015, p.57) manifiesta que existen cambios de temperatura muy bruscos que perjudica al ser vivo. En la página (Riobamba.com, 2020, párr.6) describe dos estaciones húmeda y seca la estación. La estación seca es en los meses de abril a junio y la estación húmeda es de finales de agosto hasta mediados de enero. En la figura 2-4 se muestra un mapa satelital del cantón Riobamba, este cantón la mayor parte está cubierta por caseríos, sin embargo, algunos lugares que están utilizados en la agricultura sufren de erosión.

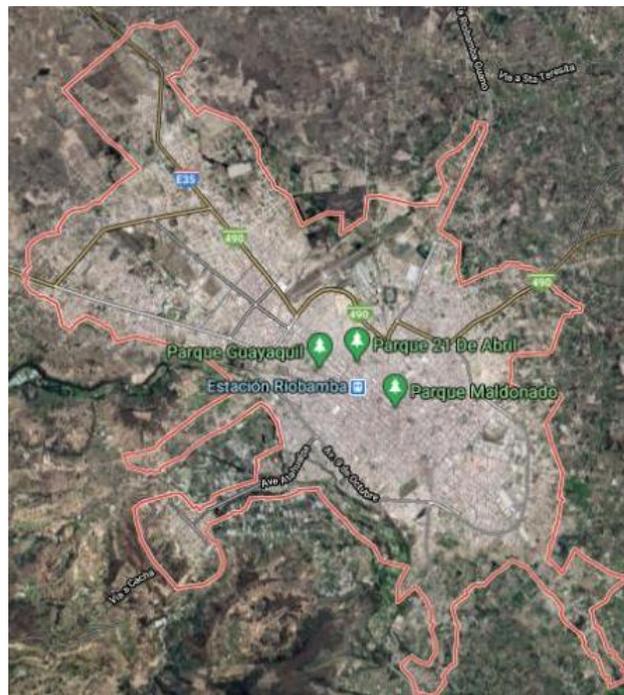


Figura 2-4: Mapa topográfico del cantón Riobamba
Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021).

- a) Geomorfología y pedología; así como la topografía, accidentes geográficos típicos de la región, tipo y textura del suelo. En la figura 2-5 se muestra un mapa topográfico de la provincia de Chimborazo en que se puede observar el relieve además las zonas más perjudicadas por la erosión que están de color café.

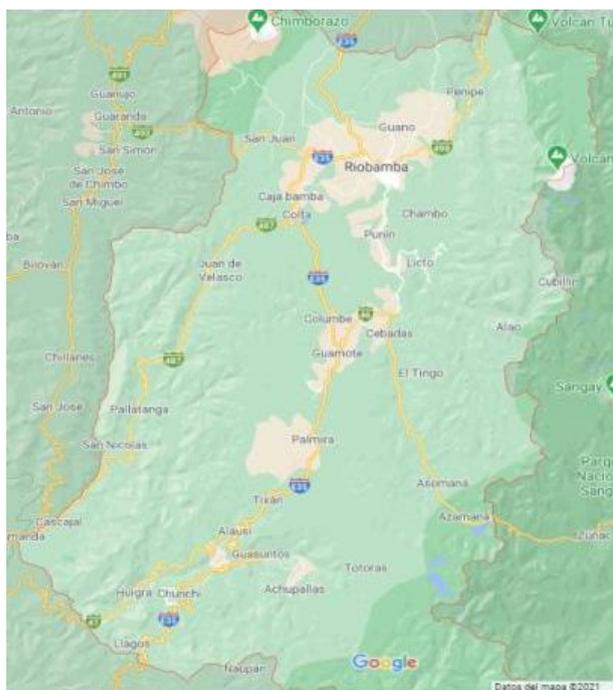


Figura 2-5: Mapa topográfico de la provincia de Chimborazo
Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021).

En algunas zonas que conforman la provincia de Chimborazo los principales accidentes geográficos que tienen los cantones que han sido más perjudicados por la erosión

- b) Uso del suelo: antecedentes del uso de la tierra, tipo y frecuencia de labranza y si tuvieron algún tratamiento los suelos.
- c) Registros: si ha existido anteriormente erosión, inundaciones o algún evento climático fuerte.

2.1.3. Estrategias de muestreo en el sitio de referencia

Para la selección del sitio de referencia no perturbado se debe seleccionar superficies planas donde no haya existido erosión ni sedimentación, y este debe estar lo más cerca posible al sitio de estudio. Y como recomendación puede ser donde este sembrado pastizales ya que es el tipo de tierra más adecuado, porque no está perturbada y se encuentra en un estado homogéneo, además, que no hayan sido aradas durante los últimos 50 años.

Existirán lugares donde no hay tierras no perturbadas para el muestreo de referencia. Esto puede pasar más en las zonas montañosas con topografía inclinada por eso para realizar el estudio se debe seleccionar bien es sitio que va a ser evaluado.

Si el sitio referencia no está disponible se adoptan valores de referencia realizados en áreas aledañas o cercanas con condiciones similares.

2.1.4. *Recopilación de muestras del sitio de referencia*

Al comenzar con el muestreo del suelo para evaluar el Cs-137 en el sitio de referencia, se debe lograr un muestreo incremental a profundidad que permite evaluar la distribución del Cs-137. En el artículo de (FAO/OIEA, 2017, pp.18-21) menciona que, las profundidades de las muestras que servirán de referencia deberán exceder la profundidad real que tiene el Cs-137 tomando de la capa contaminada por unos 10 cm o al menos unos 5 cm, para certificar que este radionúclido se encuentre en las muestras.

El suelo cuando no es perturbado, el Cs-137 se concentrará dentro de los pocos centímetros de las capas superiores de la tierra y este radionucleido va disminuyendo con la profundidad del suelo esto significa que es de manera exponencial. Cuando el sitio ya es labrado, la actividad del Cs-137 es uniforme en todo el espesor del lugar, debajo de este, la concentración del Cs-137 que disminuye abruptamente. Este proceso nos permite conocer si el suelo fue perturbado por actividades humanas o fueron afectadas por la erosión.

El número de muestras va a depender de la variabilidad aleatoria del suelo, también tener en cuenta las propiedades de la tierra como: la densidad aparente del suelo, la capacidad de infiltración, el agrietamiento y la pedregosidad, los efectos de la cubierta vegetal, las raíces, entre otras.

2.1.5. *Recolección de muestras y herramientas de muestreo*

Tabla 2.1: Profundidades para las diferentes zonas.

TIPOS DE ZONA	PROFUNDIDADES
Sitios de referencia	0cm-20cm
Zonas cultivadas	20-40cm
Zona de depósito	40-60 cm o más
Zonas baldías	30cm

Fuente: (FAO/OIEA, 2014).

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

A continuación, se describe los tipos de muestreo y de herramientas dependiendo si se cuenta con ellas o no.

2.1.5.1. *Muestreo a granel*

Aquí se utiliza un cilindro de acero como núcleo. El diámetro del tubo suele ser de 7 a 10 cm con grosor de pared de 2-5 mm. El descorazonador sirve para los suelos pedregosos y compactados. Este equipo es muy útil para sacar las muestras manualmente y hace que la recolección de las

muestras sea mucho más fácil y rápida. Para tomar las muestras si existe un muestreo incremental de reconocimiento se debe realizar en diferentes posiciones topográficas dentro del lugar de estudio. El muestreo a granel también dependerá, cuál es el uso de la tierra en el sitio de estudio. La profundidad ira variando, dependiendo si es un sitio no perturbado esta será menor que los campos que ya son cultivado (FAO/OIEA, 2017, p.21).

2.1.5.2. Muestreo incremental de profundidad

En el muestreo incremental de profundidad proporciona una información significativa sobre la distribución de la profundidad ya que se toma en cuenta tanto la distribución vertical (idealizada para zonas de humedad en el suelo) o perfil. Esta es una información clave, así como para en sitio de estudio como para el sitio de referencia. Este muestreo requiere de dispositivos especiales que sirven para llegar al objetivo, que son capaces de recolectar capas delgadas de suelo, por ejemplo, de 1, 2 o máximo 5 cm de espesor. La herramienta más usual para este muestreo incremental de profundidad es la placa raspadora que está formada por un marco de metal que se fija en la capa superior del suelo y la placa de metal que se lo puede mover dentro del marco. Este dispositivo puede cortar capas delgadas de pocos milímetros de espesor (FAO/OIEA, 2017, pp.21-22).

2.1.5.3. Muestreo básico

Es aquel muestreo que se ha venido utilizando desde hace varios años para la toma de muestras de suelo, la misma que es muy útil cuando no se cuenta con un equipo. De igual forma aquí hay que identificar las zonas donde se van a tomar las muestras. En el artículo escrito por (Belarmino et al., 2017, pp.2-3), propone que, para hacer una muestra, deben tomarse entre 10 y 20 muestras de cada una de las zonas. Recomienda que se debe tomar por lo menos 10 muestras para evitar datos erróneos. Una vez que se ha identificado los lugares que se van a muestrear recomienda que suele seguir en zigzag, de modo que de toda la zona se tome las muestras así sea una zona con pendiente. También se debe evitar los lugares donde este amontonado estiércol.

Para recolectar las muestras en este tipo de muestreo es recomendable al igual que los anteriores muestreos limpiar la superficie del suelo ya sea que este cubierto por plantas, estiércol, etc.

Los materiales y herramientas que se va a utilizar son:

- Una pala o una azada,
- Cuchillo,
- Un balde
- Bolsas para empacar las muestras,
- Marcador permanente o etiquetas para su identificación.

Todos estos materiales y herramientas deben estar limpios, y la pala de punta o la azada tienen que estar fuera de óxido y fuera de cualquier contaminante químico, finalmente se las debe limpiar para obtener cada muestra.

Con la ayuda de la pala o azada se debe cavar un agujero del ancho de estas y con una profundidad de 120cm para lugares que no son cultivados por 50 años, 20 a 40 cm en cultivos y de 40 a 60 cm o más en lugares de depósito como en los casos anteriores.

Para sacar las muestras se debe colocar la punta de la pala o la azada a unos 3-5 cm del borde del agujero y así tomar ese trozo de tierra hasta la profundidad indicada. En la figura 2-6 se representa como se debe tomar muestras con una pala o una azada.



Figura 2-6: Toma de muestra de suelo
Realizado por: (Belarmino et al., 2017).

Si en el caso de que el terreno sea seco la muestra de la debe tomar de hacia abajo arriba por uno de los lados del agujero, entrando unos 3cm.

2.1.6. Análisis de datos del Cs-137 mediante espectrometría gamma

2.1.6.2. Preparación de muestras

- Las muestras de suelo serán secadas al aire o al horno a 60°C.
- Luego serán apretujadas con un machacador y tamizadas la tierra fina (0-2mm).
- Pesar fracciones finas y gruesas
- En un recipiente se coloca de 50 a 1500g de muestra para ser analizada en el equipo de espectrometría gamma, este intervalo de masa es aceptable para tener mejores resultados y menos error al ser calculado el Cs-137.

- Las muestras estarán sujetas a un tiempo de conteo de 8 horas en adelante, para tener un error aceptable.
- El equipo analítico espectrométrico está conectado a una computadora con software para la evaluación de datos.
- El Cs-137 se detecta debido a que se caracteriza por un pico bastante identificable a una energía de 662 keV.
- Los datos espectrales recopilados se convierten en actividad de radiación gamma expresada en $Bqkg^{-1}$. La actividad del radionúclido por unidad de peso (actividad de masa) se convierte en inventario (actividad por unidad de área) expresada en $Bq m^{-2}$.

2.1.7. Conversión de datos de Cs-137 a valores de pérdida de suelo

Este es el último paso para obtener el nivel de erosión en el sitio de estudio, para ello se hace uso de las fórmulas antes mencionadas en el marco teórico. Utilizaremos los modelos teóricos ya que los modelos empíricos ya no son tan confiables, y dentro del boletín de la (FAO/OIEA, 2014, pp.126-130) menciona, el modelo para la cuantificación de la erosión en suelos cultivados y los Modelos para la cuantificación de la erosión en suelos no cultivados.

- El Modelo para la cuantificación de la erosión en suelos cultivados.

a) Modelo proporcional.

Utilizando la ecuación (3) se podrá encontrar los valores de la erosión de los suelos y con la ecuación (4) se puede conocer la degradación de un lugar de depósito a partir de la cuantificación del Cs-137.

b) Modelo de balance de masa 1.

Este modelo se calcula a partir de la ecuación (5) que valora desde que se inició la lluvia radioactiva y además toma en cuenta la caída progresiva de las capas de arado. Asimismo, con la ecuación (6) podemos calcular la erosión del suelo de un sitio de depósito.

- Modelos para la cuantificación de la erosión en suelos no cultivados.

a) El modelo de distribución de perfiles

La ecuación (10) permite calcular el nivel de erosión de los sitios que no son con frecuencia cultivados. Así también, la ecuación (11) no permite encontrar el grado de desgaste del suelo en sitio de depósito.

2.1.8. Técnicas de análisis de datos

Primeramente, para la evaluación del Cs-137 se debe tener en cuenta que siempre el Cs-137 solo se puede mover junto con las partículas del suelo, luego el enriquecimiento del suelo o el agotamiento del Cs-137 en algunos lugares del terreno corresponde a la separación o acceso de

material del suelo de los alrededores. Por esto, para evaluar la cantidad de Cs-137 que se ha perdido o ganado, se necesita la información original del acceso del Cs-137. En el que utilizaremos un sitio de referencia que es un área estable no perturbada donde no se ha producido erosión ni acumulación, por lo que representa el acceso del Cs-137, que se selecciona de las superficies planas donde la esorrentía de agua y la erosión del suelo no puede asociarse (FAO/OIEA, 2014, p.152).

Los inventarios del Cs-137 en los sitios de estudio donde se espera una redistribución de suelo se comparan con los del sitio de referencia estable. Como se señala en el artículo de la FAO/OIEA, 2017, las posiciones de las tierras donde los inventarios del Cs-137 son menores que el sitio de referencia se interpreta como erosionados y aquellas posiciones donde son mayores se interpreta como sumideros de deposición y aquellos con los inventarios de Cs-137 similares a los sitios de referencia son estables o tienen un equilibrio equitativo a largo plazo y deposición (FAO/OIEA, 2017, p.35).

2.2. Metodología general utilizada en la investigación

2.2.5. Condiciones naturales

2.2.5.2. Ubicación geográfica

El sitio de estudio se encuentra a -1.9394327472499173, -78.71579594434206 y el sitio de referencia se encuentra a -1.9398307941656523, -78.71630808826882 de altitud, este presenta un clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo o húmedo donde su temperatura es de 19°C. Posee un tipo de suelo arenoso, por lo que son incapaces de retener el agua, y a su vez se pudo observar que son escasos en materia orgánica y por lo tanto no son tan fértiles.

- Sitio de estudio

Se ubica en el centro de la provincia de Chimborazo (Figura 2-7) y es una parte representativa de los procesos erosivos que afectan a los agricultores de esta zona. Este sitio está en constante labranza y no ha recibido el correcto trato para no perder los minerales del suelo, por ende, en la actualidad ya no se cosechan buenos productos; en cada sembrío va disminuyendo más en su producción. En la figura 2-7 se observa el lugar de estudio de esta investigación.



Figura 2-7: Sitio de estudio ubicado en el cantón Guamote.
Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

- Sitio de referencia

Este sitio se encuentra a un metro del sitio de estudio y este ha sido fundamental ya que en las bibliografías revisadas mencionan que deben estar lo más cerca posible. El dueño del terreno del sitio de referencia el Sr. Cesar Ramírez mencionó que este sitio ya no se ha trabajado más de 50 años por lo que este cubierto de pasto y otras plantas. El mismo que es un buen sitio de referencia.



Figura 2-8: Sitio de referencia ubicado en el cantón Guamote.
Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

2.2.6. Estrategia de muestreo

Se realizó un previo monitoreo con un detector gamma scout para una inspección del lugar. Se realizó una primera visita para el reconocimiento de los sitios de investigación, y estimar el grado

de erosión, el uso de la tierra, los principales rasgos de la geografía física y la accesibilidad a las áreas donde se aplicaría esta técnica.

La técnica del Cs-137 fue aplicada en el barrio San Juan del cantón Guamote donde la erosión de los suelos está reconocida como un problema económico y ambiental, se tomaron muestras del sitio de estudio y de referencia con el objetivo de comparar las pérdidas de suelo.

En el caso del sitio de estudio se utilizó una parcela de cultivo (papas) donde el detector de gamma scout emitía una radiación de 2.250 mSv/h. Para el sitio de referencia se seleccionó una parcela no cultivada cuyo suelo está cubierto por vegetación natural que emitía una radiación de 1.120 mSv/h.

En este caso la topografía no fue tan compleja ya que no sé toma muchas muestras.

En cada parcela se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm, 20-30cm, los puntos de muestreo fueron ubicados en forma de zigzag, a una distancia equidistante de 10 metros.

Estas muestras fueron colocadas en fundas de plástico y fueron trasladadas cuidadosamente hasta el laboratorio de técnicas nucleares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2.7. Número de muestras

Para esta investigación se trabajará con un número mínimo de muestras por lo que no resultará complejo determinar la pérdida de suelo del sitio del Cs-137.

Para esta investigación el número de muestras es de:

Tabla 2-2: Número de muestras.

Sitios	Profundidad	Distancia	Número de muestras
Sitio de referencia	0-5cm	10m	2
	5-10cm	10m	2
	10-20cm,	10m	2
	20-30cm	10m	2
Sitio de estudio	0-5cm	10m	2
	5-10cm	10m	2
	10-20cm	10m	2
	20-30cm	10m	2
			16 muestras

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

Durante la ejecución de esta investigación nos hemos planteado diferentes objetivos y uno de ellos ha sido demostrar que esta técnica es factible para futuras investigaciones, siendo así el reto

de este estudio evaluar el nivel de erosión de los suelos. En este caso de ejemplo el número de muestras en la parcela de estudio escogida fue 8, y 8 muestras del sitio de referencia.

2.2.8. Preparación de las muestras

Todas las muestras del suelo fueron secadas en una estufa a 60 ° por un tiempo de 11 horas, como la tierra es solo polvo no fue necesario triturar y pasa a ser tamizado en un tamiz de 2mm. Luego cada una de las fracciones fue pesada tanto la fina como la gruesa.

2.2.9. Medición de las muestras y cálculos de la actividad del Cs-137

Las muestras fueron analizadas en un equipo de espectrometría gamma con un detector de germanio, y se utilizó como geometría un envase cilíndrico hueco de plástico hermético, de diámetro de 114mm y altura de 87mm, el mismo que se colocó en el detector. Para esta investigación se utiliza una sola masa de 510 g para todas las muestras, también se obtuvo el área superficial de $0.037 \pm 1.34 \times 10^{-3} m^2$ y el volumen de $1060 \pm 0.31 \frac{Kg}{m^3}$ para las muestras del sitio de estudio. Para la colección de los espectros se emplearon tiempos de medición de 28800 segundos. El procedimiento de los espectros se realizó con el software RUG 91-2 en el cual se puede identificar los picos de los espectros.

A partir de los resultados de las actividades del Cs-137, se encuentra el valor del inventario del Cs-137 In y In_{ref} para cada muestra de suelo, correspondiente a una profundidad determinada según las ecuaciones (2) y (2.1) y finalmente para encontrar el nivel de erosión se utilizó el modelo proporcional que se obtiene con la ecuación (3) y (3.1).

La técnica se basa en la comparación de los inventarios en cada sitio de estudio con el inventario del sitio de referencia, el mismo que debe ser lo más cercano posible al área de estudio.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo principalmente se analiza y se discute los resultados obtenidos de cada muestra en el equipo de espectrometría gamma, en el cual se analizó de cada sitio dos puntos de estudio a diferentes profundidades, donde se obtiene las actividades y espectros de cada muestra. Asimismo, todos los cálculos respectivos se los realizó en Excel donde se obtienen los valores de los inventarios a partir de las actividades del Cs-137, estos resultados permitirán identificar las zonas de erosión y depósito. Además, los datos encontrados de la distribución del suelo del Cs-137 permite identificar un patrón de erosión del suelo y sedimentación del suelo.

Para mejor comprensión del desarrollo del trabajo, se presenta las actividades y distribución del inventario del Cs-137 tanto del sitio de estudio como el de referencia, también la estimación de la redistribución del Cs-137 y la erosión.

3.1. Actividad y distribución del inventario del Cs-137 en el sitio de referencia

En la tabla 3-1 se muestran los valores de las actividades específicas del Cs-137 en los sitios de referencia, en el terreno del barrio San Juan del cantón Guamote en el punto 1, que varían entre valores mínimos de cero, es decir no detectable Cs-137 a la profundidad de 20-30 cm y un valor máximo de $9.39 \pm 6.34 \text{ Bq Kg}^{-1}$ a la profundidad de 0-5cm, por otro lado, los inventarios del Cs-137 varían entre valores no detectables, y un valor máximo de $95.93 \pm 68.75 \text{ Bq m}^{-2}$. En el punto 2 no se detectó Cs-137 esto puede ser porque está constantemente con agua de regadío para el crecimiento del pasto sin embargo el agua no se riega de manera homogénea sino que toma el mismo camino siempre por ende no todo el terreno es afectado y aunque por años no es trabajado, el agua provoca la lixiviación de las sales y nutrientes, y esto probablemente también ocasionaría la pérdida del Cs-137 que se ha incorporado por la precipitación en ciertas partes del sitio (Caballero, 2018, pp.46-47).

Tabla 3-1: Valores de las actividades y distribución del inventario del Cs-137 en el sitio de referencia de la zona de San Juan del cantón Guamote.

Sitio de referencia	Profundidad (cm)	Actividad del Cs-137 ($Bq Kg^{-1}$).	Inventario del Cs-137 ($Bq m^{-2}$).
Barrio San Juan	0-5	9.39 ± 6.34	95.93 ± 68.75
	5-10	5.83 ± 6.16	59.72 ± 65.57
	10-20	5.05 ± 6.40	58.83 ± 76.96
	20-30	0	No se detectó
	TOTAL	20.27 ± 18.9	214.48 ± 211.28
	0-5	No se detectó	No se detectó
	5-10	No se detectó	No se detectó
	10-20	No se detectó	No se detectó
	20-30	No se detectó	No se detectó
	TOTAL		

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

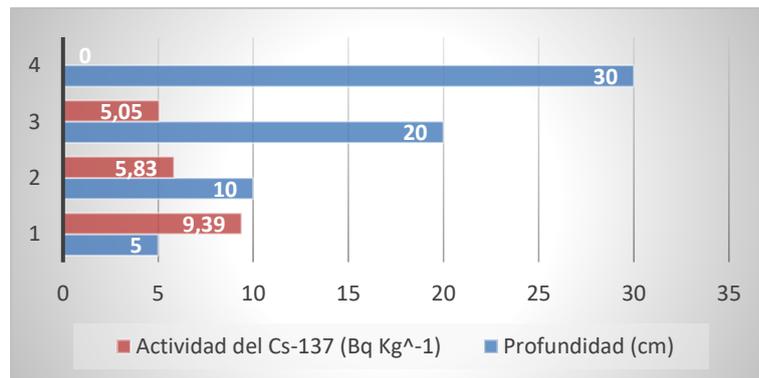


Gráfico 3-1. Actividad del Cs-137 en el sitio de referencia.

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

En el perfil del Cs-137 en el sitio de referencia del punto 1 presentó un comportamiento normal ya que la actividad fue de forma decreciente con la profundidad tal y como mencionó la teoría, con excepción en la sección de 20-30 cm que no presentó actividad, sin embargo, en el punto 2 del mismo sitio no se halló Cs-137 a ninguna profundidad. A pesar de que no se encontró actividad en el punto 2 se ha utilizado los valores del punto 1 para realizar la comparación de los inventarios con el sitio de estudio. El terreno inspeccionado está cerca del sitio de estudio y cumplía con los requerimientos de sitio de referencia el mismo que tiene iguales características, este sitio no es perturbado por la agricultura durante varios años y tiene un ángulo de inclinación mínimo y cobertura vegetal natural.

3.2. Actividad e inventario del Cs-137 en los sitios de estudio

Los valores de las actividades del Cs-137 ($Bq Kg^{-1}$) y de distribución de los inventarios del Cs-137 ($Bq m^{-2}$) en los sitios de estudio en San Juan se presentan en la tabla 3-2, las actividades van variando entre valores mínimos que no fueron detectables a máximos de $8.01 \pm 5.02 Bq Kg^{-1}$ en la capa de 5-10 cm en el punto 1 y hasta $3.36 \pm 6.07 Bq Kg^{-1}$ en el punto 2 en la capa de 10-20 cm. Mientras tanto los valores calculados para la distribución de los inventarios del Cs-137 variaron entre valores no detectables hasta $95.47 \pm 63.72 Bq m^{-2}$ en el punto 1 y hasta $91.09 \pm 16.44 Bq m^{-2}$ en el punto 2.

Tabla 3-2: Actividades y distribución del inventario del Cs-137 en las zonas de siembra de papas del punto 1 y 2.

Sitio de estudio	Tipo de Cultivo	Profundidad (cm)	Actividad del Cs-137 ($Bq Kg^{-1}$).	Inventario del Cs-137 ($Bq m^{-2}$).
Barrio San Juan	Siembra de papas PUNTO 1	0-5	1.32 ± 3.82	15.98 ± 46.90
		5-10	8.01 ± 5.02	95.47 ± 63.72
		10-20	7.00 ± 5.00	81.54 ± 61.57
		20-30	No se detectó	No se detectó
		TOTAL	16.33 ± 13.84	192.99 ± 172.19
	Siembra de papas PUNTO 2	0-5	No se detectó	No se detectó
		5-10	0.82 ± 5.88	91.09 ± 16.44
		10-20	3.36 ± 6.07	36.79 ± 67.98
		20-30	1.69 ± 6.61	19 ± 75
		TOTAL	5.87 ± 18.56	146.88 ± 159.51

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

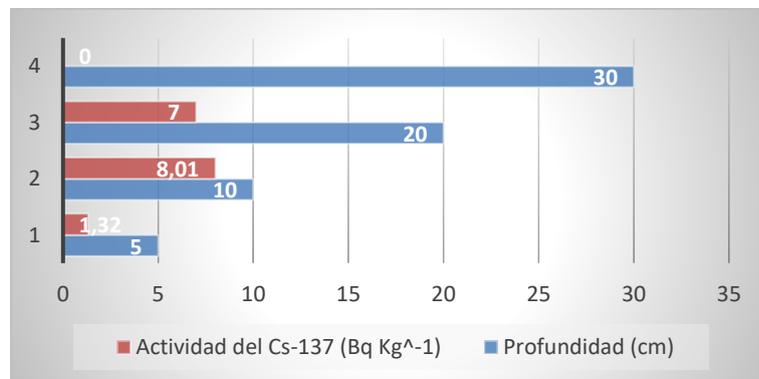


Gráfico 3-2: Actividad del Cs-137 en el sitio de estudio punto 1.

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

Las actividades del Cs-137 en las capas de 0-5cm, 10-20 cm y 20-30 cm fue inferior a la de 5-10 cm como se puede observar en la grafica 3-2 esto sucede por la labración a grandes profundidades en la tierra para el cultivo de papas, es por ello que se realizan movimientos del suelo, este radionucleído tiende a moverse y encontrarse en mayores cantidades en las diferentes capas, como en este caso en la profundidad de 5-10 cm hay una actividad de 8.01 Bq Kg^{-1} .

La distribución del inventario del Cs-137 en esta zona de cultivo del punto 1, a la profundidad de 5-10 cm encontramos que es mayor el valor del inventario ya que en la preparación de la tierra para el cultivo de papas se realiza muchos movimientos del suelo. También es necesario mencionar que el inventario del Cs-137 en el sitio de estudio es menor que el inventario del sitio de referencia.

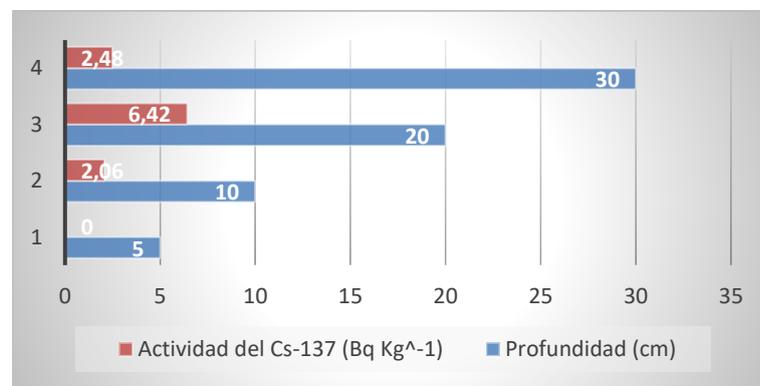


Gráfico 3-3. Actividad del Cs-137 en el sitio de estudio punto 2.
Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

La actividad del Cs-137 en el sitio de estudio del punto 2 son menores en las profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 20-30 cm a diferencia de 10-20 cm en donde se halla mayor actividad del radionúclido, esto se debe al movimiento de la tierra durante el arado para el cultivo de papas. También se puede decir que en la capa de 0-5cm no se encontró actividad del Cs-137 debido al proceso que se realiza a la tierra para la siembra de los productos es decir el Cs-137 se va mezclando entre capas y encontrándose a mayores profundidades.

3.2.1. Distribución del inventario de Cs-137 en los sitios de estudio

Los valores de los inventarios totales de los diferentes puntos del suelo del sitio de estudio son menores al compararlos con los inventarios del sitio de referencia esto demuestra que en los sitios de estudio o sitios de cultivo si están afectados por la erosión.

En el sitio de estudio del punto 1 ubicados en el barrio San Juan del cantón Guamote de la provincia de Chimborazo el inventario del Cs-137 fue menor que el inventario del sitio de referencia como se muestra en la tabla 3-2. Así mismo, en el sitio de estudio del punto 2 el inventario del Cs-137 presenta el mismo comportamiento, siendo menor el inventario del Cs-137

al comparar con el inventario del Cs-137 del sitio de referencia. De esta manera podemos inferir que el proceso predominante en las zonas estudiadas del barrio San Juan del cantón Guamote es la pérdida de suelo.

En general, los valores de los inventarios y las actividades totales del Cs-137 indican una señal de alerta de los procesos de erosión en el sitio de estudio de los dos puntos estudiados en base a los cultivos que se hacen en esta zona del barrio San Juan y esta es una justificación para estudios futuros de evaluación de la pérdida del suelo aplicando esta técnica nuclear. En el sitio de estudio se produce una mezcla de tierra arada con el radioisótopo Cs-137 causando una distribución casi homogénea a lo largo del perfil del suelo. La erosión se describe por la actividad del Cs-137 cuando es significativamente menor en los continuos incrementos de profundidad y el inventario total en el sitio de estudio menor al inventario del sitio de referencia.

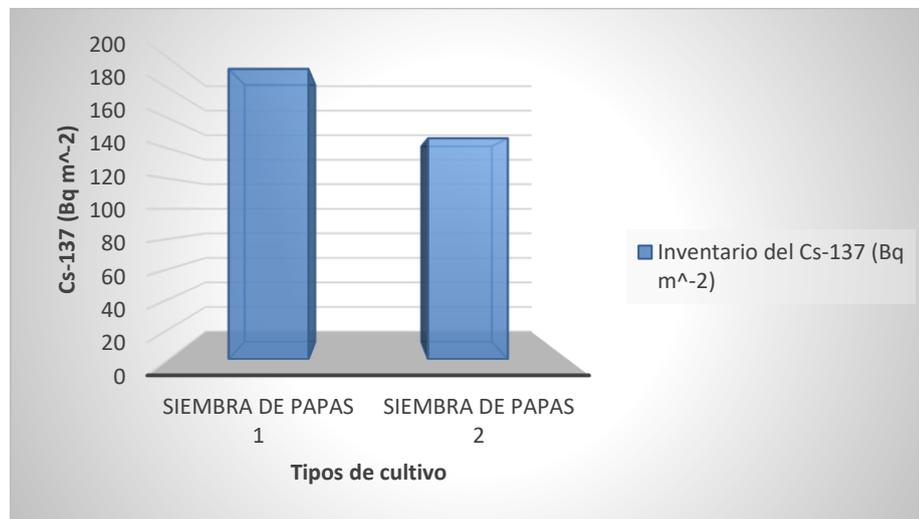


Gráfico 3-4: Valores de los inventarios totales del Cs-137 $Bq m^{-2}$ por tipo de cultivo en el sitio de estudio del barrio San Juan del cantón Guamote.

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

3.3. Estimación de la redistribución del Cs-137 y la erosión

En la tabla 3-3 se muestra el porcentaje de redistribución del Cs-137 en las diferentes capas del sitio de estudio en los dos puntos dados y la estimación de las pérdidas del suelo, las mismas que son calculadas mediante el modelo proporcional en el perfil del suelo en el sitio de estudio. Los porcentajes de distribución del suelo calculados en todas las muestras de estudio encontrando así un proceso de pérdida de suelo por erosión, siendo el menos afectado el lugar de siembra del punto 1, donde la mayoría del tiempo es utilizado para el cultivo de papas y siendo el de menor impacto el sitio del punto 2.

Tabla 3-3: Porcentaje de distribución del Cs-137 en el sitio de estudio y estimación de la pérdida de suelo calculadas por el modelo proporcional en barrio San Juan.

Sitio de estudio	Tipo de Cultivo	Profundidad (cm)	Porcentaje de redistribución del suelo $\frac{I-I_{ref}}{I_{ref}} * 100$	Perdida de suelo ($ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$)
Barrio San Juan	Siembra de papas PUNTO 1	0-5	-92	0.98
		5-10	-55	1.17
		10-20	-62	2.63
		20-30		
		TOTAL	-209	4.78
	Siembra de papas PUNTO 2	0-5		
		5-10	-58	1,23
		10-20	-83	3.52
		20-30	-91	5.79
		TOTAL	231	10.54

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

Cuando se realizó el muestreo se pudo observar que en los dos puntos del suelo se mostraron pérdidas de tierras considerables de: $4.78\ ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$ del primer punto y del segundo punto de $10.54\ ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$ en la profundidad del arado esto se puede dar porque está desprotegido de cubierta vegetal lo que corrobora la pérdida de suelo y posiblemente es el manejo de la tierra la que favorece el transporte de sedimentos por escorrentías superficial causando así erosión en el suelo.



Gráfico 3-5: Perdida de suelo ($ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$)

Realizado por: Shilquigua, Liliana, 2021.

CONCLUSIONES

- Los parámetros y factores que influyen en la erosión dentro de la provincia de Chimborazo son: la lluvia, la escorrentía, el viento, la gravedad, la falta de agua, así como también las herramientas mecánicas, el mal manejo de la tierra, el sobrepastoreo, la deforestación.
- En la provincia de Chimborazo se ha identificado que los cantones con más porcentajes de suelos erosionados son: Guamote, Alausí, Riobamba y Colta, donde sobresale el cantón Guamote por tener gran desgaste en sus suelos, y es el lugar donde se realizó un monitoreo para llevar a cabo este estudio y plantear la metodología realizada para futuras investigaciones.
- El procedimiento metodológico planteada para el uso de la técnica del Cs-137 ayuda a el nivel de erosión del suelo, convirtiéndose en una técnica de alta eficiencia y relativa rapidez.
- El uso del Cs-137 ha permitido definir el contenido de este radioisótopo en los dos sitios que se ha utilizado para este estudio, demostrando que los diferentes tipos y usos de suelo afectan a la inestabilidad de la actividad e inventario del Cs-137, logrando identificar un sitio de erosión.
- Con la aplicación de la técnica nuclear se lograron establecer los inventarios y conocer los patrones de distribución del Cs-137 en las capas del suelo en los dos sitios estudiados, y evaluar con un muestreo las tasas de erosión en el barrio San Juan del cantón Guamote. Los resultados obtenidos indican que la actividad del Cs-137 está fuertemente restringida por el uso y tipo de suelo. De acuerdo con el modelo proporcional utilizado para estimar el desgaste del suelo que mostraron erosión de $2\ 4.78\ ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$ del primer punto y de $10.54\ ton\ ha^{-1}\ año^{-1}$ en el segundo punto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un muestreo más amplio de diferentes sectores que favorezcan el intercambio de resultados y experiencias en la provincia de Chimborazo.
- Se sugiere dejar la muestra por un tiempo mayor a 8 horas para obtener resultados con menos error.
- Proponer continuar con esta técnica nuclear en todo nuestro país para un mejor manejo y conservación de los suelos y desarrollar su uso razonable con el fin de indemnizar la producción de alimentos y seguridad alimentaria del país de forma responsable con el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ TICLLASUCA, A.**, 2018. *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2603>.
- ALVEAR, C.**, 2015. PDOT Canton Riobamba 2015-2030. [en línea], pp. 1-294. Disponible en: <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga>.
- BELARMINO, S., SAAVEDRA, O., SUÁREZ, T., COELLO, Á. y SOLAZ, C.**, 2017. ¿Cómo tomar muestras de suelo? *AgroCabildo* [en línea], pp. 4. Disponible en: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_537_diptico.pdf.
- CABALLERO, Y.**, 2018. Aplicación de la técnica nuclear de Cesio - 137 para estimar la erosión de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo. [en línea], vol. 4, pp. 38-52. Disponible en: <https://revistacira.unan.edu.ni/index.php/AyC/article/download/72/64/>.
- CASTILLO, J.L.C.**, 2019. La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamote provincia de Chimborazo. *Αγαη* [en línea], vol. 8, no. 2, pp. 2019. ISSN 0187-893X. DOI 10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178. Disponible en: [https://barnard.edu/sites/default/files/inline/student_user_guide_for_spss.pdf%0Ahttp://www.ibm.com/support%0Ahttp://www.spss.com/sites/dm-book/legacy/ProgDataMgmt_SPSS17.pdf%0Ahttps://www.neps-data.de/Portals/0/Working Papers/WP_XLV.pdf%0Ahttp://www2.psy](https://barnard.edu/sites/default/files/inline/student_user_guide_for_spss.pdf%0Ahttp://www.ibm.com/support%0Ahttp://www.spss.com/sites/dm-book/legacy/ProgDataMgmt_SPSS17.pdf%0Ahttps://www.neps-data.de/Portals/0/Working%20Papers/WP_XLV.pdf%0Ahttp://www2.psy).
- CHIMBORAZO, P.** de desarrollo y de ordenamiento territorial de, 2015. Mapa N° 1.1 Relieve de la Provincia de Chimborazo. *Riobamba* [en línea]. Riobamba: Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36482/1/tesis_sibello_hernandez.pdf.
- CONDORI APAZA, V.**, 2018. *Pérdida Del Suelo Por Erosión Hídrica En La Comunidad De San Francisco De Chañajari Moho - Puno* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA DE POSGRADO. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12000>.
- FAO/OIEA**, 2014. Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies. *A-TECDOC-1741, IAEA, Vienna* [en línea], pp. 1-226.

Disponible en: <https://www.iaea.org/publications/10501/guidelines-for-using-fallout-radionuclides-to-assess-erosion-and-effectiveness-of-soil-conservation-strategies>.

FAO/OIEA, 2017. USE OF ¹³⁷ Cs FOR SOIL EROSION ASSESSMENT. *ROME* [en línea], pp. 1-76. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/74f5f529-4cc5-472b-9ed1-b29158d24ff5/>.

GASPAR, M., 2015. la erosión del suelo en Viet Nam. [en línea], vol. 56/1, pp. 14-15. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/un-terreno-estable-tecnicas-nucleares-para-frenar-la-erosion-del-suelo-en-viet-nam>.

GIL, R.H., PERALTA, J.L., CARRAZANA, J., RIVEROL, M., AGUILAR, Y., MOREJÓN, Y.M. y OLIVEIRA, J., 2015. EN CUBA Utilization the nuclear techniques use to estimate the water erosion in tobacco plantations in Cuba. *Cultivos Tropicales* [en línea], vol. 36, no. 4, pp. 7-13. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu>.

HERNÁNDEZ, R.Y.S., ÁGUILA, H.C. y PÉREZ, J.M., 2005. Uso Del Cesio 137 Como Radiotrazador En La Cuantificación De La Erosión De Suelos Tropicales. *Nucleus* [en línea], no. 38, pp. 19-24. ISSN 0864084X. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=24713909&lang=es&site=ehost-live>.

JAWERTH, N. y GASPAR, M., 2018. Cómo ganar la batalla contra la erosión del suelo: conservación de tierras fértiles y preservación de la calidad del agua con ayuda de técnicas nucleares. *Organismo Internacional de energía Atómica* [en línea], vol. 59-1, no. bolletin, pp. 14-17. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull59-1/5911417_es.pdf.

KALKAN, K.S., FORKAPIĆ, S., MARKOVIĆ, S.B., BIKIT, K., GAVRILOV, M.B., TOŠIĆ, R., MRCROSSED D SIGNA, D. y LAKATOŠ, R., 2020. The application of ¹³⁷ Cs and ²¹⁰ Pb ex methods in soil erosion research of Titel loess plateau, Vojvodina, Northern Serbia. *Open Geosciences*, vol. 12, no. 1, pp. 11-24. ISSN 23915447. DOI 10.1515/geo-2020-0002.

NAM, V., 2018. Iaea Bulletin. *IAEA BULLETIN* [en línea], vol. 59-1, no. Marzo, pp. 40. Disponible

en:https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull591_mar2018_es.pdf.

SANZ, J.R. y FILLOL, A.L., 2017. *PARA ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA* [en línea]. S.l.: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NUCLEAR TRABAJO. Disponible en: http://oa.upm.es/49203/1/TFG_JORGE_RANGEL_SANZ.pdf.

SIBELLO, H.Ms.R.Y., 2013. *Cuantificación de la erosión de los suelos en zonas de interés económico y ambiental de la provincia de Cienfuegos, Cuba, utilizando el cesio-137 como radiotrazador* [en línea]. S.l.: Universidad de Alicante. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36482/1/tesis_sibello_hernandez.pdf.

SOTO, J., GÓMEZ, J., GONZÁLEZ, A., REMONDO, J., DÍAZ DE TERÁN, J.R., CENDRERO, A. y ALCAIDE, J., 2002. Evolución de los deslizamientos de ladera mediante su caracterización con Cs-137. *Cuaternario y Geomorfología* [en línea], vol. 16 (1-4), no. 1-4, pp. 73-81. Disponible en: Landslides, chronology and evolution, isotopic datation, Cs-137.

VIMOS, M., 2017. *Evaluación del estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en tres agroecosistemas*. S.l.: s.n.

ArcGeek. 2019. ¿Qué es la topografía? [En línea] 10 de 10 de 2019. [Citado el: 17 de 02 de 2021.] <https://acolita.com/que-es-la-topografia-la-guia-definitiva/#:~:text=La%20topograf%C3%ADa%20es%20el%20estudio%20de%20la%20superficie%20del%20terreno.&text=El%20origen%20de%20la%20topograf%C3%ADa,la%20superficie%20de%20la%20tierra..> 20.

Cómo ganar la batalla contra la erosión del suelo — Las ciencias nucleares ayudan a los agricultores de Marruecos. **Jawerth Nicole. 2018.** Viena, Austria : s.n., 2018, IAEA/OIEA, pág. 4. 100.

GADMRIOBAMBA. 2021. Riobamba. [En línea] 14 de enero de 2021. [Citado el: 25 de enero de 2021.] <http://www.gadmriobamba.gob.ec/>.

GAMDCALAUZI. 2020. Cantón Alausi. . [En línea] 14 de Diciembre de 2020. [Citado el: 25 de enero de 2021.] <http://www.alausi.gob.ec/>.

GAMDCCOLTA. 2018. Gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Colta. *ubicación geográfica*. [En línea] 19 de Febrero de 2018. [Citado el: 25 de enero de 2021.] <https://municipiodecolta.gob.ec/gadcolta/index.php/c.135>.

López, Antonio Hayas. 2019. *Análisis y modelización de la contribución de la erosión por cárcavas a la producción de sedimentos en la cuenca del Guadalquivir*. España : Dialnet, 2019. págs. 1-146. 233310.

Riobamba.com. 2020. CLIMA DE RIOBAMBA. [En línea] 12 de febrero de 2020. [Citado el: 2020 de enero de 27.] <https://riobamba.com.ec/es-ec/chimborazo/riobamba/recomendaciones/clima-riobamba-a3q6ttzlr.6>.

Significados.com. 2018. significados . *Qué es latitud y altitud* . [En línea] 19 de 11 de 2018. [Citado el: 17 de 02 de 2021.] <https://www.significados.com/latitud/#:~:text=La%20altitud%20es%20la%20altura,la%20tierra%20y%20el%20ecuador..20>.

Technologies,U.S. Geological . 2021. Google Maps. *Datos del mapa @2021*. [En línea] TerraMetrics , 28 de 1 de 2021. [Citado el: 28 de 1 de 2021.] <https://www.google.com/maps/place/Alausi/@2.267777,78.8438798,11z/data=!4m5!3m4!1s0x91d2846d94f69b1d:0x32bed3d51cfd117d!8m2!3d-2.2965559!4d-78.7022678!5m1!1e4.4>.

Technologies,U.S. Geological. 2021. Google Maps. *Datos del mapa @2021*. [En línea] TerraMetrics, 28 de 01 de 2021. [Citado el: 28 de 01 de 2021.] <https://www.google.com/maps/place/Guamote/@2.0598305,78.7598265,11z/data=!4m5!3m4!1s0x91d2f58c85e39e91:0x28adef1820ec5250!8m2!3d-2.0643306!4d-78.6114999!5m1!1e4.4>.

—. **2021.** Google Maps. *Datos del mapa @2021*. [En línea] TerraMetrics , 28 de 01 de 2021. [Citado el: 28 de 01 de 2021.] <https://www.google.com/maps/place/Colta/@-1.7352736,-78.7629182,13z/data=!4m5!3m4!1s0x91d303ec2cf0bb99:0xf6fdf31147bad85c!8m2!3d-1.734615!4d-78.7646228!5m1!1e4.4>.

—. **2021.** Google Maps. *Datos del mapa @2021*. [En línea] TerraMetrics , 28 de 1 de 2021. [Citado el: 28 de 1 de 2021.] <https://www.google.com/maps/place/Riobamba/@-1.6427404,->

78.6425818,11z/data=!4m5!3m4!1s0x91d3a8255b072981:0xcb8509cd0a3fdf99!8m2!3d-1.6650227!4d-78.6588786!5m1!1e4. 4.

—. **2021**. Google Maps. *Datos del mapa @2021*. [En línea] TerraMetrics , 28 de enero de 2021. [Citado el: 28 de enero de 2021.] <https://www.google.com/maps/place/Chimborazo/@-1.998331,79.9249715,8z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d2f198cb2f847f:0xadd62fa25ea950a3!8m2!3d-1.6647995!4d-78.6543255>. 25.

Tierra.tutiempo.net. 2021. mapa. *mapa topográfico* . [En línea] 25 de enero de 2021. [Citado el: 25 de enero de 2021.] <https://tierra.tutiempo.net/mapa.html>. 003462252.

Using cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian Prairie landscape. L.W.Martz, E.de Jong. 1987. 5, Octubre de 1987, ELSEVIER, Vol. 14, págs. 439-451.

Valverde, Franklin. 2011. La Hora lo que necesitas saber. *Suelos ecuatorianos afectados por erosión*. edición del día , 15 de septiembre de 2011, pág. 17.

ANEXOS

ANEXO A: IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DE REFERENCIA.



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO C: MUESTRAS DEL SITIO DE ESTUDIO



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SER EVALUADAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA GAMMA.

Secado de muestras de suelo a 60 °C



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Tamización de las muestras



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Ejemplares del suelo tamizados



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Partículas gruesas de las muestras de suelo.



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO E: MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA GAMMA

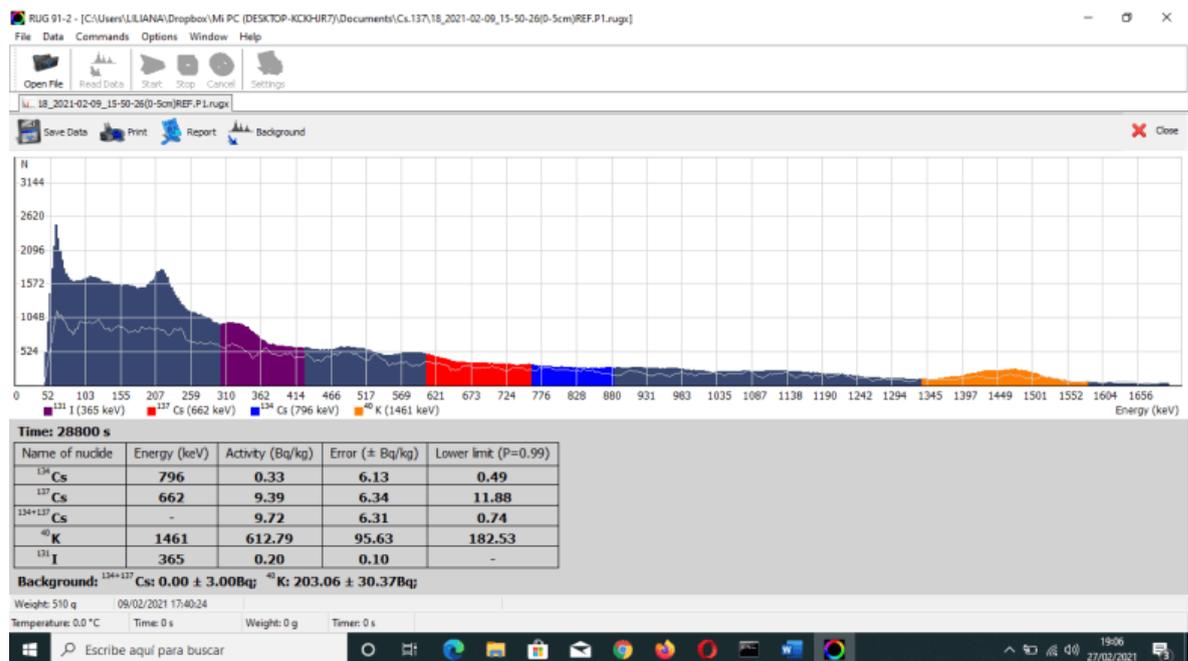


Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO F: ESPECTROS Y VALORES DE LAS ACTIVIDADES DEL Cs-137, DE DOS PUNTOS DEL SITIO DE REFERENCIA

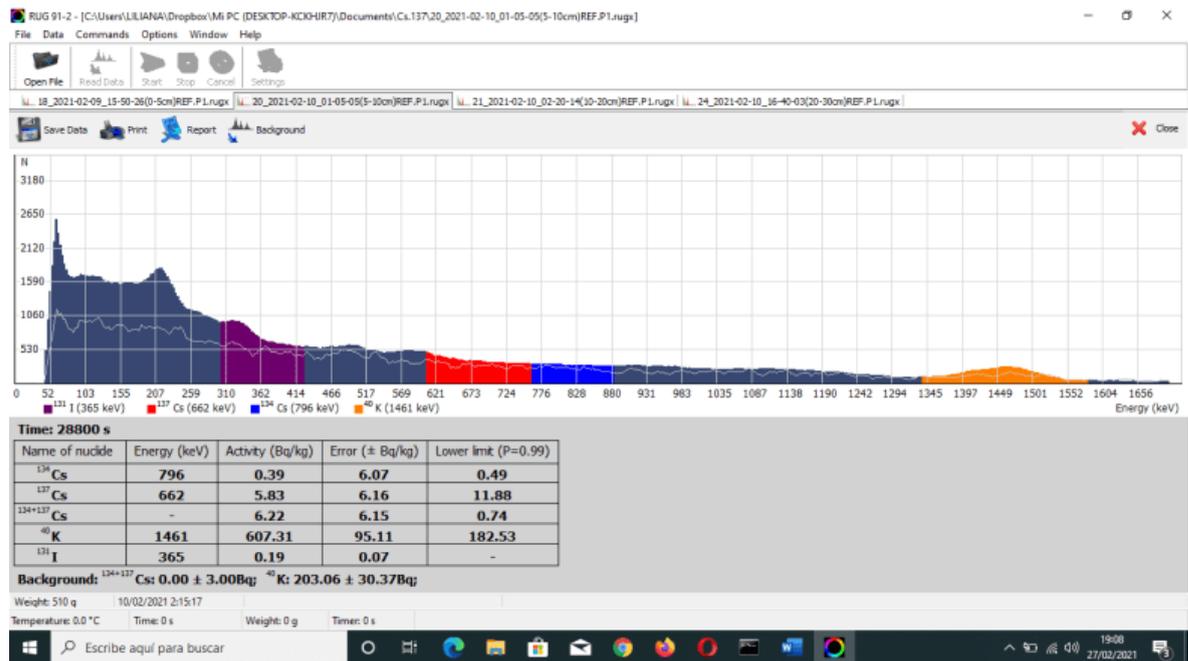
PUNTO 1

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (0-5)cm



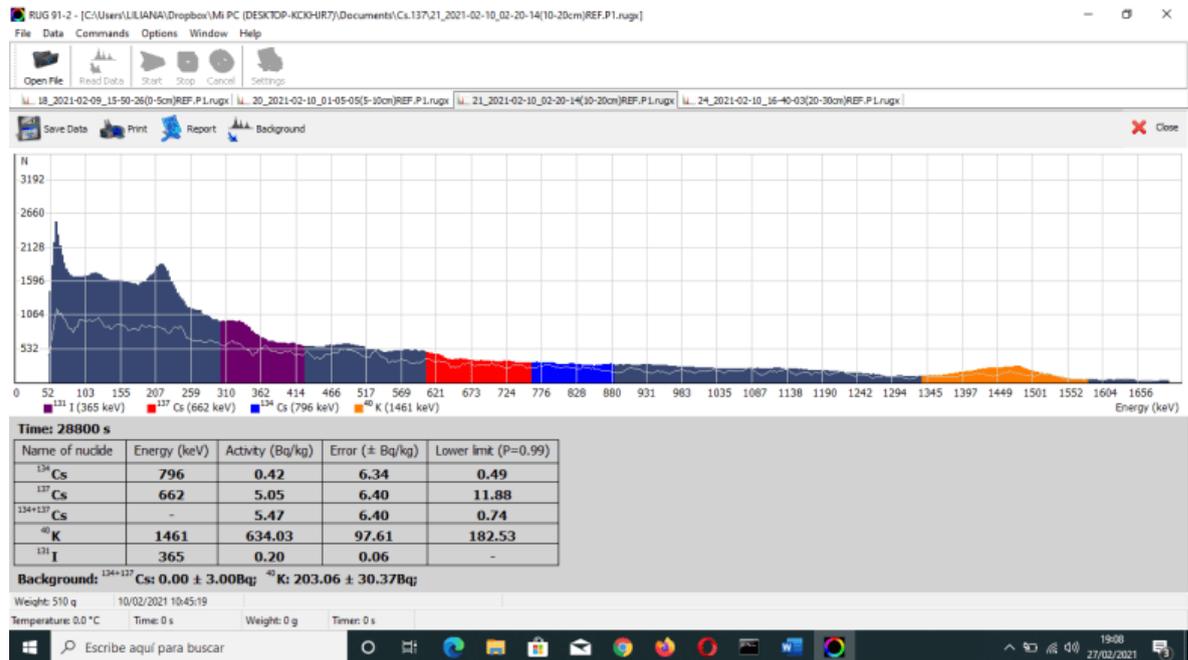
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (5-10)cm



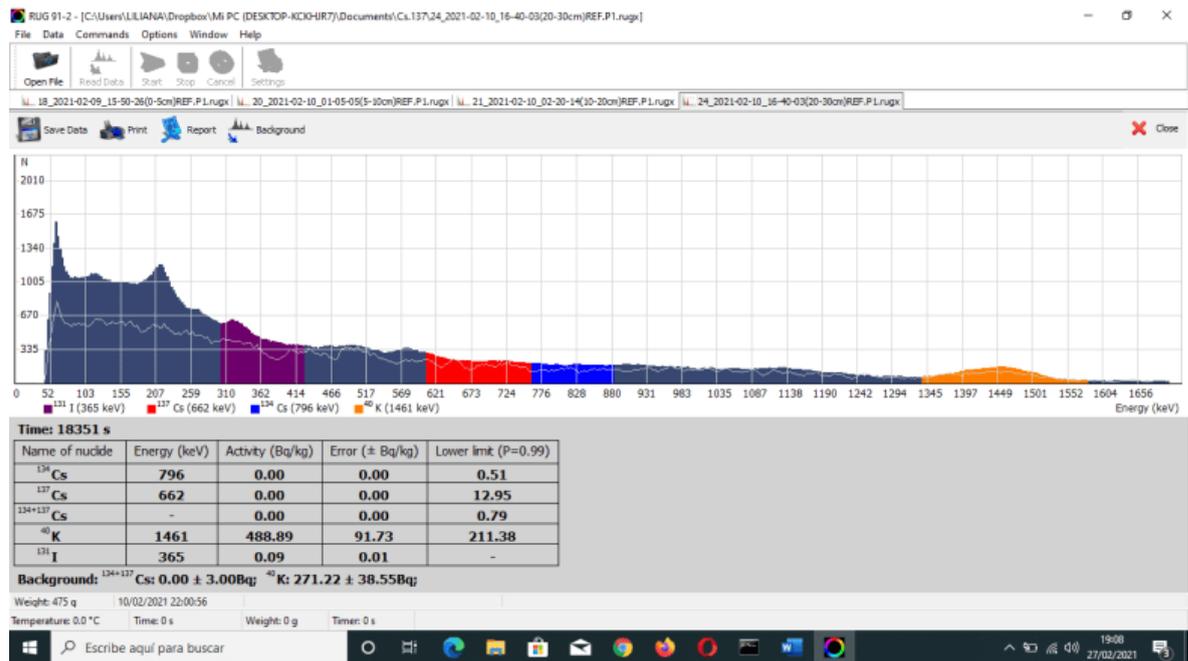
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (10-20)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

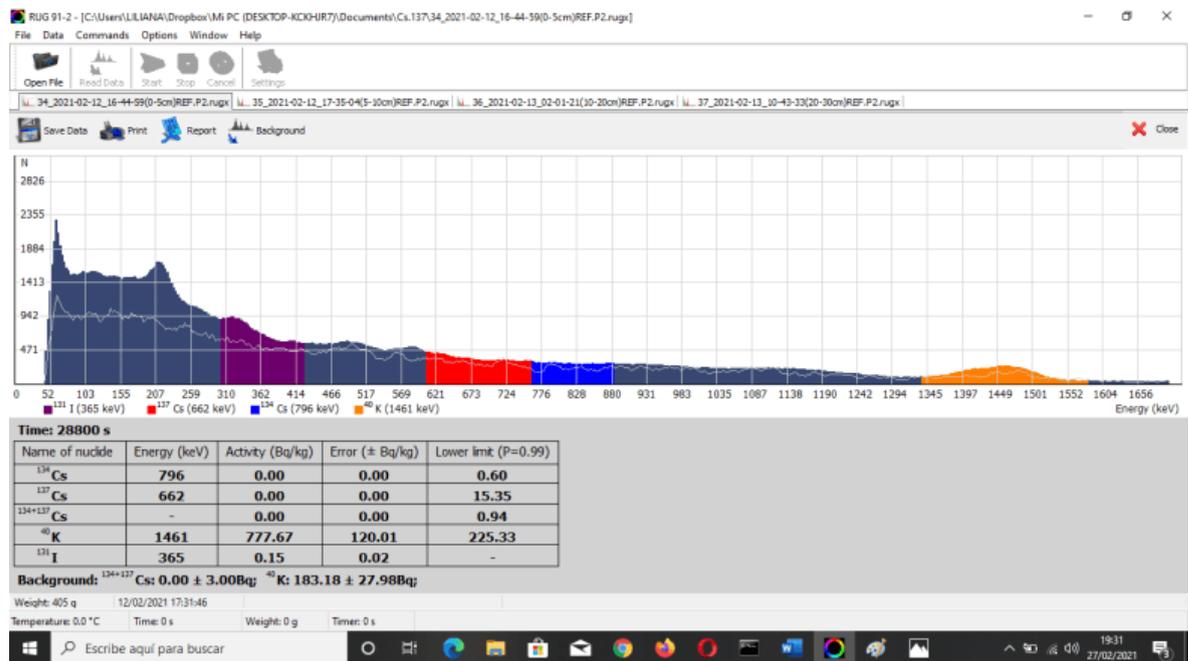
Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (20-30)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

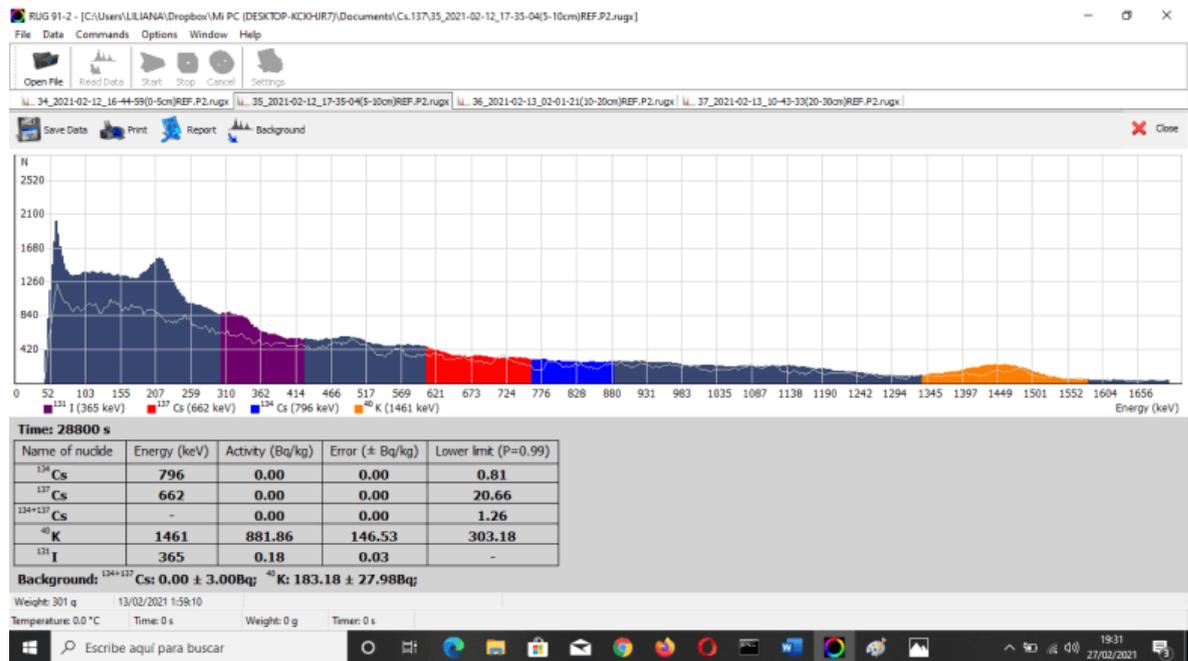
PUNTO 2

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (0-5)cm



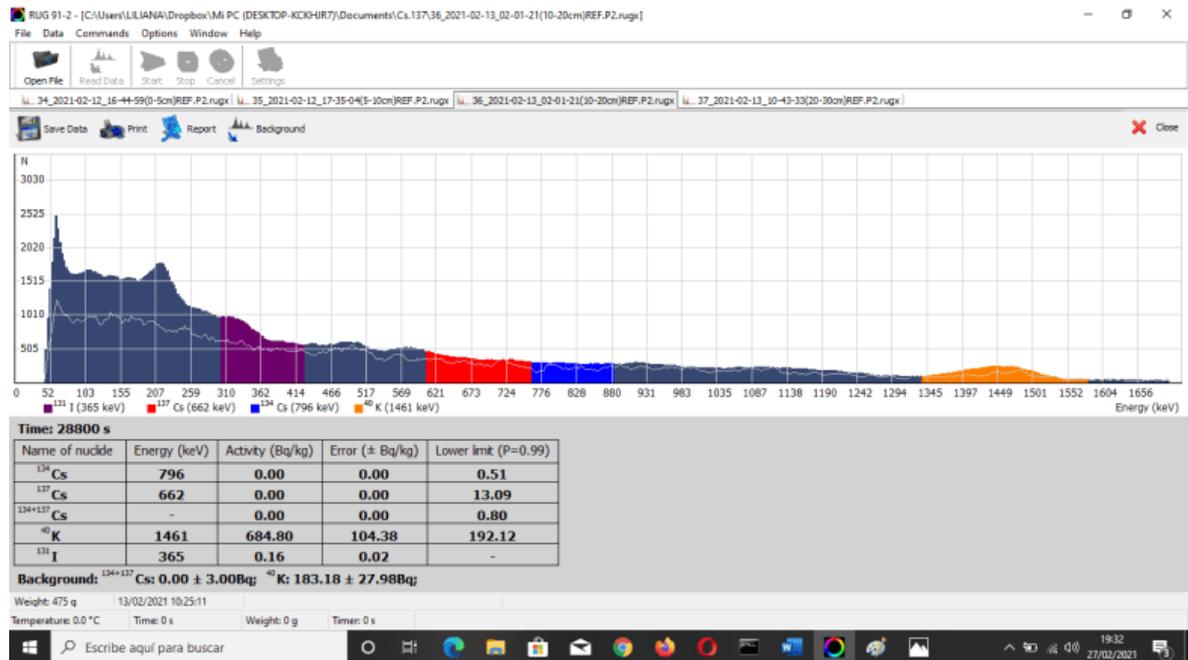
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (5-10)cm



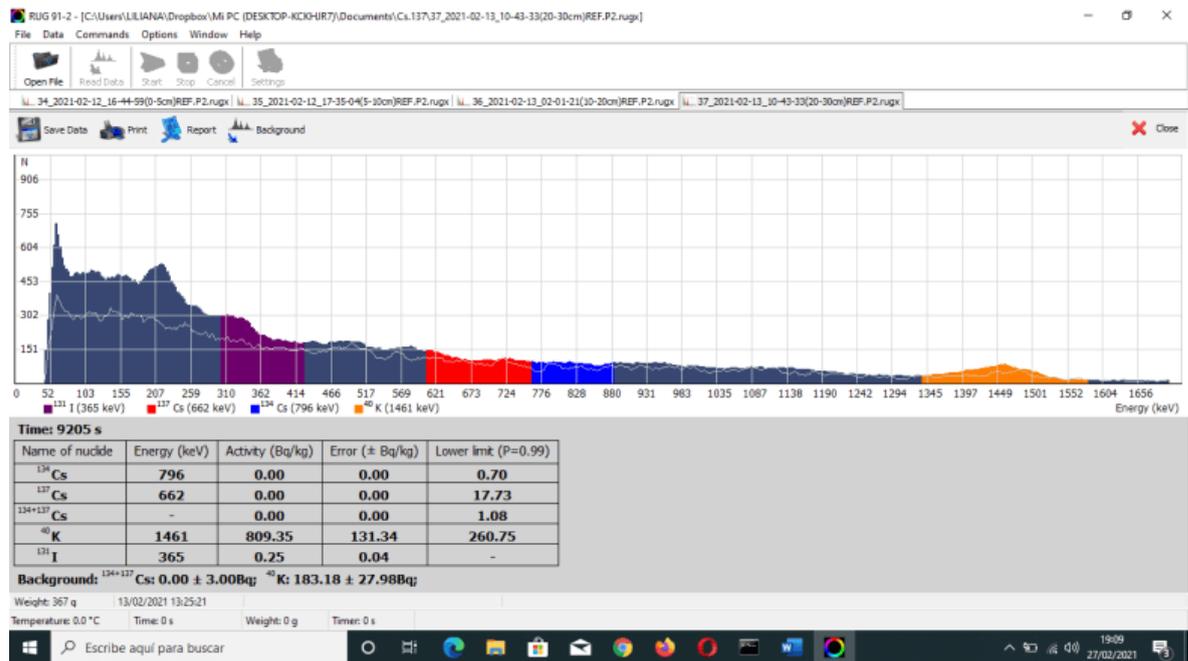
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (10-20)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (20-30)cm

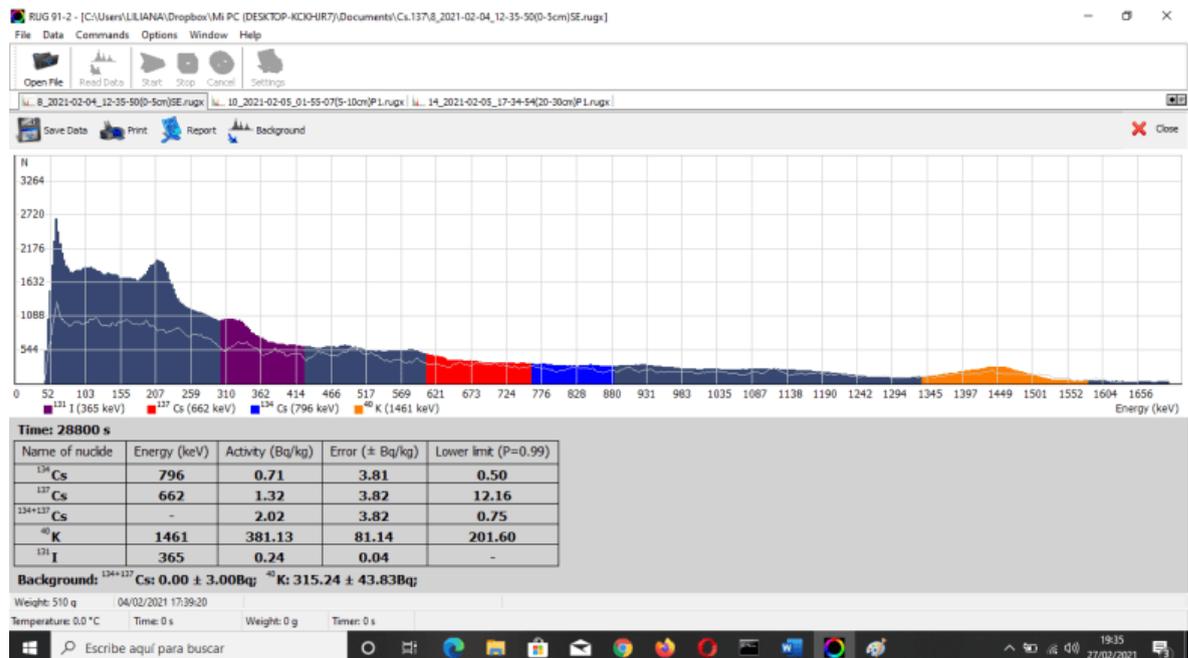


Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

ANEXO G: ESPECTROS Y VALORES DE LAS ACTIVIDADES DEL Cs-137, DE DOS PUNTOS DEL SITIO DE ESTUDIO

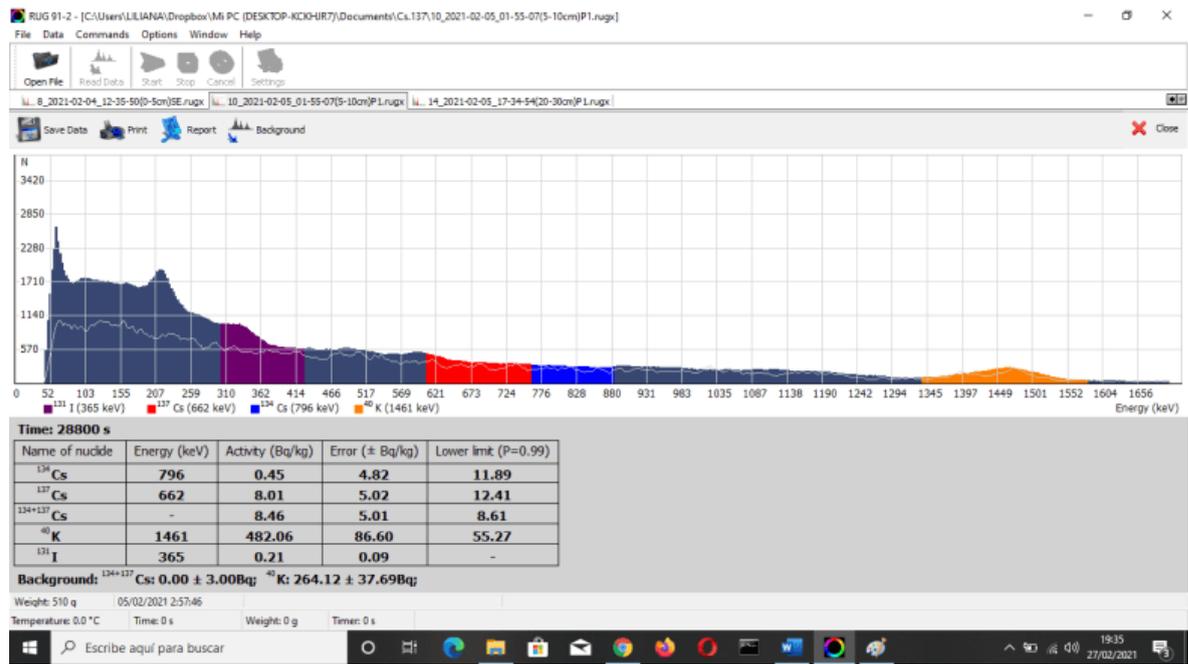
PUNTO 1

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (0-5)cm



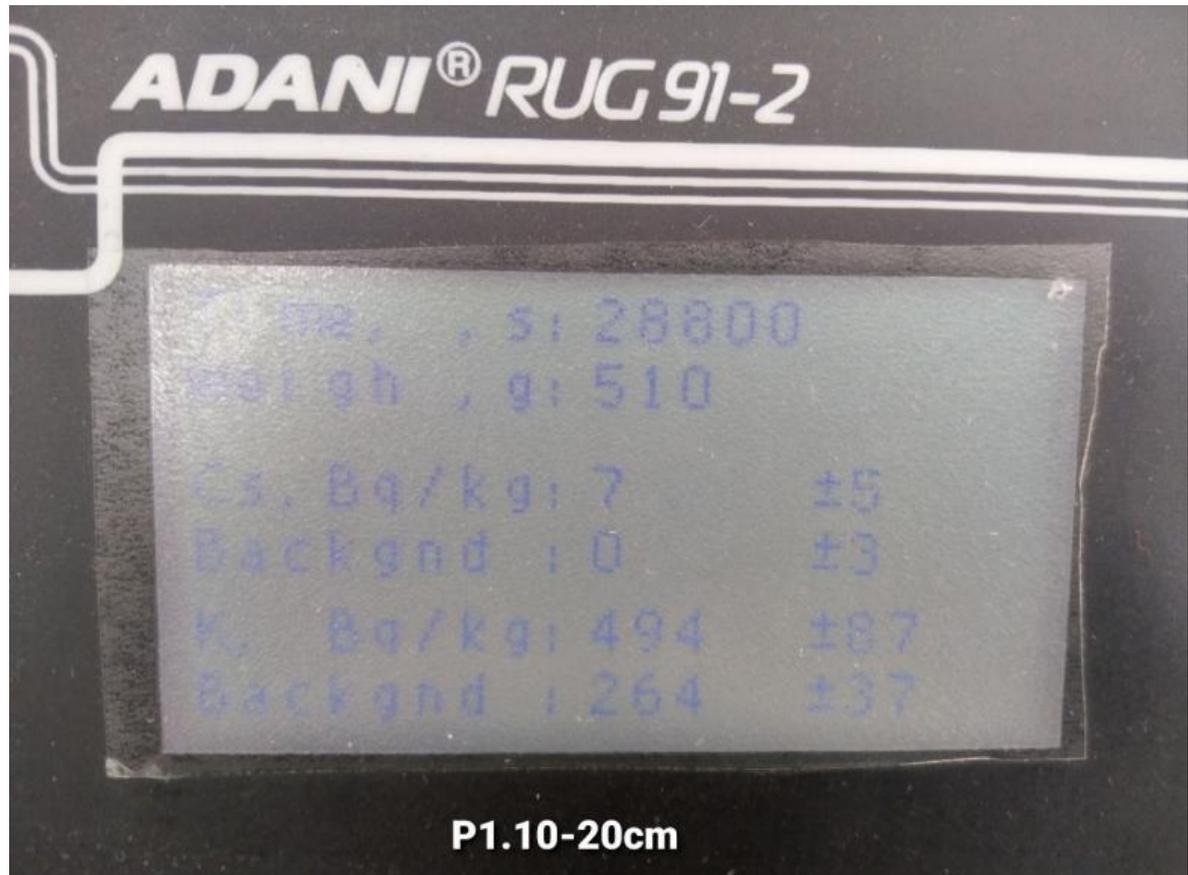
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (5-10)cm



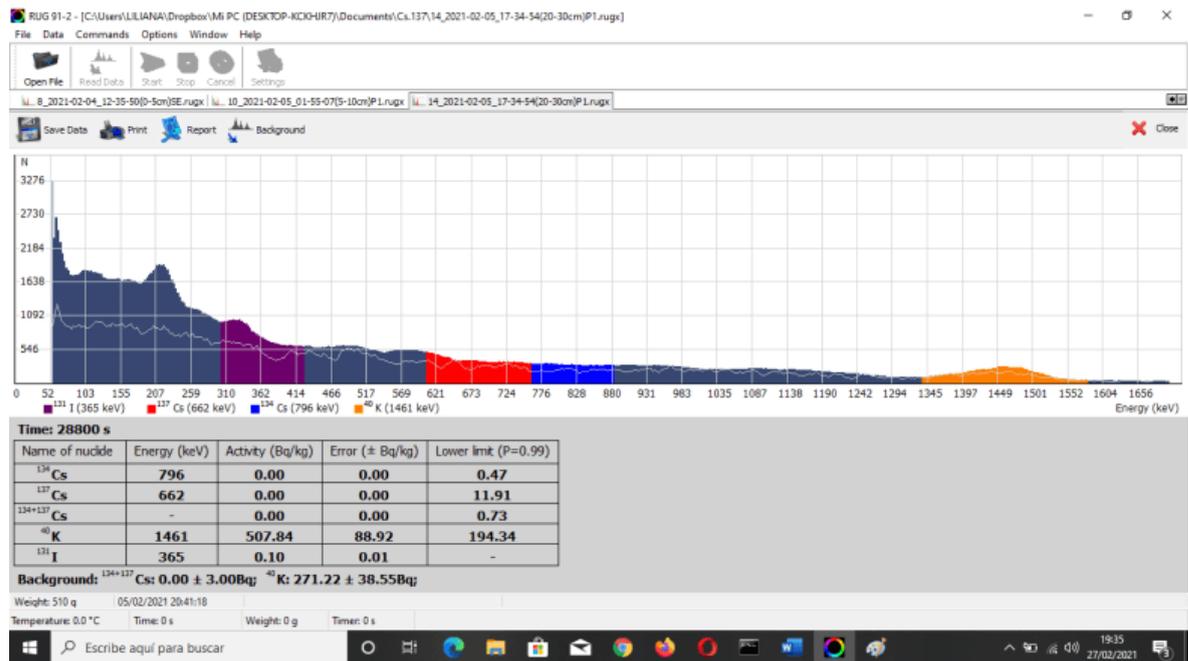
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (10-20)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

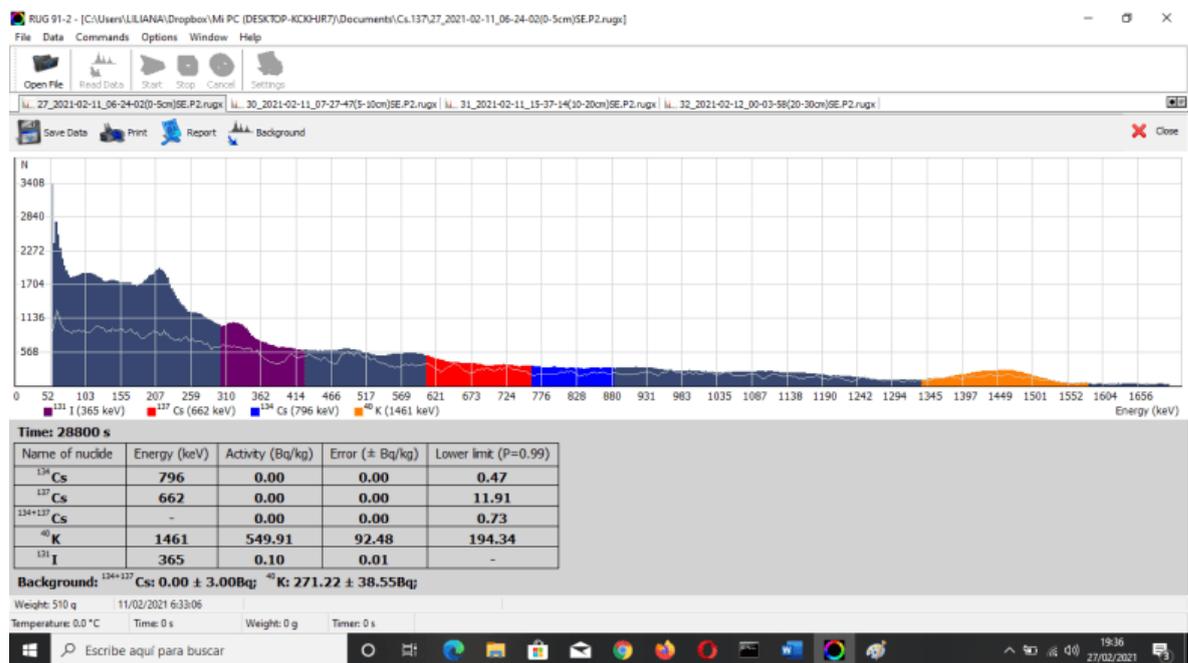
Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (20-30)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

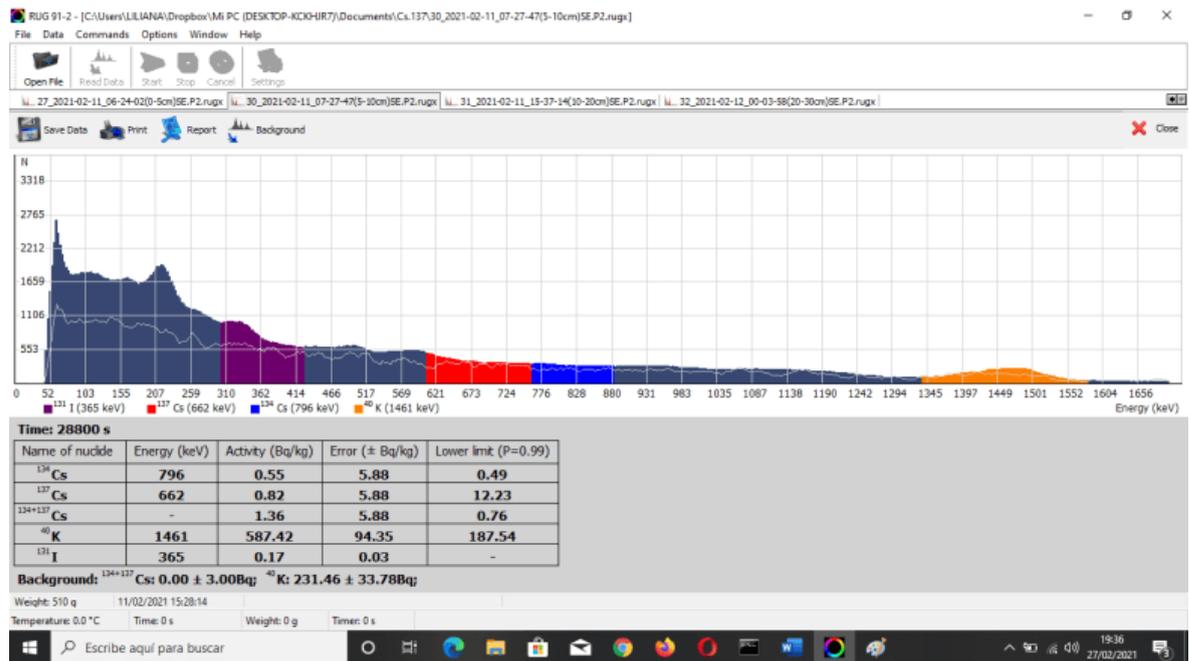
PUNTO 2

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (0-5)cm



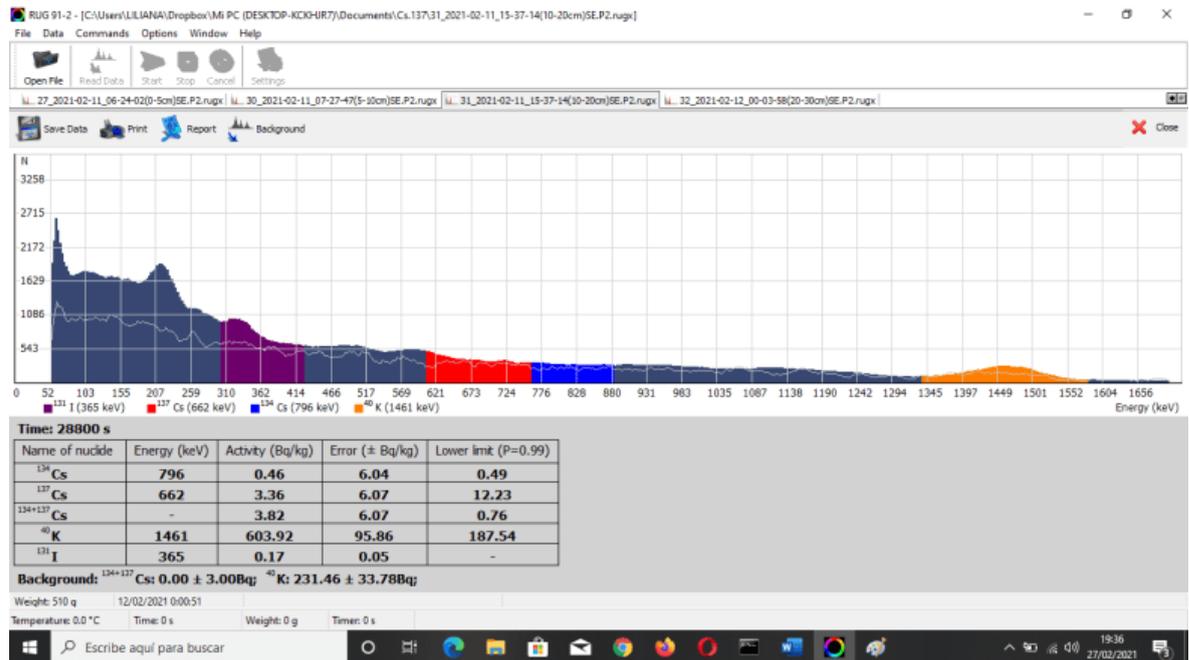
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (5-10)cm



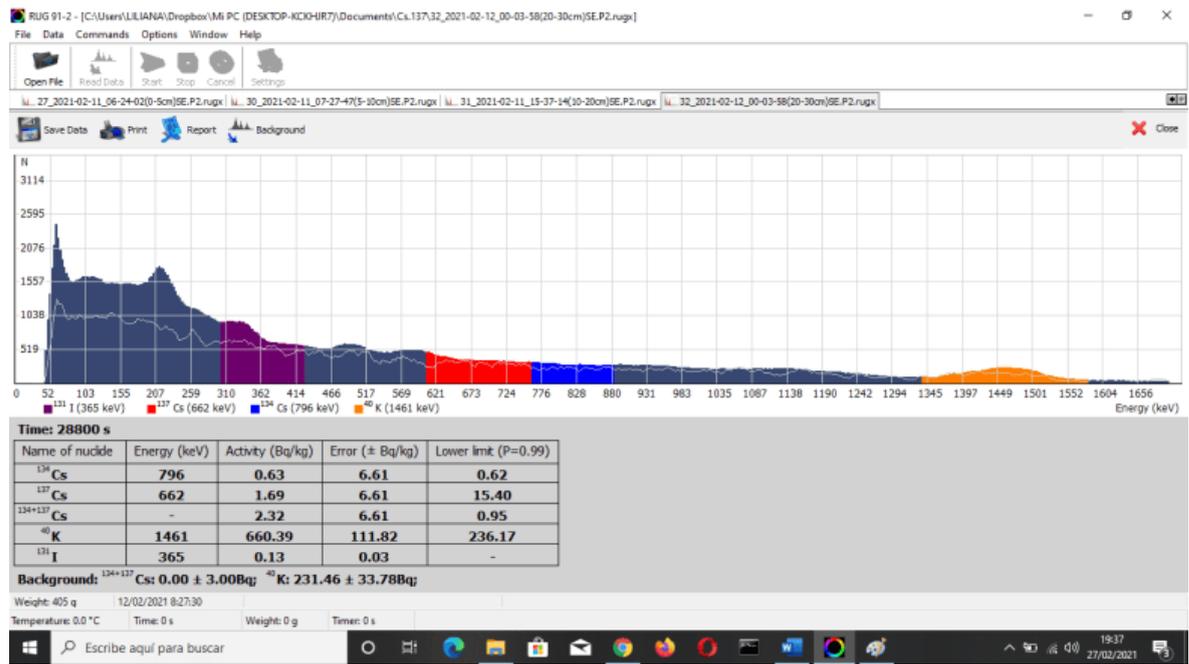
Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (10-20)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021

Espectro y Actividad del Cs-137 a una profundidad de (20-30)cm



Realizado por: Shilquigua V. Liliana J, 2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
CARRERA DE FÍSICA

GUÍA DE LABORATORIO DE FÍSICA

PRÁCTICA No. 01- DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EROSIÓN, A PARTIR DE LA CUANTIFICACIÓN DEL Cs-137 EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

1. DATOS GENERALES:

NOMBRE: estudiante(s)

CODIGO(S): de estudiante(s)

.....

.....

.....

.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

23/03/2021

aa/mm/dd

2. OBJETIVO(S):

1. GENERAL

Determinar el nivel de erosión, a partir de la cuantificación del Cs-137 en la provincia de Chimborazo.

2. ESPECÍFICOS

1. Identificar cuáles son los parámetros y factores que influyen en la erosión, en el área de estudio en la provincia de Chimborazo.
2. Inspeccionar las zonas de estudio realizando un monitoreo del lugar y recolectar las muestras de suelo ubicado dentro de la provincia de Chimborazo, con ayuda de los sistemas de información geográfica.
3. Analizar las muestras obtenidas y cuantificar el contenido del radionucleido Cs-137 a través del equipo de espectrometría gamma.

3. METODOLOGÍA

Para determinar el nivel de erosión mediante la cuantificación del Cs-137, a través del equipo de espectrometría gamma se debe tener presente el siguiente diseño de muestreo.

3.1. Diseño de muestro

3.1.1 *Enfoque geográfico*

Para calcular el nivel de erosión se debe tener presente el enfoque geográfico en la provincia de Chimborazo en el cual podemos encontrar diferentes tipos de estudio, dado que, difiere según la altura del lugar que van desde las más elevadas cumbres hasta el subtropical en las tierras bajas que se debe tener presente para la selección de estudio.

En el artículo de la (FAO/OIEA, 2017) mencionan cuatro tipos de estudio de distribución del suelo dentro de ellos están; Estudios de: parcelas de campo o laderas, llanuras aluviales, cuencas, de sedimentación de yacimientos.

3.1.2 *Selección del sitio de estudio y recopilación de datos.*

Para seleccionar el sitio de estudio se debe investigar si la erosión está activa en ese lugar. En la provincia de Chimborazo, estudios anteriores dan a conocer los lugares con mayor erosión. Según el plan de desarrollo y de ordenamiento territorial de Chimborazo (Chimborazo, 2015) ha identificado que

los cantones con más porcentajes de suelos erosionados son: Alausí con un 5%, Guamote con un 90.13%, Riobamba con un 2,66% y Colta el 2,13%”.

- Cuando se realice la selección del sitio de estudio se debe entrevistar a los dueños de los terrenos, representantes municipales u otras personas que estén relacionadas con el área, dado que ellos sabrán proporcionar información sobre el uso de las tierras, el clima del lugar, los fenómenos meteorológicos inusuales, si ha existido los deslizamientos de tierra, los cambios que se ha ido produciendo por la erosión.
- Para que la investigación no sea tan compleja es útil seleccionar lugares donde no sea tan variante el clima, debido a que con el clima podremos obtener un dato muy importante ya que sabremos una causa aproximada sobre el motivo de la erosión ya sea esta por abundantes lluvias o falta de esta, también la humedad, la temperatura y la presión que exista en dicho lugar. Además, que exista datos topográficos y un historial de uso de la tierra.
- El lugar de estudio seleccionado no debe ser tan grande para limitar variedad y complejidad de los procesos, porque al escoger un lugar extenso primeramente se necesitaría de muchas personas que colaboren, y se tardaría muchos años en recolectar las muestras, además, todo el proceso por el cual debe pasar las muestras sería más demorado, y al realizar los cálculos podría haber confusiones para obtener los resultados. También es necesario conocer el presupuesto de la investigación y la disponibilidad del número de personal para obtener mejores resultados en la toma de muestras.
- Para la selección del sitio se debe realizar una recopilación de datos y antecedentes. También es importante tener los datos geográficos para la ubicación correcta de los sitios de estudio y de referencia, a continuación, se hace la descripción geográfica de los cantones que presentan mayor erosión dentro de la provincia de Chimborazo.

3.1.2.1 Datos geográficos.

La provincia de Chimborazo se caracteriza por tener una heterogeneidad climática, que es de tipo glacial, debido que cuenta con climas mesotérmico seco en las zonas cercanas a la costa y también un clima mesotérmico húmedo y semihúmedo.

Considerando que Guamote es el cantón con mayor erosión, se describe la información geográfica de la zona.

- Guamote: Según (Castillo, 2019) se encuentra ubicado en centro del oriente de la provincia de Chimborazo, abarca una extensión de 1221.4 Km² lo cual representa el 18.5% del total de la

provincia de Chimborazo y se encuentra a una altitud que varía desde los 2.560 hasta los 4.640 metros sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 12°C.

Por otra parte, su mayor extensión posee relieve de Cordillera, debido a la influencia de la cordillera Oriental y Occidental de los Andes que atraviesa a toda la provincia, con una extensión de aproximadamente 626.8 Km², (Castillo, 2019) menciona que este relieve esta por rocas volcánicas y sedimentos piroclásticos distinguidos principalmente en valles glaciares y en las cimas de las cordilleras. Según (Castillo, 2019) las zonas climáticas del cantón dependen de la altitud, la ubicación y principalmente por la presencia de la cordillera de los Andes respecto al movimiento de las masas de aire.

- Clima ecuatorial frio de alta montaña. Este clima se identifica a los 3000 m.s.n.m las temperaturas máximas a veces sobrepasan los 20°C y las mínimas son inferiores a 0°C y en su mayoría se encuentran entre los 4y 8°C.
- Clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo o húmedo. Las temperaturas medias anuales están comprendidas entre 12 y 20°C, sin embargo, existen temperaturas mínimas que desciende a 0°C y las máximas no superan los 30°C, finalmente la humedad está entre los 65 y 85%. Este tipo de clima se da durante dos estaciones lluviosas que son en los meses de febrero a mayo y en octubre y noviembre, mientras que la estación seca es de junio a septiembre.
- Clima de páramo. El clima es frio y húmedo, con algunos cambios imprevistos en el estado atmosférico, aunque existe una variabilidad en la temperatura anual, es pequeña de 2 a 10°C; los cambios de temperatura varias desde el punto de congelación hasta los 30°C. El clima en el páramo es invierno todas la noches y verano todos los días, sin embargo, la mayoría de tiempo es frio, y esto permite que la irradiación UV sea fuerte a medio día. En la figura 2.1 se observa un mapa topográfico del cantón Guamote, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.

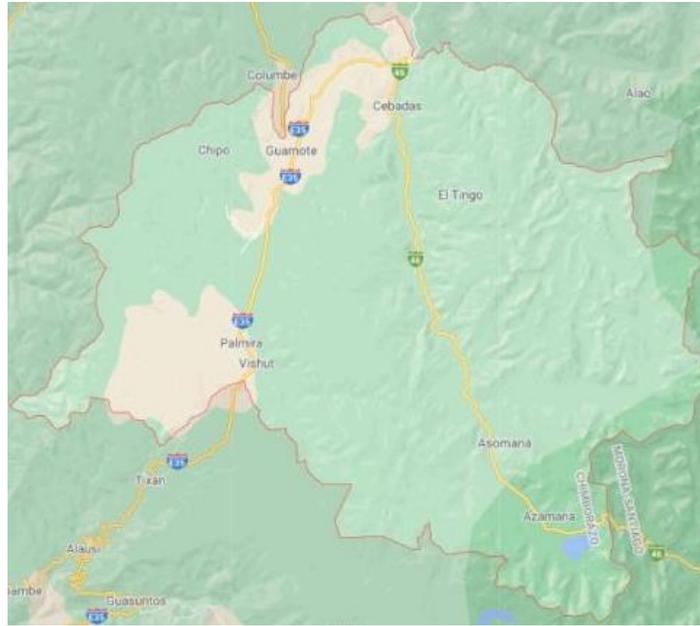


Figura. 1. Mapa topográfico del Cantón Guamote

Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021)

- Colta. En la página de (GAMDCOLTA, 2018) informa que Colta se halla al noroccidente de la provincia de Chimborazo a 18 Km de la ciudad de Riobamba. Se encuentra a una latitud es de $1^{\circ} 39'$ a $78^{\circ} 59'$ occidente a una altitud de 2750 a 3280 m.s.n.m, Su clima es frio y seco, la temperatura varía entre 10 y 13°C y en las colinas de la cordillera occidental, hacia la costa el clima varía notablemente, teniendo temperaturas de hasta 21°C . En las alturas de la cordillera es frio, húmedo y permanentemente con neblina. Existe una época de lluvia que va desde mediados de septiembre hasta mediados de enero. Finalmente, la humedad relativa es del 73%. En la figura 2-2 es un Mapa topográfico del cantón Colta, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.



Figura. 2. Mapa topográfico de cantón Colta

Realizado por (Technologies,U.S. Geological, 2021)

- Alausí. En la página del gobierno autónomo descentralizado del cantón Colta (GAMDCALAUSI, 2020) menciona que, tiene una superficie de 1.707 Km^2 . La temperatura promedio es de 14 a 15°C , se encuentra a 97Km de Riobamba. La figura 2-3 es un mapa topográfico del cantón Alausí, donde las partes de color café representan los sitios con mayor erosión.

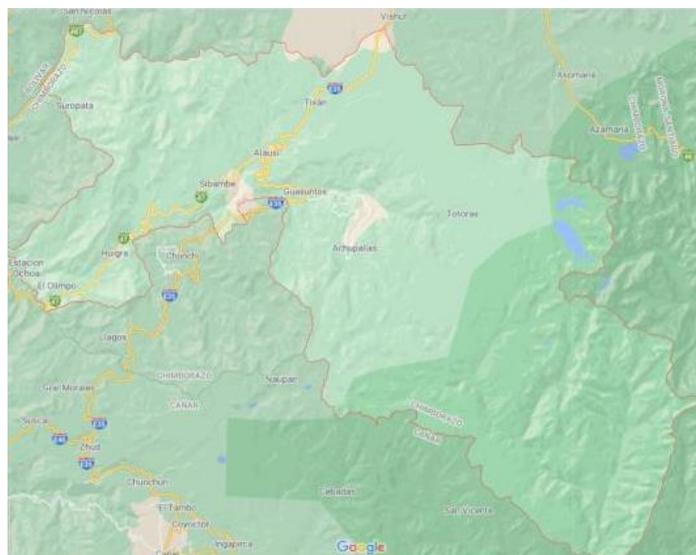


Figura. 3. Mapa topográfico del cantón Alausí

Realizado por: (Technologies,U.S. Geological , 2021)

Riobamba. (GADMRIOBAMBA, 2021), Está situado a 2.754 metros sobre el nivel del mar, y tiene una latitud de 1° 41' 46' latitud sur; 0° 3' 36' a una distancia occidental del meridiano de Quito. La temperatura promedio anual es 14 °C. (Alvear, 2015) manifiesta que existen cambios de temperatura muy bruscos que perjudica al ser vivo. En la página (Riobamba.com, 2020) describe dos estaciones húmeda y seca la estación. La estación seca es en los meses de abril a junio y la estación húmeda es de finales de agosto hasta mediados de enero. En la figura 2-4 se muestra un mapa satelital del cantón Riobamba, este cantón la mayor parte está cubierta por caseríos, sin embargo, algunos lugares que están utilizados en la agricultura sufren de erosión.

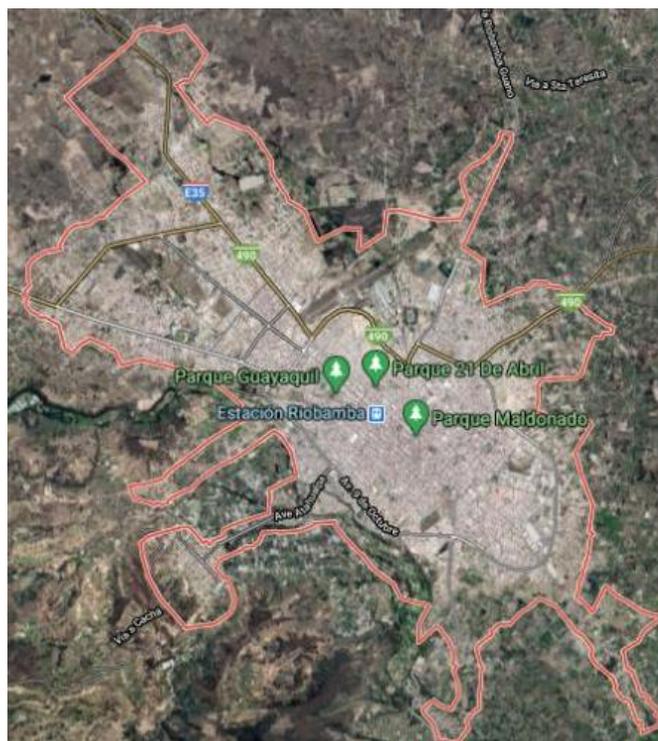


Figura. 4. Mapa topográfico del cantón Riobamba

Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021)

- a) Geomorfología y pedología; así como la topografía, accidentes geográficos típicos de la región, tipo y textura del suelo. En la figura 2-5 se muestra un mapa topográfico de la provincia de Chimborazo en que se puede observar el relieve además las zonas más perjudicadas por la erosión que están de color café.

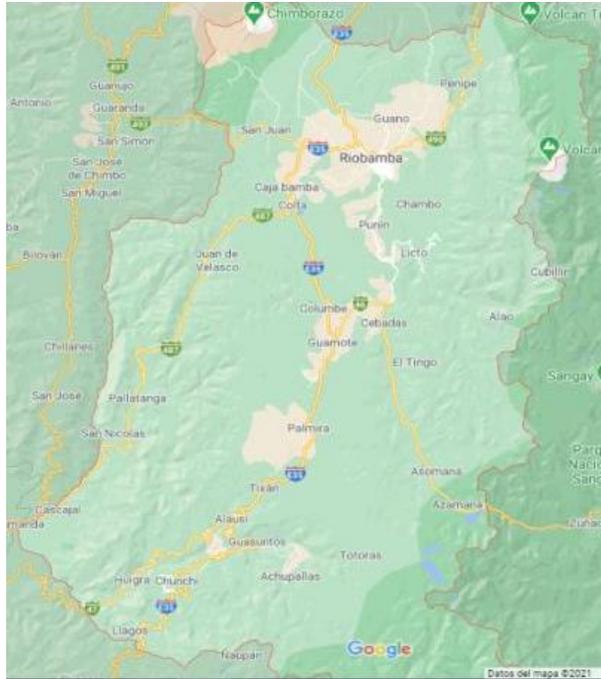


Figura 5. Mapa topográfico de la provincia de Chimborazo

Realizado por: (Technologies,U.S. Geological, 2021).

En algunas zonas que conforman la provincia de Chimborazo los principales accidentes geográficos que tienen los cantones que han sido más perjudicados por la erosión

- b) Uso del suelo: antecedentes del uso de la tierra, tipo y frecuencia de labranza y si tuvieron algún tratamiento los suelos.
- c) Registros: si ha existido anteriormente erosión, inundaciones o algún evento climático fuerte.

3.1.3 Estrategias de muestreo en el sitio de referencia.

Para la selección del sitio de referencia no perturbado se debe seleccionar superficies planas donde no haya existido erosión ni sedimentación, y este debe estar lo más cerca posible al sitio de estudio. Y como recomendación puede ser donde este sembrado pastizales ya que es el tipo de tierra más adecuado, porque no está perturbada y se encuentra en un estado homogéneo, además, que no hayan sido aradas durante los últimos 50 años.

Existirán lugares donde no hay tierras no perturbadas para el muestreo de referencia. Esto puede pasar más en las zonas montañosas con topografía inclinada por eso para realizar el estudio se debe seleccionar bien es sitio que va a ser evaluado.

En el artículo de (FAO/OIEA, 2017) menciona que, las profundidades de las muestras que servirán de referencia deberán exceder la profundidad real que tiene el Cs-137 tomando de la capa contaminada por unos 10 cm o al menos unos 5 cm, para certificar que este radionúclido se encuentre en las muestras.

El suelo cuando no es perturbado, el Cs-137 se concentrará dentro de los pocos centímetros de las capas superiores de la tierra y este radionucleido va disminuyendo con la profundidad del suelo esto significa que es de manera exponencial. Cuando el sitio ya es labrado, la actividad del Cs-137 es uniforme en todo el espesor del lugar. Este proceso nos permite conocer si el suelo fue perturbado por actividades humanas o fueron afectadas por la erosión.

El número de muestras va a depender de la variabilidad aleatoria del suelo, también tener en cuenta las propiedades de la tierra como: la densidad aparente del suelo, la capacidad de infiltración, el agrietamiento y la pedregosidad, los efectos de la cubierta vegetal, las raíces, entre otras.

3.1.4 Recolección de muestras y herramientas de muestreo

Tabla 1. Profundidades para las diferentes zonas.

TIPOS DE ZONA	PROFUNDIDADES
Sitios de referencia	0cm-20cm
Zonas cultivas	20-40cm
Zona de depósito	40-60 cm o más
Zonas baldías	30cm

Realizado por: (FAO/OIEA, 2014)

A continuación, se describe los tipos de muestreo y de herramientas dependiendo si se cuenta con ellas o no.

3.1.4.1. Muestreo a granel.

Aquí se utiliza un cilindro de acero como núcleo. El diámetro del tubo suele ser de 7 a 10 cm con grosor de pared de 2-5 mm. El descorazonador sirve para los suelos pedregosos y compactados. Este equipo es muy útil para sacar las muestras manualmente y hace que la recolección de las muestras sea mucho más fácil y rápida. (FAO/OIEA, 2017)

3.1.4.2. Muestreo incremental de profundidad

En el muestreo incremental de profundidad proporciona una información significativa sobre la distribución de la profundidad ya que se toma en cuenta tanto la distribución vertical (idealizada para zonas de humedad en el suelo) o perfil. Este muestreo requiere de dispositivos especiales que sirven

para llegar al objetivo, que son capaces de recolectar capas delgadas de suelo, por ejemplo, de 1, 2 o máximo 5 cm de espesor. La herramienta más usual para este muestreo incremental de profundidad es la placa raspadora que está formada por un marco de metal que se fija en la capa superior del suelo y la placa de metal que se lo puede mover dentro del marco. (FAO/OIEA, 2017)

3.1.4.3. Muestreo básico

Es aquel muestreo que se ha venido utilizando desde hace varios años para la toma de muestras de suelo, la misma que es muy útil cuando no se cuenta con un equipo.

Para recolectar las muestras en este tipo de muestreo es recomendable al igual que los anteriores muestreos limpiar la superficie del suelo ya sea que este cubierto por plantas, estiércol, etc.

Los materiales y herramientas deben estar limpios, y la pala de punta o la azada tienen que estar fuera de óxido y fuera de cualquier contaminante químico, finalmente se las debe limpiar para obtener cada muestra.

Con la ayuda de la pala o azada se debe cavar un agujero del ancho de estas y con una profundidad de 120cm para lugares que no son cultivados por 50 años.

Para sacar las muestras se debe colocar la punta de la pala o la azada a unos 3-5 cm del borde del agujero y así tomar ese trozo de tierra hasta la profundidad indicada. En la figura 2-6 se representa como se debe tomar muestras con una pala o una azada.

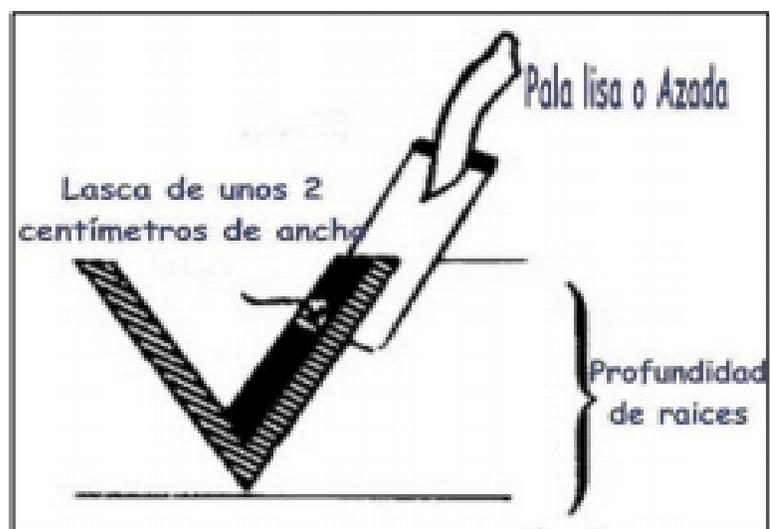


Figura 6. Toma de muestra de suelo

Realizado por: (Belarmino et al., 2017)

Si en el caso de que el terreno sea seco la muestra de la debe tomar de hacia abajo arriba por uno de los lados del agujero, entrando unos 3cm.

3.1.5 *Análisis de datos del Cs-137 mediante espectrometría gamma.*

3.1.5.1 *Preparación de muestras.*

- Las muestras de suelo serán secadas al aire o al horno a 60°C.
- Luego serán apretujadas con un machacador y tamizadas la tierra fina (0-2mm).
- Pesar fracciones finas y gruesas
- En un recipiente se coloca de 50 a 1500g de muestra para ser analizada en el equipo de espectrometría gamma, este intervalo de masa es aceptable para tener mejores resultados y menos error al ser calculado el Cs-137.
- Las muestras estarán sujetas a un tiempo de conteo de 8 horas en adelante, para tener un error aceptable.
- El equipo analítico espectrométrico está conectado a una computadora con software para la evaluación de datos.
- El Cs-137 se detecta debido a que se caracteriza por un pico bastante identificable a una energía de 662 keV.
- Los datos espectrales recopilados se convierten en actividad de radiación gamma expresada en $Bqkg^{-1}$. La actividad del radionúclido por unidad de peso (actividad de masa) se convierte en inventario (actividad por unidad de área) expresada en $Bq m^{-2}$.

3.1.6 *Conversión de datos de Cs-137 a valores de pérdida de suelo.*

Este es el último paso para obtener el nivel de erosión en el sitio de estudio, para ello se hace uso de las fórmulas mencionadas a continuación. Utilizaremos los modelos teóricos ya que los modelos empíricos ya no son tan confiables, y dentro del boletín de la (FAO/OIEA, 2014) menciona, el modelo para la cuantificación de la erosión en suelos cultivados y los Modelos para la cuantificación de la erosión en suelos no cultivados.

3.1.6.1 *Modelos empíricos*

Se basan en la calibración de las actividades del Cs-137 con tasas de erosión medido en parcelas experimentales. Las ecuaciones que están dentro de este modelo son sencillos, sin embargo, después de algunos estudios realizados dan a conocer que en la mayoría de los estudios de erosión que son por tiempos prolongados pudieran no estar disponibles para el lugar de estudio y por otro lado las ecuaciones empíricas obtenidas son para cada lugar específico. Las ecuaciones derivadas son

específicas del lugar y tiempo, estas expresan la correlación que existe entre la reducción del inventario total de Cs-137 X (%) y la pérdida del suelo Y ($ton\ ha^{-1}años^{-1}$) y tienen la forma de ecuación exponencial como:

$y = axb$ o $y = ax$ con a y b como constantes.

Así obtuvieron la ecuación de la forma:

$$y = 0,88x^{1,18} \quad (1)$$

Esta ecuación se desarrolló con valores de estudios de la década de los 60 y los primeros años de la década de los 70, por lo que no se recomienda utilizar para condiciones actuales porque existen muchos cambios en el medio ambiente y la agricultura, por lo que podría haber resultados erróneos.

3.1.6.2 Modelos teóricos

- Modelos empleados en la cuantificación de la erosión en suelos cultivados.

Los modelos empíricos fueron superados por los modelos teóricos los cuales han podido expresar las condiciones de las tierras no perturbadas y cultivadas.

Para estos modelos tomaremos como referencia (FAO/OIEA, 2017) y (Kalkan et al., 2020), y algunos artículos en los que han utilizado estas ecuaciones para los estudios de la erosión suelo.

c) Modelo proporcional.

Este es el tipo de modelo más utilizado para evaluar los valores de la erosión de los suelos a partir de la cuantificación del Cs-137.

Dentro de este modelo proporcional se necesita de la siguiente ecuación, que es necesaria para encontrar los inventarios de cada profundidad tanto para el sitio de referencia como para el de estudio según menciona (Caballero, 2018).

$$In = \frac{AESM * CPF}{ASH} \quad (2)$$

Donde:

In representa el inventario de Cs-137 de la muestra ($Bq\ m^{-2}$), I_{ref} representa el inventario del Cs-137 del sitio de referencia de la muestra ($Bq\ m^{-2}$), $AESM$ es la actividad específica de la muestra entregada para el análisis espectrométrico ($Bq\ Kg^{-1}$) y CPF es la masa corregida de la fracción fina de la muestra (kg), la cual se calcula según la ecuación.

$$CPF = PT - PG \quad (2.1)$$

Donde:

PT es la masa total de la muestra seca (g), PG simboliza el peso de la fracción gruesa (g) y ASH es el área superficial horizontal de la muestra m^2 .

El modelo proporcional se basa en una simple deducción del Cs-137 cuando se mezcla por completo en el arado o de cultivo y el desgaste del suelo es directamente proporcional a la cantidad de radionucleido removido desde el perfil del suelo donde se almacenado el Cs-137. Y está dado por la siguiente ecuación.

$$Y = \frac{10BdX}{100TP} \quad (3)$$

Donde:

Y es el promedio anual de la pérdida de suelo ($ton.ha^{-1}.año^{-1}$), d la profundidad del arado o lecho cultivado (m), B es la densidad volumétrica del suelo ($kg.m^{-3}$), T simboliza el tiempo transcurrido desde el inicio de la acumulación del Cs-137 (años), P es el factor de corrección del tamaño de la partícula X representa el porcentaje de reducción del inventario total de Cs-137 definido como:

$$X = \left(\frac{In - In_{ref}}{In_{ref}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

In_{ref} es el inventario total de referencia (Bqm^{-2}), In la medida de cada inventario de Cs-137 en cada capa de muestreo (Bqm^{-2}) en este caso solo del sitio de estudio.

El factor P ha sido incorporado en la ecuación 2 para la separación de las partículas finas. P es la función de la razón de la concentración del Cs-137 del depósito movilizado a la del suelo original.

En caso donde el inventario del Cs-137, In para un punto de muestreo es mayor que el inventario local de referencia In_{ref} , P' es el factor de corrección del tamaño de las partículas, la degradación del depósito puede ser asumida por la tasa de deposición anual Y' ($ton.ha^{-1}.año^{-1}$), puede ser considerada usando la siguiente ecuación.

$$Y' = \frac{10BdX'}{100TP'} \quad (4)$$

X' = Porcentaje de incremento en el inventario total de Cs-137 definido como

$$X' = \left(\frac{In_{ref} - In}{In_{ref}} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

P' en la ecuación (4) es un factor de concentración del tamaño de las partículas definido como una función de la razón de la concentración del Cs-137 del sedimento depositado al sedimento que se ha movilizado.

El modelo proporcional es una aplicación fácil, que solo requiere la información de la profundidad del arado y de la densidad volumétrica del suelo, igualmente de los valores del Cs-137 para los puntos de muestreo, sin embargo, este modelo no tiene en cuenta la progresiva reducción del contenido del Cs-137 del suelo depositado a medida que la erosión avanza cuanta arriba.

Este modelo proporcional es utilizado en otro artículo ya dentro de su estudio así como en (Caballero, 2018), que pudo determinar los inventarios y conocer los patrones de distribución del Cs-137 en los perfiles del suelo de 5 lugares.

d) Modelo de balance de masa simplificado (modelo de balance de masa 1)

En este modelo el balance de masas intenta superar algunas de las limitaciones del método proporcional simple en este modelo toma en cuenta tanto las entradas como las pérdidas de Cs-137, aquí se toma en consideración desde el inicio de la lluvia radioactiva y la caída progresiva de la capa del arado. No considera el tamaño de las partículas y le añaden el factor de corrección P en el modelo. Para un sitio erosionado ($A(t) < A_{ref}$), asumiendo una tasa constante de descenso de la superficie $R(ma^{-1})$, el inventario total del Cs-137, (A, Bqm^{-2}), en el año t (año) se puede expresar como:

$$A(t) = A_{ref} \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t-1963} \quad (5)$$

Se reorganiza la ecuación con la tasa de erosión. $Y = (ton. ha^{-1}. año^{-1})$ y queda:

$$Y = \frac{10dB}{P} \left[1 - \left(1 - \frac{X}{100}\right)^{\frac{1}{(t-1963)}} \right] \quad (5.1)$$

Donde:

A_{ref} es el inventario local de referencia (Bqm^{-2}), Y el promedio anual de la pérdida de suelo ($ton. ha^{-1}. año^{-1}$), d representa la profundidad del arado o lecho cultivado (m), B es la densidad volumétrica del suelo ($kg. m^{-3}$), X el porcentaje de reducción del inventario total de Cs-137 definido por la ecuación 2.1. y P el factor de corrección del tamaño de la partícula.

Para el sitio de deposición $A(t) < A_{ref}$, asumiendo una tasa de deposición contante $R'(kgm^{-2}a^{-1})$, en el sitio, la tasa de deposición de sedimento puede ser estimada desde la concentración de Cs-137 del sedimento $C_d(t')(Bqkg^{-1})$ según la ecuación.

$$R' = \frac{A_{ex}(t)}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A(t) - A_{ref}}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \quad (6)$$

Donde:

$A_{ex}(t)$ es el inventario en exceso del Cs-137 del punto de muestreo por encima del inventario de referencia en el año t (definido como el inventario medido menos el inventario de referencia) $Bq. m^{-2}$, $C_d(t')$ la concentración del Cs-137 del sedimento depositado en el año t' ($Bq. kg^{-1}$), λ

representa a la constante de desintegración para el Cs-137 (año^{-1}), P' es el factor de corrección del tamaño de las partículas.

Se supone que la concentración del Cs-137 $C_d(t')$ del sedimento depositado es representada por la media ponderada de la concentración del Cs-137 de sedimento movilizado del área de contribución pendiente arriba $C_d(t')$ y por lo tanto se puede calcular como:

$$C_d(t') = \frac{1}{\int_S R dS} \int_S p' C_e(t') R dS \quad (7)$$

Donde: $S m^2$ es el área de contribución de la pendiente ascendente y $C_e(t') (Bq. kg^{-1})$ es la concentración Cs-137 de sedimento movilizado desde un punto de erosión, que se puede calcular a partir de la ecuación:

$$\begin{aligned} C_e(t') &= P \frac{A(t')}{d} = \frac{P}{d} A_{ref}(t') \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} \\ &= \frac{P}{d} A_{ref}(t) e^{\lambda(t-t')} \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} \end{aligned} \quad (8)$$

Donde: $A_{ref}(t) = A_{ref}$

El modelo de balance simplificado tiene en cuenta la reducción progresiva de la concentración del Cs-137 en el suelo dentro de la capa de arado debido a la incorporación de suelo que contiene este radionucleido por tanto representa una mejora con respecto al modelo proporcional. Sin embargo, este modelo no toma en consideración la posible eliminación de la lluvia radioactiva.

- Modelos empleados en la cuantificación de la erosión en suelos poco perturbados.

Para suelos no cultivados, la distribución de profundidad de Cs-137 en el perfil del suelo será diferente a la de los suelos cultivados donde este elemento se mezcla dentro del arado o cultivo.

a) El modelo de distribución de perfiles (para suelos no cultivados)

En algunas ocasiones, la profundidad de la distribución del Cs-137 en un suelo estable poco perturbado puede exhibir una exponencial decreciente con la profundidad. Y está dada por la siguiente ecuación. (FAO/OIEA, 2014)

$$A'(x) = A_{ref} \left(1 - e^{\frac{-x}{h_o}}\right) \quad (9)$$

$A'(x)$ es la profundidad másica desde la superficie del suelo ($Bq. m^{-2}$), x es la profundidad desde la superficie del suelo ($kg. m^{-2}$), h_o el coeficiente que describe la forma del perfil ($kg. m^{-2}$).

La distribución de la profundidad del Cs-137 en el suelo es independiente del tiempo, la tasa de erosión Y para un punto de erosión. (con un inventario total de Cs-137. $A_u (Bq. m^{-2})$).

$$Y = \frac{10}{(t - 1963)P} \ln \left(1 - \frac{X}{100}\right) h_o \quad (10)$$

Donde:

t. El año de colección de la muestra (año), x es el porcentaje de reducción con respecto al inventario de referencia según la ecuación 2.1. para un lugar de deposición, se puede estimar una estimación tentativa de la tasa de deposición R' del exceso de Cs-137 $A_{ref}(t)(Bqm^{-2})$ y la concentración del Cs-137 en sedimento Cd.

$$R' = \frac{A_{ex}}{\int_{t_0}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A_u - A_{ref}}{\int_s \frac{P'}{RdS} \int A_{ref} (1 - e^{-R/h_o}) dt'} \quad (11)$$

3.1.7 Técnicas de análisis de datos

Primeramente, para la evaluación del Cs-137 se debe tener en cuenta que siempre el Cs-137 solo se puede mover junto con las partículas del suelo, luego el enriquecimiento del suelo o el agotamiento del Cs-137 en algunos lugares del terreno corresponde a la separación o acceso de material del suelo de los alrededores. Por esto, para evaluar la cantidad de Cs-137 que se ha perdido o ganado, se necesita la información original del acceso del Cs-137. En el que utilizaremos un sitio de referencia que es un área estable no perturbada donde no se ha producido erosión ni acumulación, por lo que representa el acceso del Cs-137, que se selecciona de las superficies planas donde la escorrentía de agua y la erosión del suelo no puede asociarse. (FAO/OIEA, 2014)

Los inventarios del Cs-137 en los sitios de estudio donde se espera una redistribución de suelo se comparan con los del sitio de referencia estable. Como se señala en el artículo de la FAO/OIEA, 2017, las posiciones de las tierras donde los inventarios del Cs-137 son menores que el sitio de referencia se interpreta como erosionados y aquellas posiciones donde son mayores se interpreta como sumideros de deposición y aquellos con los inventarios de Cs-137 similares a los sitios de referencia son estables o tienen un equilibrio equitativo a largo plazo y deposición. (FAO/OIEA, 2017)

4. EQUIPOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS:

EQUIPOS, MATERIALES	HERRAMIENTAS (se puede utilizar cualquier muestro)	
GPS	Muestro a granel:	un cilindro de acero como núcleo
Detector gamma scout	Muestro a profundidad:	placa raspadora
Fundas plásticas	Muestro básico:	Una pala o una azada
Detector gamma scout		Cuchillo
Bandeja de aluminio		Un balde
Horno		Marcador permanente o etiquetas para su identificación
Tamiz de 2mm		
Pesa		
Equipo de espectrometría gamma.		

5. MARCO TEORICO:

5.1 Erosión del suelo

Vásquez y Tapia (citado en Condori Apaza 2018) destaca la siguiente conceptualización la erosión como un fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas del suelo por acción del agua, viento, o de la actividad biológica. Puede ser natural (normal o geológica) cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos favoreciendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre; también es uno de los problemas más graves que tiene que desafiar cualquier labor enfocada a alcanzar el desarrollo agropecuario, además de ser la causa de bajas ganancias de los cultivos, reduce la vida útil de los trabajos de regulación por la cantidad de depósitos que lleva el agua que se acumula colmatando el lecho de los ríos y asistiendo, en varios casos las inundaciones, problemas de drenaje y salinización de los suelos. (p.6).(Condori Apaza, 2018)

5.2 Principales enfoques para evaluar la erosión de los suelos en la Provincia de Chimborazo.

En la provincia de Chimborazo para deducir la erosión de los suelos se han utilizado diferentes métodos que han permitido identificar pérdidas actuales y potenciales no tolerables, sobre los cuales

han permitido identificar las pérdidas actuales. Vimos (2017) menciona que desde hace varios años se ha venido desarrollando diferentes metodologías, así como el método geográfico-comparativo, tomando como base mapas desarrollados en instituciones de suelos (Vimos, 2017). En la figura 1 se puede observar el grado de desgaste del suelo la provincia de Chimborazo, el mismo que ha sido afectado por varios tipos de erosión. Mientras que en la tabla 1-1 podemos ver que el suelo de la provincia está más afectado por procesos indiferenciados con un 67,87% del territorio, seguido por el escurrimiento concentrando que ocupa el 14.27% del territorio de la provincia de Chimborazo.

Tabla 2. Evaluación de las pérdidas de suelos por erosión en Chimborazo.

EROSIÓN	ÁREA	%
	Has	Área total
Erosión Hídrica	27.567	4,51
Escurrimiento Concentrado	87.270	14,27
Escurrimiento difuso y concentrado	44.863	7,34
Escurrimiento muy concentrado	17.303	2,83
Erosión eólica	19.577	3,20
Procesos Indiferenciados	415.012	67,86
Total	611.592	100,00

Realizado por: (Tierra.tutiempo.net, 2021)

5.3 Técnicas del radionucleido Cs-137 para calcular en nivel de erosión.

Según una publicación de la IAEA (2018) los radionucleidos procedentes de precipitación radiativa como el Cs-137, está presente en la atmosfera, es arrastrado por la lluvia y depositado en las capas superficiales del suelo. Este radionucleido se une a las partículas del suelo, concentrándose principalmente en la capa superior fuertemente fijados a las partículas, estos no son absorbidos por las plantas en los procesos de erosión y deposición, estas se desplazan junto a las partículas del suelo, por lo que pueden servir para rastrear la distribución del suelo en zonas muy amplias y durante largos periodos de tiempo. Al erosionarse la capa superior, la concentración de estos radionucleidos procedentes de precipitación radiactiva disminuye, y estos procesos se los puede seguir y cuantificar por espectrometría de rayos gamma. Estos estudios de las concentraciones del suelo ayudan a detectar y evaluar la eficiencia de las medidas de conservación del suelo destinadas a controlar la erosión. (Nam, 2018)

El comportamiento del Cs-137 en el suelo, a lo largo de su periodo de semidesintegración (30,2 años), y fácil por detección de espectrometría gamma, gracias a su emisión gamma característica de 662KeV, el cual le otorga características excelentes a este radionucleido como radiotrazados de los movimientos del suelo(FAO/OIEA, 2017).

5.4 Análisis de datos de Cs-137: ESPECTROMETRÍA GAMMA

La radiación gamma emitida por los radionucleidos ambientales que se encuentran en el suelo generalmente se mide con detectores gamma de laboratorio en muestras de suelo que se recogen en el campo y transportan al laboratorio.

5.4.1 Principios básicos de la espectrometría gamma

La espectrometría gamma se basa en la elaboración del espectro de energías de las emisiones gamma presentadas por los radionucleidos (Sanz y Filloi, 2017).

El Cs-137 se caracteriza por un pico bien identificable a una energía de 662 keV. Los datos espectrales recopilados se convierten en actividad de radiación gamma expresada en $Bq Kg^{-1}$. La actividad de radionúclidos por unidad de peso (actividad de masa) se convierte en inventario (actividad por unidad de área) expresada en $Bq m^{-2}$ (FAO/OIEA, 2017). En la figura 3-2 se observa un ejemplo del Cs-137, con su pico de energía a 662KeV en un espectro gamma de la muestra de suelo.

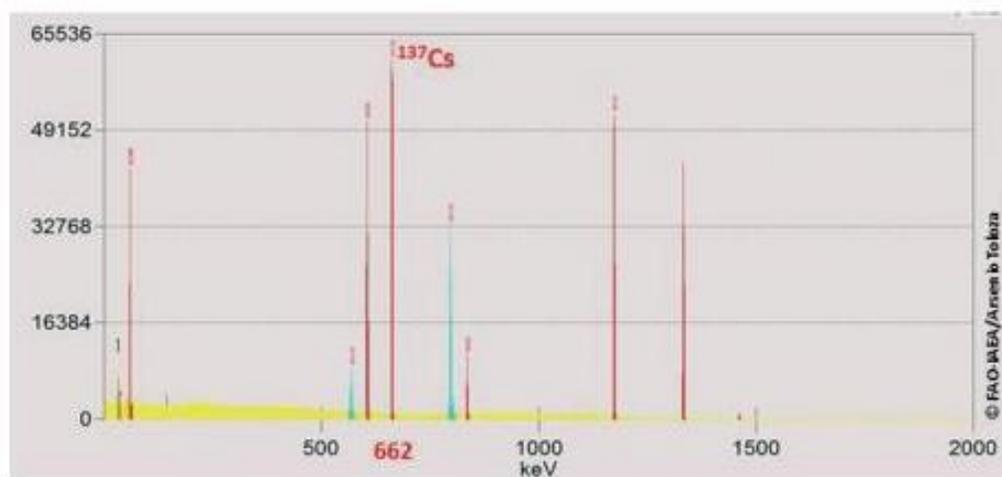


Figura 7 Pico de Energía del Cs-137

Realizado por: (FAO/OIEA, 2017)

5.5 Factores que considerar en el estudio.

5.5.1 *Sitio de referencia*

Se debe tomar en consideración que un sitio de referencia es un sitio no cultivado, dentro de este trabajo de investigación representa al lugar o zona donde no está labrado la tierra, es un terreno que por muchos años ha permanecido lleno de césped y otras plantas, por esta razón está se diferencia del sitio de estudio.

5.5.2 *Sitio de estudio*

A diferencia del sitio de referencia, el sitio de estudio representa al lugar o zona que es cultivado constantemente por el ser humano, es decir la tierra es preparada para los sembríos de diferentes productos, para esta investigación nuestro sitio de estudio es un terreno donde a menudo se siembra papas.

5.5.3 *Altitud*

Dentro de este estudio se debe considerar la altitud, que es una característica para determinar las consecuencias de la erosión que está sufriendo dicha zona o lugar. Según mencionan en (Significados.com, 2018) la altitud es la altura o distancia vertical de un sitio de la tierra con relación al nivel del mar, más conocida como la elevación sobre el nivel medio del mar.

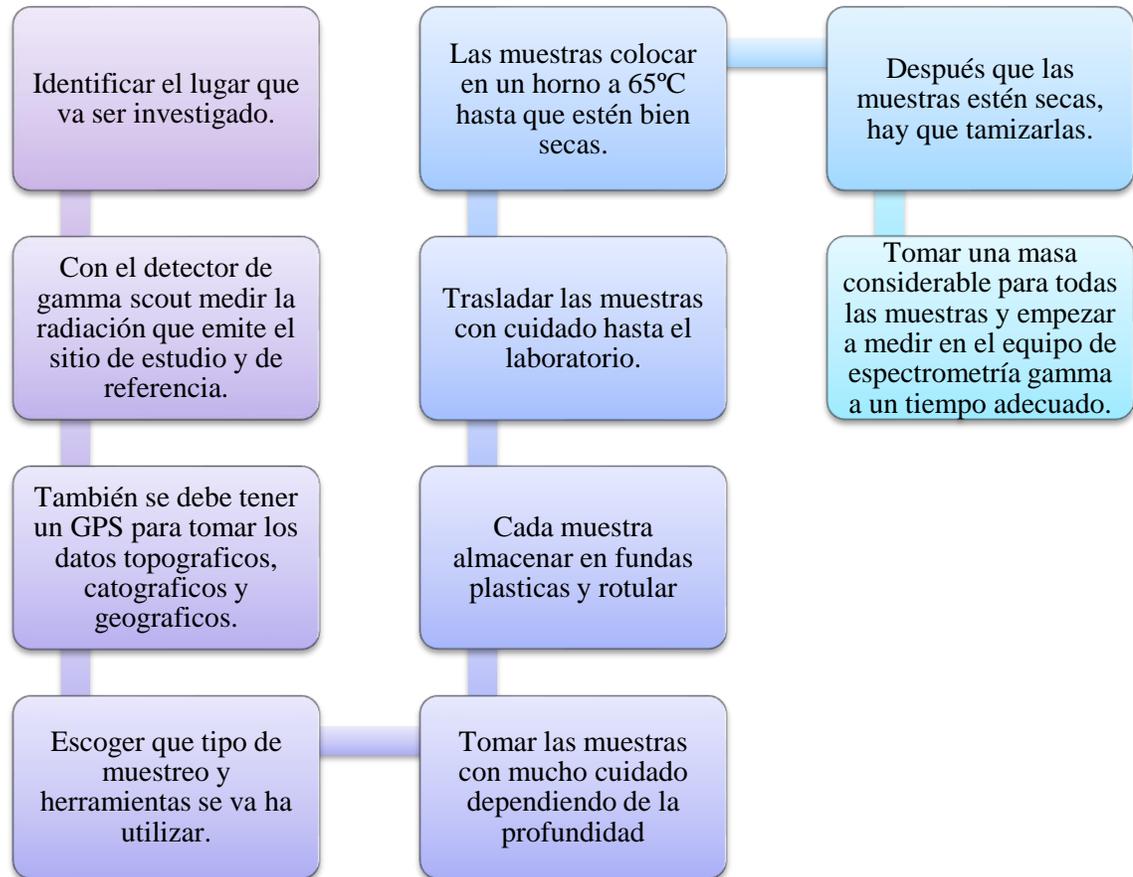
5.5.4 *Latitud*

La latitud también es otra característica que se debe tomar en cuenta para determinar el nivel de erosión y este en el área geográfica es el ángulo existente entre el plano del Ecuador y un punto de la superficie de la tierra. (Significados.com, 2018)

5.5.5 *Topografía del suelo*

La topografía es muy importante para esta investigación ya que ayuda a medir con precisión la superficie de la tierra, es decir, la topografía es el estudio de la superficie del terreno y este proviene de las palabras “topo” que es lugar y “graphia” que significa escritura. (ArcGeek, 2019)

6. PROCEDIMIENTO:



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica y las recomendaciones que sean pertinentes

8. BIBLIOGRAFÍA:

- ALVAREZ TICLLASUCA, A., 2018.** *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2603>.
- ALVEAR, C., 2015.** PDOT Canton Riobamba 2015-2030. [en línea], pp. 1-294. Disponible en: <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga>.
- BELARMINO, S., SAAVEDRA, O., SUÁREZ, T., COELLO, Á. y SOLAZ, C., 2017.** ¿Cómo tomar muestras de suelo? *AgroCabildo* [en línea], pp. 4. Disponible en: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_537_diptico.pdf.
- CABALLERO, Y., 2018.** Aplicación de la técnica nuclear de Cesio - 137 para estimar la erosión de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo. [en línea], vol. 4, pp. 38-52. Disponible en: <https://revistacira.unan.edu.ni/index.php/AyC/article/download/72/64/>.
- CASTILLO, J.L.C., 2019.** La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamote provincia de Chimborazo. *Αγαη* [en línea], vol. 8, no. 2, pp. 2019. ISSN 0187-893X. DOI 10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178. Disponible en: https://barnard.edu/sites/default/files/inline/student_user_guide_for_spss.pdf <http://www.ibm.com/support> http://www.spss.com/sites/default/files/legacy/ProgDataMgmt_SPSS17.pdf https://www.neps-data.de/Portals/0/WorkingPapers/WP_XLV.pdf <http://www2.psy>.
- CHIMBORAZO, P.** de desarrollo y de ordenamiento territorial de, 2015. Mapa N^o 1.1 Relieve de la Provincia de Chimborazo. *Riobamba* [en línea]. Riobamba: Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36482/1/tesis_sibello_hernandez.pdf.
- CONDORI APAZA, V., 2018.** *Pérdida Del Suelo Por Erosión Hídrica En La Comunidad De San Francisco De Chañajari Moho - Puno* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA DE POSGRADO. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12000>.

FAO/OIEA, 2014. Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies. *A-TECDOC-1741*, IAEA, Vienna [en línea], pp. 1-226. Disponible en: <https://www.iaea.org/publications/10501/guidelines-for-using-fallout-radionuclides-to-assess-erosion-and-effectiveness-of-soil-conservation-strategies>.

FAO/OIEA, 2017. USE OF ¹³⁷Cs FOR SOIL EROSION ASSESSMENT. *ROME* [en línea], pp. 1-76. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/74f5f529-4cc5-472b-9ed1-b29158d24ff5/>.

GASPAR, M., 2015. la erosión del suelo en Viet Nam. [en línea], vol. 56/1, pp. 14-15. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/un-terreno-estable-tecnicas-nucleares-para-frenar-la-erosion-del-suelo-en-viet-nam>.

GIL, R.H., PERALTA, J.L., CARRAZANA, J., RIVEROL, M., AGUILAR, Y., MOREJÓN, Y.M. y OLIVEIRA, J., 2015. EN CUBA Utilization the nuclear techniques use to estimate the water erosion in tobacco plantations in Cuba. *Cultivos Tropicales* [en línea], vol. 36, no. 4, pp. 7-13. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu>.

HERNÁNDEZ, R.Y.S., ÁGUILA, H.C. y PÉREZ, J.M., 2005. Uso Del Cesio 137 Como Radiotrazador En La Cuantificación De La Erosión De Suelos Tropicales. *Nucleus* [en línea], no. 38, pp. 19-24. ISSN 0864084X. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=24713909&lang=es&site=ehost-live>.

JAWERTH, N. y GASPAR, M., 2018. Cómo ganar la batalla contra la erosión del suelo: conservación de tierras fértiles y preservación de la calidad del agua con ayuda de técnicas nucleares. *Organismo Internacional de energía Atómica* [en línea], vol. 59-1, no. bolletin, pp. 14-17. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull59-1/5911417_es.pdf.

KALKAN, K.S., FORKAPIĆ, S., MARKOVIĆ, S.B., BIKIT, K., GAVRILOV, M.B., TOŠIĆ, R., MRCROSSED D SIGNA, D. y LAKATOŠ, R., 2020. The application of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb ex methods in soil erosion research of Titel loess plateau, Vojvodina, Northern Serbia. *Open*

Geosciences, vol. 12, no. 1, pp. 11-24. ISSN 23915447. DOI 10.1515/geo-2020-0002.

NAM, V., 2018. Iaea Bulletin. *IAEA BULLETIN* [en línea], vol. 59-1, no. Marzo, pp. 40. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull591_mar2018_es.pdf.

SANZ, J.R. y FILLOL, A.L., 2017. *PARA ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA* [en línea]. S.l.: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NUCLEAR TRABAJO. Disponible en: http://oa.upm.es/49203/1/TFG_JORGE_RANGEL_SANZ.pdf.

SIBELLO, H.Ms.R.Y., 2013. *Cuantificación de la erosión de los suelos en zonas de interés económico y ambiental de la provincia de Cienfuegos, Cuba, utilizando el cesio-137 como radiotrazador* [en línea]. S.l.: Universidad de Alicante. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36482/1/tesis_sibello_hernandez.pdf.

SOTO, J., GÓMEZ, J., GONZÁLEZ, A., REMONDO, J., DÍAZ DE TERÁN, J.R., CENDRERO, A. y ALCAIDE, J., 2002. Evolución de los deslizamientos de ladera mediante su caracterización con Cs-137. *Cuaternario y Geomorfología* [en línea], vol. 16 (1-4), no. 1-4, pp. 73-81. Disponible en: *Landslides, chronology and evolution, isotopic datation, Cs-137*.

VIMOS, M., 2017. *Evaluación del estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en tres agroecosistemas*. S.l.: s.n.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Liliana Jacqueline Shilquigua Velata</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Biofísica</i>
Título a optar: <i>Biofísica</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.12
12:11:47 -05'00'



1860-DBRA-UTP-2021