

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Vicerrectoría de Investigación y Extensión
Dirección de Proyectos
Informe final de proyectos de investigación y extensión

**Evaluación de la contaminación y el riesgo por metales pesados
generados por la industria cementera en Agua Caliente de
Cartago**

Guillermo Calvo Brenes
Teresa Salazar Rojas
Ricardo Ulate Molina

Abril 29, 2025

DOCUMENTO 2

1. Datos generales

- Código del Proyecto: **1460096**
- Nombre del proyecto **Evaluación de la contaminación y el riesgo por metales pesados generados por la industria cementera en Agua Caliente de Cartago**
- Escuela responsable: **Química**
- Otras escuelas participantes: **Sede Limón**
- Instituciones participantes externas al ITCR: **UNAM, Michoacán, México.**
- Investigador coordinador: **Dr. Guillermo Calvo Brenes.**
- Investigadores colaboradores: **Dra. Teresa Salazar Rojas, Master Ricardo Ulate Molina, Dr. Freddy Rubén Cejudo Ruiz**
- Período de ejecución: **1 de Enero 2023 hasta 31 Diciembre 2024.**

2. Cumplimiento de objetivos

Objetivo General: Evaluar la contaminación y el riesgo por metales pesados generados por la industria cementera ubicada en Agua Caliente de Cartago, utilizando métodos químicos y de propiedades magnéticas en suelo y plantas			
Objetivos Específicos	Productos	% de Logro	Comentarios
1. Caracterizar químicamente los niveles de metales pesados de los suelos superficiales y biomonitores cerca de una fábrica de cemento.	1.1 Puntos de muestreo seleccionados 1.2 Bioindicadores seleccionados 1.3 Muestras de suelo superficial recolectadas 1.4 Muestras de material vegetal recolectado 1.5 Muestras de material vegetal secas. 1.6 Muestras de suelo secas y tamizado 1.7 Contenido de metales pesados evaluado en suelo superficial 1.8 Contenido de metales pesados evaluado en el material vegetal	100	Ninguno
2. Determinar las propiedades magnéticas de los suelos superficiales y biomonitores cerca de una fábrica de cemento	2.1 Muestras encapsuladas de suelo superficial y plantas. 2.2 Propiedades magnéticas (χ_{lf} y $\chi_{fd}\%$) evaluadas en el suelo superficial. 2.3 Propiedades magnéticas (χ_{lf} y $\chi_{fd}\%$) evaluadas en el material vegetal	100	No se enviaron ningunas muestras a la UNAM en México debido a que en el pasado no han llegado a la UNAM por temas aduaneros. Por otro parte, contamos con el equipo básico para efectuar las

	<p>2.4 Muestras enviadas a la UNAM, Morelia.</p> <p>2.5 Datos de otras propiedades magnéticas, para algunas muestras.</p>		<p>mediciones en Costa Rica. Las mediciones de χfd% son discutidas en el artículo que se adjunta.</p>
<p>3. Evaluar estadísticamente los indicadores y sus niveles de calidad para determinar el riesgo a la salud por metales en zona de estudio.</p>	<p>3.1 Resultados del análisis exploratorio de datos y de supuestos estadísticos.</p> <p>3.2 Coeficientes de correlación de Pearson y valores de significancia (p) para las diferentes correlaciones entre las propiedades magnéticas y los metales pesados.</p> <p>3.3 Datos de concentración de MPs para 20 muestras.</p> <p>3.4 Mapa de distribución espacial de las propiedades magnéticas en los suelos superficiales</p>	100	Ninguno

3. Cumplimiento del plan de difusión

Para tal efecto se recomienda usar la siguiente tabla:

Nombre de obra	Tipo de obra	Estado (aceptado por publicar y publicado)	Base de datos de indexación	Nombre de Evento	Contó con Comité científico (Si ó NO)
Spatial assessment of heavy metal pollution in the vicinity of a cement plant through magnetic and chemical testing in plants and soil	Artículo en Revista Científica	Presentado	Scopus		Sí
El uso de la geoquímica y propiedades magnéticas para estudios en ambientes urbanos	Ponencia por Dr. Rubén Cejudo Ruiz de la UNAM	NA	NA	I Jornada de Investigación y Extensión 2025 Del 19 al 20 de Febrero 2025. ITCR	Sí
Evaluación de la contaminación y el riesgo por metales pesados generados por la industria cementera en Agua Caliente de Cartago (CEQIATEC)	Ponencia por Dr. Guillermo Calvo Brenes	NA	NA	I Jornada de Investigación y Extensión 2025 Del 19 al 20 de Febrero 2025. ITCR	Sí
El uso de la geoquímica y propiedades magnéticas para estudios en ambientes urbanos	Ponencia por Dr. Rubén Cejudo Ruiz de la UNAM	NA	NA	Charla en Colegio de Químicos. Febrero 19, 2025	Sí
Estudio Químico y Magnético de la Contaminación por Metales Pesados en Áreas Cercanas a la Industria del Cemento	Ponencia por Dr. Guillermo Calvo Brenes	NA	NA	Charla en Colegio de Químicos. Febrero 19, 2025	No
Magnetismo de roca para estudios geológicos, paleoambientales y paleoclimáticos	Ponencia por Dr. Rubén Cejudo Ruiz de la UNAM	NA	NA	Charla en la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR. Febrero 24, 2025	No

Como parte de la vinculación con la docencia, en los 2 días dedicadas a la I Jornada de Investigación y Extensión, la mayoría de los asistentes fueron estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, así como otras carreras del TEC. Lo mismo se puede decir de la charla dada en la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, dirigida principalmente a estudiantes de dicha escuela y también enfocado a establecer nexos para pasantías, y postgrados en la UNAM de México en Morelia.

Por otra parte, la Instrucción dada a los grupos de laboratorio de Química Básica I, QU-1102, en su Práctica 04 se toca el tema de separación en mezclas y también se menciona la opción de separación por propiedades magnéticas. Este tema es abordado en forma permanente en esta práctica en particular.

4. Participación Estudiantil:

Nombre de obra	Tipo de obra(Tesis ó práctica)	Autores
Por definir	TGF	Sara Murillo Murillo
Cantidad de estudiantes asistentes	3 estudiantes asistentes de la carrera de IA ¹	

Nota: 1.

Sara Murillo Murillo

Valeria Valeska Salazar Herrera

José Armando Arias Muñoz

5. Ejecución Presupuestaria:

Año	Presupuesto	Sobrante	Ejecución
2023	5 000 000	71 526	95.52%
2024	5 000 000	19 637	99.46%

6. Limitaciones y problemas encontrados

Los **problemas encontrados** que han generado atrasos en la ejecución del proyecto son los siguientes:

Se requirió la subcontratación de los análisis de MPs por AA y se tuvo que hacer por SICOP. Fue muy engorroso, lleno de apelaciones y un proceso que debió durar 6 meses, se extendió por un año afectando el avance del proyecto y por ende los resultados se tuvieron al final dificultando u obstaculizando el tema de la difusión.

7. Observaciones generales y recomendaciones

Hemos escrito un artículo para su publicación en revista de alto impacto. Se ha presentado ya a una segunda revista y está en proceso de revisión. Dado que es un proyecto de 2 años, y que apenas en el primer año se tienen datos de campo y en el primer semestre del segundo año, se tienen resultados, apenas se cuenta con un semestre para publicar en una revista de alto impacto, cuando lo normal es que se demoren los investigadores entre 2-2.5 años desde que se inicia el proceso de presentar el documento a las revistas, antes de lograr la publicación en una buena revista.

Los problemas con el uso del SICOP fue engorroso y uno de los posibles proveedores del servicio de análisis que ya venía trabajando con nosotros y era importante seguir con ellos por temas de trazabilidad en los resultados en el tiempo, quedó por fuera de la licitación a última hora.

Un proceso supuestamente de 6 meses, se extendió por 12 meses.

