



**19th International Congress of Speleology
38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia**

U F *m* G

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGC
Laboratório de Estudo Hidrogeológico - LEHID

LEHiD
Laboratório de Estudos Hidrogeológicos

Programa – Curso Corto

Trazadores Fluorescentes en Sistemas Kársticos: Planificación, Ejecución e Interpretación de Datos

Instructor: Paulo Galvão

Correo electrónico: hidropaulo@gmail.com

Instructores: Pedro Assunção^{*,**,*} y Gabriel Lourenço^{**}

Evento: 19th International Congress of Speleology y 38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia

Fecha: 19 de julio de 2025

Horario: 8:00 a 12:00 y 13:00 a 17:00 (duración total: 8 horas)

Lugar: Sala 3053, 3er piso, Instituto de Geociencias (IGC), Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG)

Idioma: Portugués

Público objetivo: Espeleólogos profesionales y aficionados, estudiantes de grado y posgrado, y profesionales del área de hidrogeología

Cupo: 20 participantes

Coordinadores del curso: Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão*
Prof. Dr. Rodrigo Sérgio de Paula*

* Instituto de Geociencias, Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG)

** Sociedade Excursionista Espeleológica (SEE)

*** Espeleogrupo Pains (EPA)



19th International Congress of Speleology 38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia

Currículum de los Instructores

Pedro Assunção: Ingeniero Geólogo (2018) por la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP). Magíster en Ciencias Naturales (2021) por el Programa de Posgrado en Evolución Cortical y Recursos Naturales de UFOP. Actualmente es doctorando en el Programa de Posgrado en Geología de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) e integra el Laboratorio de Estudios Hidrogeológicos (LEHID) de la UFMG. Es espeleólogo vinculado a la Sociedade Excursionista Espeleológica (SEE) y al Espeleogrupo Pains (EPA). Sus áreas de actuación incluyen Hidrogeología, Sistemas Kársticos y Espeleología.

Gabriel Lourenço: Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP, 2023). Actualmente cursa la Maestría en Hidrogeología Kárstica en el Instituto de Geociencias (IGC) de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), donde también forma parte del Laboratorio de Estudios Hidrogeológicos (LEHID). Su investigación se centra en espeleología, hidrogeología, hidroquímica y en el uso de trazadores fluorescentes para estudiar la conectividad de las cavidades. Fotógrafo con más de 10 años de experiencia, especializado en fotografía de cuevas, geociencias y naturaleza.

Contexto: Determinar las direcciones y trayectorias de flujo del agua subterránea en sistemas kársticos altamente heterogéneos y anisotrópicos es una tarea compleja. La geometría de las redes kársticas puede sufrir cambios significativos a lo largo del tiempo debido a procesos como colapsos de cavernas, relleno de conductos por sedimentos, conductos que dejan de estar saturados por oscilaciones en el nivel freático o la reactivación de surgencias durante condiciones de alto flujo. Las técnicas de trazadores fluorescentes son herramientas sumamente valiosas en estudios kársticos, ya que permiten delimitar áreas de captación de surgencias, estimar velocidades de flujo e identificar zonas de recarga y descarga. Los trazadores colorantes fluorescentes son compuestos orgánicos sintéticos con propiedades fluorescentes; normalmente están ausentes en las aguas naturales, son seguros para la salud humana y altamente detectables (Käss 1998; Field 2002; Ford & Williams 2007; Palmer 2007; Goldscheider et al. 2008; Goldscheider & Drew 2007; Benischke 2021).

Resumen: Este curso corto tiene como objetivo introducir y demostrar la aplicación de técnicas de trazadores fluorescentes, con un enfoque específico en sistemas kársticos. El curso incluye una parte teórica sobre conceptos generales y una sesión práctica basada en un estudio de caso. La duración total del curso es de 8 horas, y se requiere que los participantes lleven su propio ordenador portátil para las actividades prácticas.



19th International Congress of Speleology 38º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Programa

Parte 1 – Planificación y Ejecución de Ensayos con Trazadores Fluorescentes (8:00 – 9:30)

1.1 Introducción

- Tipos de trazadores: naturales y artificiales
- Importancia y aplicaciones de los ensayos con trazadores colorantes en acuíferos kársticos
- Panorama histórico de los métodos de trazadores

1.2 Planificación de la Investigación y Recolección de Datos Preliminares

- Objetivos de la investigación
- Enfoque sistémico: recarga, flujo y descarga
- Datos básicos geológicos, geomorfológicos, climáticos e hidrológicos
- Materiales y métodos habituales: sustancias fluorescentes, bolsas de carbón activado (fluocaptadores), fluorímetros de campo, fluorímetros portátiles, muestreadores automáticos, redes de monitoreo hidrológico, análisis de laboratorio
- Cálculo de la masa de trazador a inyectar
- Responsabilidad social: comunicación de los ensayos y evaluación de toxicidad

1.3 Instrumentación del Sistema

- Fases del ensayo: determinación de niveles de fondo natural
- Ensayos cualitativos y cuantitativos
- Variabilidad estacional y espacial
- Selección de puntos para instalar la red de muestreo basándose en el modelo conceptual de flujo
- Medición de caudales de entrada y salida del sistema
- Incertidumbres en el modelo conceptual, interpretación de ensayos cualitativos negativos y zonas de flujo lento

1.4 Inyección de Trazadores Fluorescentes

- Tipos de inyección: instantánea o continua
- Precauciones durante la inyección



19th International Congress of Speleology 38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia

- Puntos de inyección: dolinas, sumideros, cavernas y pozos perforados

Pausa (15 minutos)

Parte 2 – Adquisición e Interpretación de Datos en Ensayos Cuantitativos (9:45 – 12:00)

2.1 Adquisición de Datos de Campo y Laboratorio

- Introducción
- Fluorímetro de sobremesa
- Espectrofotómetro de fluorescencia
- Fluorímetro de campo

2.2 Curvas de Restitución (Breakthrough Tracer Curves)

- Parámetros de las curvas
- Masa recuperada
- Velocidad media de flujo y tiempo medio de tránsito

2.3 Características de la Red de Conductos

- Patrones de flujo
- Zonas de flujo lento (estancadas) y zonas de flujo rápido
- Patrones geométricos de las curvas de recuperación
- Parámetros de los conductos: volumen, área de sección transversal y diámetro

2.4 Conceptos sobre Transporte de Masa

- Advección, dispersión, difusión, retardación y degradación
- Adsorción y absorción
- Ecuación de Advección-Dispersión
- Modelos hidrodispersivos: ADM, 2RNE y MDP-2RNE

2.5 Programas para Interpretación de Datos

- QTRACER2 (Field 2002)
- CXTFIT (Toride et al. 1995)
- MFIT (Bodin 2020)



19th International Congress of Speleology 38º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Pausa para almuerzo (1 hora)

Parte 3 – Sesión Práctica (13:00 – 15:00)

3.1 Presentación de Equipos y Tipos de Trazadores

- Fluorímetro de campo GGUN-FL30 (Schnegg 2002)
- Fluocaptor de carbón activado
- Trazadores fluorescentes: Fluoresceína Sódica, Rodamina WT y Tinopal CBS-X

3.2 Adquisición de Datos con Fluorímetros de Campo

Pausa (15 minutos)

Parte 4 – Sesión Práctica (15:15 – 17:00)

3.3 Estudio de Caso para Interpretación Práctica de Datos

3.4 Aplicación de Hojas de Cálculo y Uso de Programas (QTRACER2 y CXTFIT)

Notas Importantes

- El curso corto se llevará a cabo en la Sala 3053, 3er piso, Instituto de Geociencias (IGC) de la UFMG.
- Se permitirá un retraso máximo de 10 minutos para el inicio del curso. Rogamos puntualidad para un mejor aprovechamiento.
- Los participantes deberán llevar su propio ordenador portátil para las actividades con los programas.
- Se adjunta una carpeta comprimida con los archivos y programas necesarios para la sesión práctica.



19th International Congress of Speleology 38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia

Se incluye un mapa de la UFMG que muestra la ubicación del IGC.

