

# Medición de caudal en cauces abiertos

Trazado Nuclear



## Agenda

### Quiénes somos y nuestros clientes ◀

Fundamentos teóricos

Ventajas versus los métodos tradicionales

Imágenes de nuestro trabajo

Técnica de Inyección Puntual

## Sobre Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

- Trazado Nuclear e Ingeniería fue fundada en el año 2012
- Sus socios fundadores cuentan más de 25 años de trayectoria en el rubro
- Entrega mediciones confiables a distintas empresas industriales en armonía con el medio ambiente, de manera que ellos puedan optimizar sus procesos y operaciones
- Dentro de los servicios que ofrece, está la **medición de caudales en flujos superficiales**



# Aseguramiento de la confiabilidad de los resultados entregados por Trazado Nuclear

## Metodología

**Metodología certificada con más de 25 años.** Organización Internacional de Estandarización (ISO 9555-4:1992) Measurement of liquid flow in open channels -- Tracer dilution methods for the measurement of steady flow -- Part 4: Fluorescent tracers

Experiencia de los socios por más de 30 años en la tecnología en Chile

Metodología certificada con un error 0,5% - 2%

## Autorizaciones de Aplicación

Ministerio del Medio Ambiente respecto al uso de esta tecnología

Aprobación internacional del uso "Rodamina WT " para agua potable

## Certificaciones de calidad

Certificación ISO 9001:2008

Certificación en sistema de calificación de empresas proveedoras de bienes y servicios SICEP.

## Certificaciones de equipamiento e insumos

Compra de equipos a proveedores certificados y calibración periódica de los mismo

Compra de trazador en organismo

# Tenemos clientes en diversas industrias que han confiado en nuestros servicios

Nuestros clientes han confiado en nuestro servicios, ya que se adaptan a las condiciones específicas de cada empresa, caracterizando en forma eficiente los procesos que se requiera estudiar

## Algunos de nuestros Clientes en Flujos Superficiales



- Frecuencia mensual
- Medición en 10 puntos
- 2 mediciones por punto



- Frecuencia trimestral
- Medición en 18 puntos
- 1 medición por punto



## Algunos de nuestros Clientes en otro tipo de Servicios



## Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

### **Fundamentos teóricos** ◀

Ventajas versus los métodos tradicionales

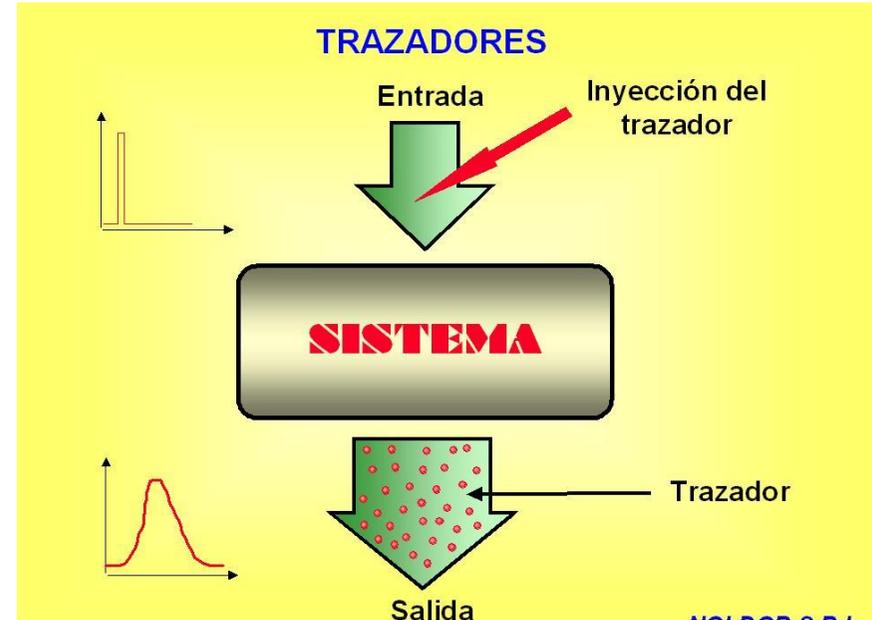
Imágenes de nuestro trabajo

Técnica de Inyección Puntual

# ¿Qué son los trazadores?

## Definición de Trazador

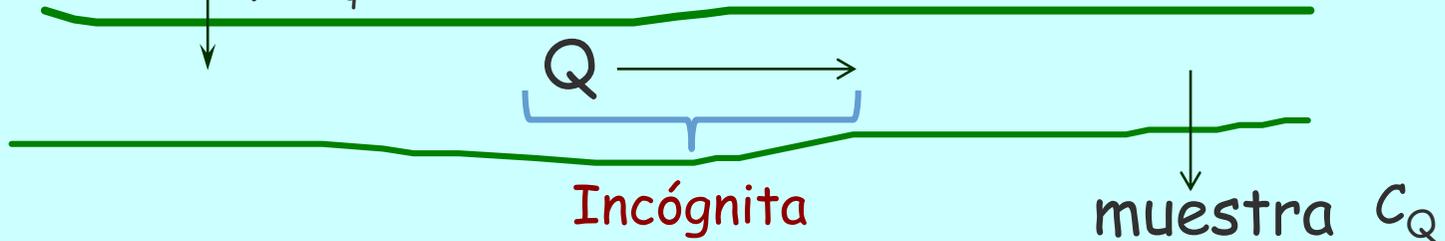
- Los trazadores en general son utilizadas para caracterizar sistemas y procesos
- Las observaciones se realizan midiendo la cantidad de trazador cuando pasa por un punto del proceso, y nos entrega información detallada de su trayecto.
- Existen distintos tipos de trazadores (con principios propios), los cuales son seleccionados a partir de sus características específicas en cada proceso



# Método de Determinación de Caudal en Flujos Superficiales por medio de trazador fluorescente

1. El método consiste en la inyección continua en un curso de agua con un trazador fluorescente, Rodamina WT a una concentración conocida
2. La Rodamina WT que es inyectada es en concentraciones muy bajas, y tenemos los permisos de los Ministerios correspondientes para utilizarlo en aguas de uso domiciliario
3. Se instala un equipo de detección aguas abajo que asegure la mezcla perfecta del trazador con el fluido (largo que permita la buena mezcla, turbulencia de las aguas)

Inyección  $q, C_q$



## Balance de Masa del Trazador

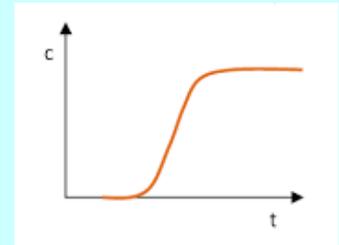
$$Q = \left( \frac{C_q}{C_Q} \right) * q$$

$C_q$ : Concentración de inyección

$q$ : Caudal de inyección

$C_Q$ : Valor constante del trazador en flujo de agua

$Q$ : Caudal del flujo de agua a medir



## Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Fundamentos teóricos

**Ventajas versus los métodos tradicionales** ◀

Imágenes de nuestro trabajo

Técnica de Inyección Puntual

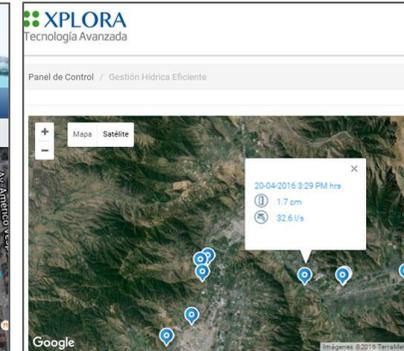
# Se necesita formar periódicamente la curva de gasto tanto en el uso de telemetría como lectura visual a través de regletas

Curva de gastos en marcos aforadores



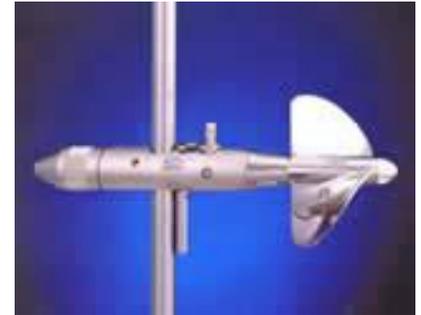
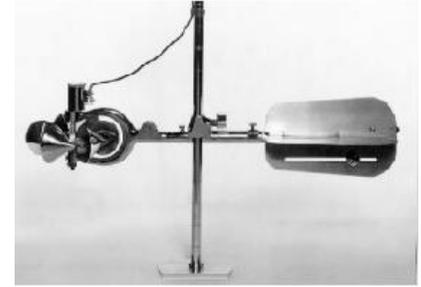
- Tanto las regletas como los equipos de telemetría registran alturas de los flujos de agua
- Es necesario aforar para asociar caudal a las alturas registradas

Calibración de sistemas de telemetría



# Principales fuentes de error al medir con un molinete

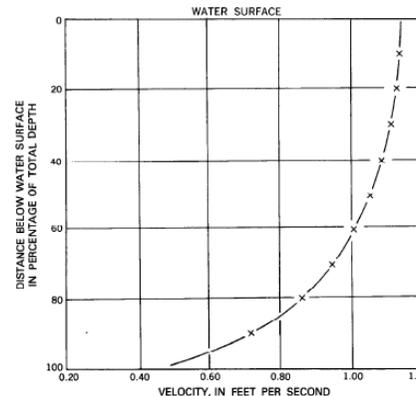
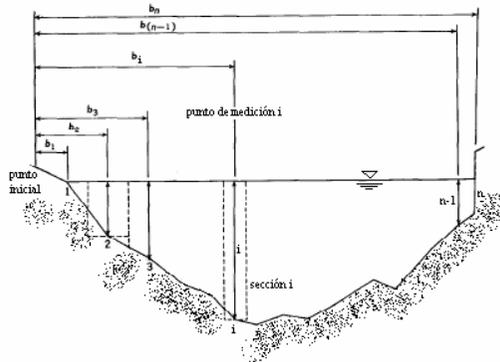
- **Errores instrumentales:** errores en la determinación de la velocidad a partir de la calibración del instrumento, ya que la calibración se realiza en condiciones diferentes.
- **Errores metodológicos:** La angularidad entre el escurrimiento y la sección de medida, la presencia de elementos extraños en el flujo (vegetación, elementos en suspensión, etc.), falta de verticalidad del molinete con el fondo del cauce, entre otros.
- **Errores del operador:** Asociados al manejo del equipo, como contar mal el número de revoluciones de la hélice y no seguir las consideraciones básicas descritas para cada instrumento.
- **Errores de muestreo:** se refiere a una insuficiente cantidad de medidas de velocidad y a una incorrecta elección de la sección de aforo.



$$Q = A \cdot v$$

A: área de la sección de aforo.

v: velocidad media de escurrimiento



## Ventajas de trazadores fluorescente respecto a los métodos tradicionales

- **No es necesario medir el área de la sección de canal**, ya que los aforos con trazadores se basan en la **conservación del trazador** en el cauce y en **balances de masa** entre lo inyectado y lo medido en una sección de control
- Si es que se utiliza correctamente, es posible obtener **altos niveles de exactitud** para lo valores de caudales aforados, entregando valores más exactos que los sistemas de aforo convencionales
- Al considerar la mezcla completa del trazador en el cauce, no es necesario medir la curva de respuesta en varias subsecciones de la zona de control, lo que permite medir en **sólo punto de medición y reducir los factores de error**
- **Los equipos utilizados para estos sistemas de aforo no presentan importantes partes mecánicas, como los molinetes u otro.** Esto implica que existirían menos posibilidades de falla en los equipos debido a la interacción con elementos presente en el agua

## ¿En qué casos se prefiere aforar con trazadores fluorescentes?

- Cauces en que la velocidad del flujo es muy grande o que presentan mucha turbulencia, ya que bajo estas condiciones se hace muy difícil utilizar un molinete u otro instrumento convencional de aforo.
- Cauces que, debido a sus condiciones, son inaccesibles para la aplicación de métodos de aforo convencionales.
- Cauces en que, al utilizar sistemas de aforo convencionales, presentan tiempos de medición excesivos.
- Dificultad para medir el área transversal
- Cuando se necesita **mayor exactitud o precisión en los datos**



## Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

Ventajas versus los métodos tradicionales

**Imágenes de nuestro trabajo** ◀

Técnica de Inyección Puntual

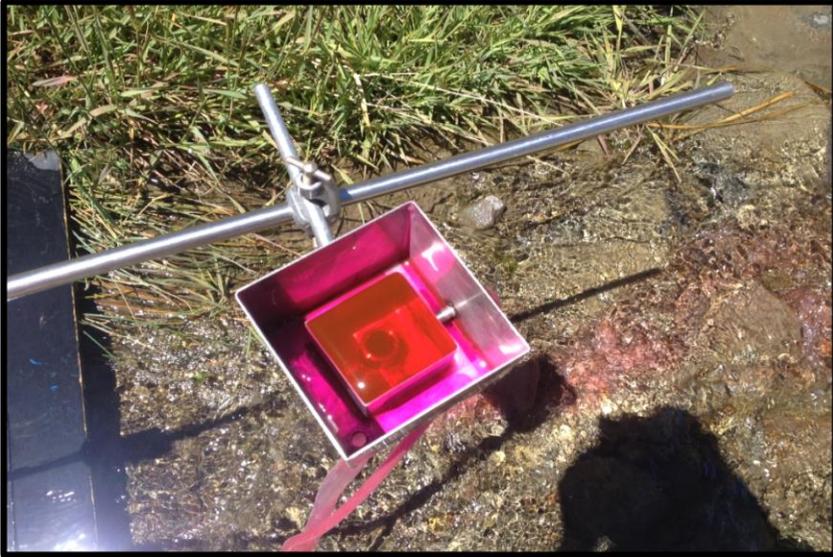
## Preparación del Trazador Fluorescente: Rodamina WT



## Sistema de Inyección de Trazador Fluorescente



## Celda de Inyección de Trazador Fluorescente a Flujo Constante



## Operación de Inyección de Trazador Fluorescente



## Agua superficial con Trazador Fluorescente recién inyectado



## Fluorómetro para Detección de Trazador Fluorescente

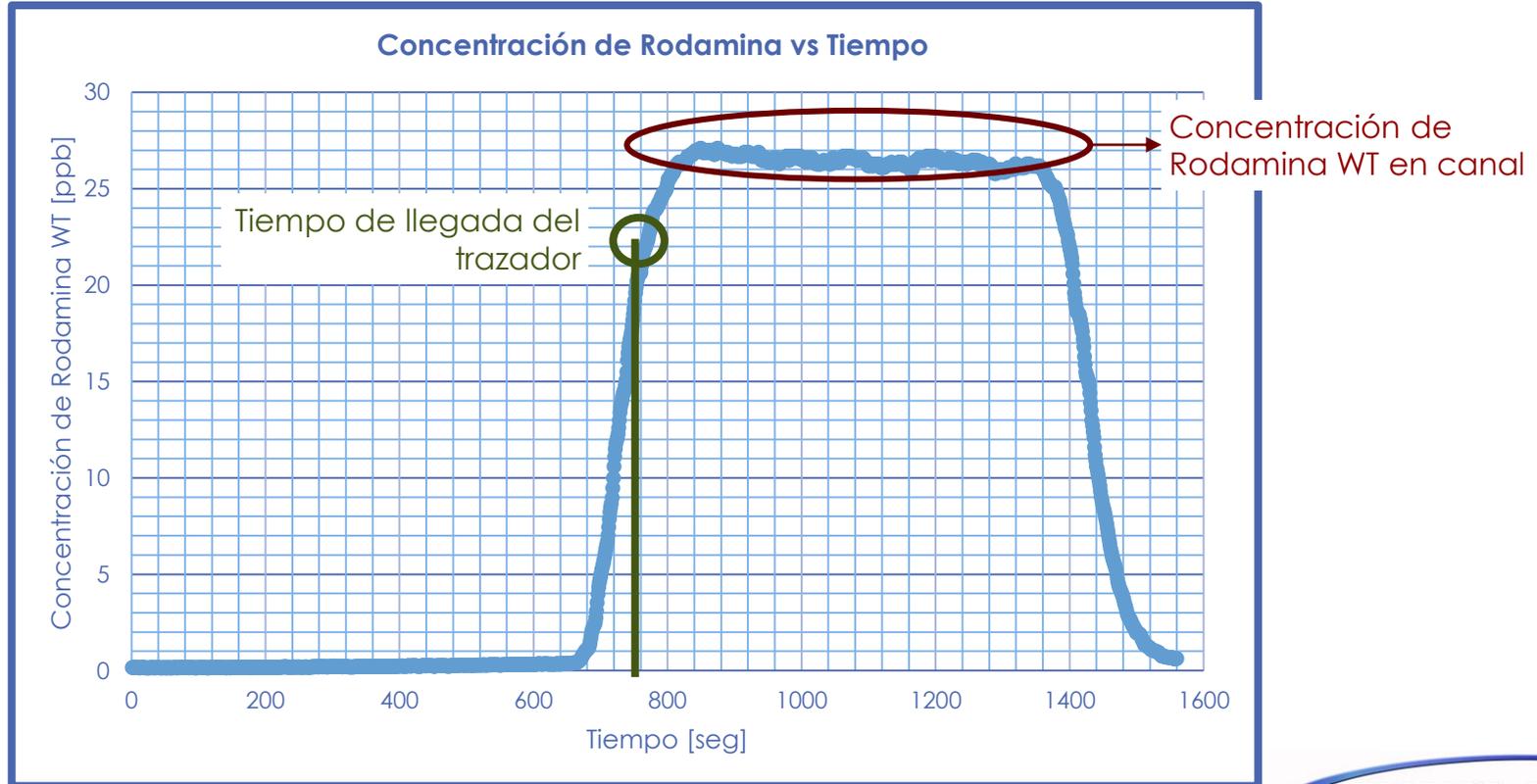


## Detección de Trazador Fluorescente

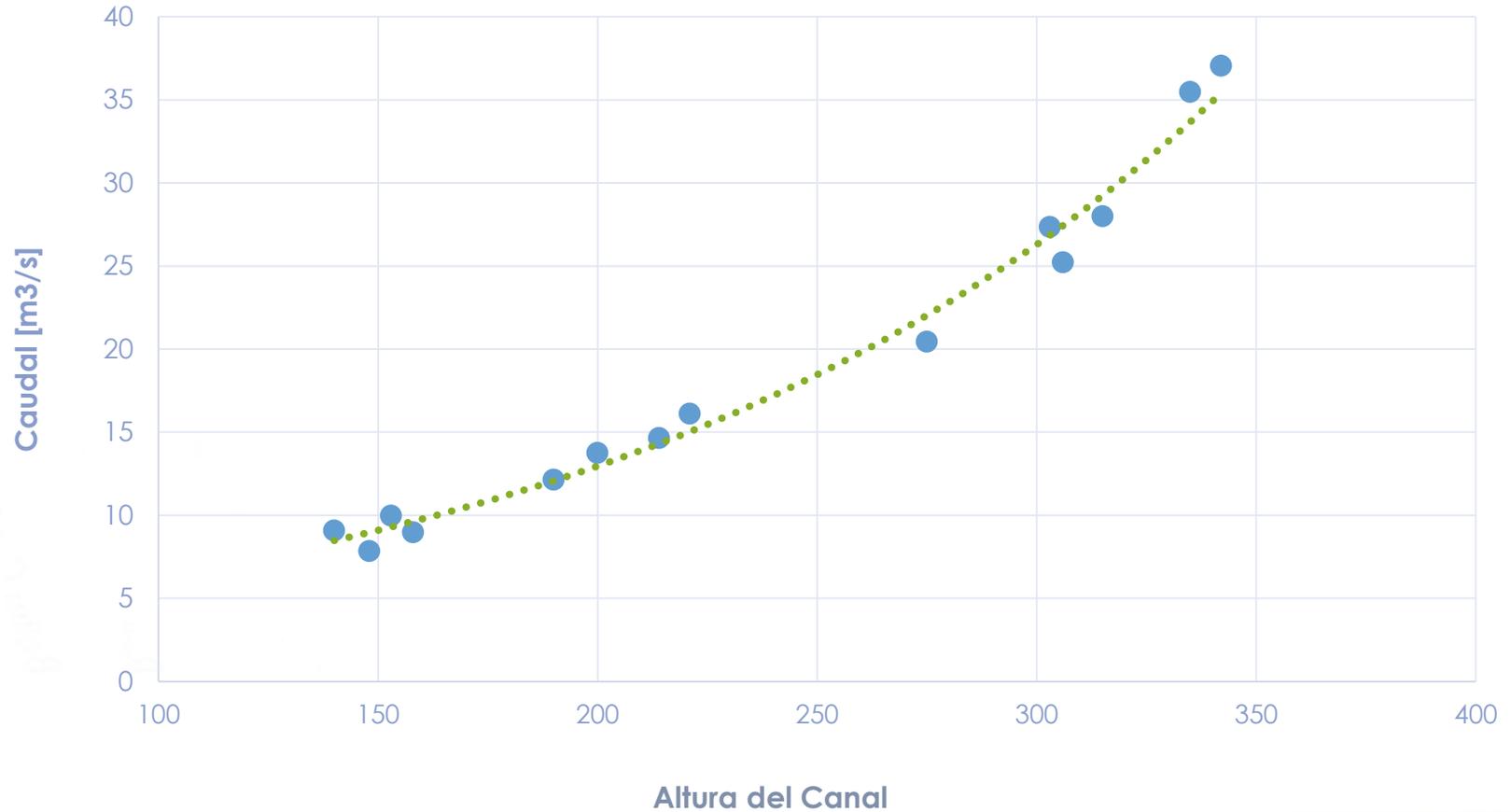


A través de la instrumentación, podemos obtener el tiempo de pasada (y por lo tanto la velocidad), y la concentración de trazador en el canal (y por balance de masa el caudal)

Resultados obtenidos mediante la medición en equipo



## Ejemplo de Curva de Gasto obtenida



## Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

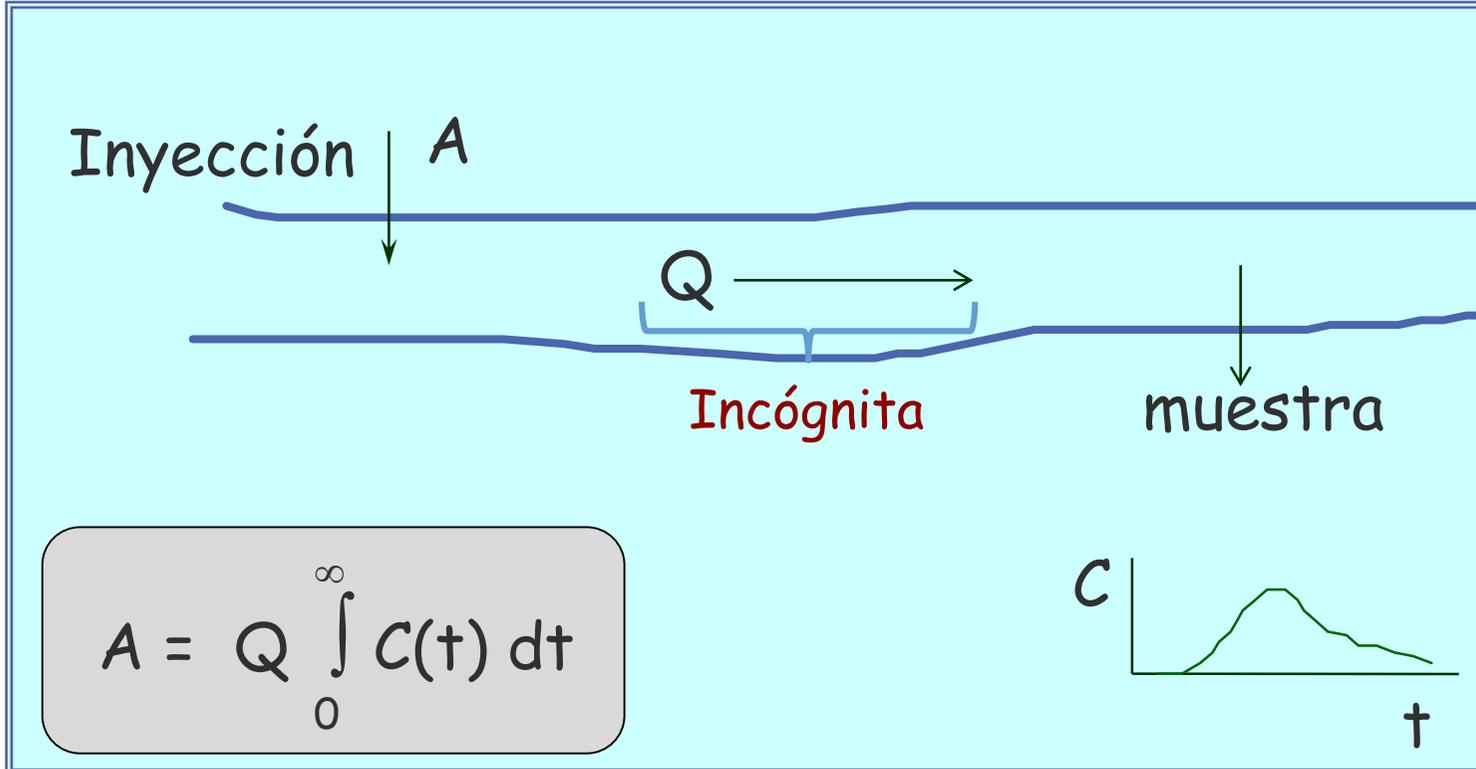
Ventajas versus los métodos tradicionales

Imágenes de nuestro trabajo

**Técnica de Inyección Puntual** ◀

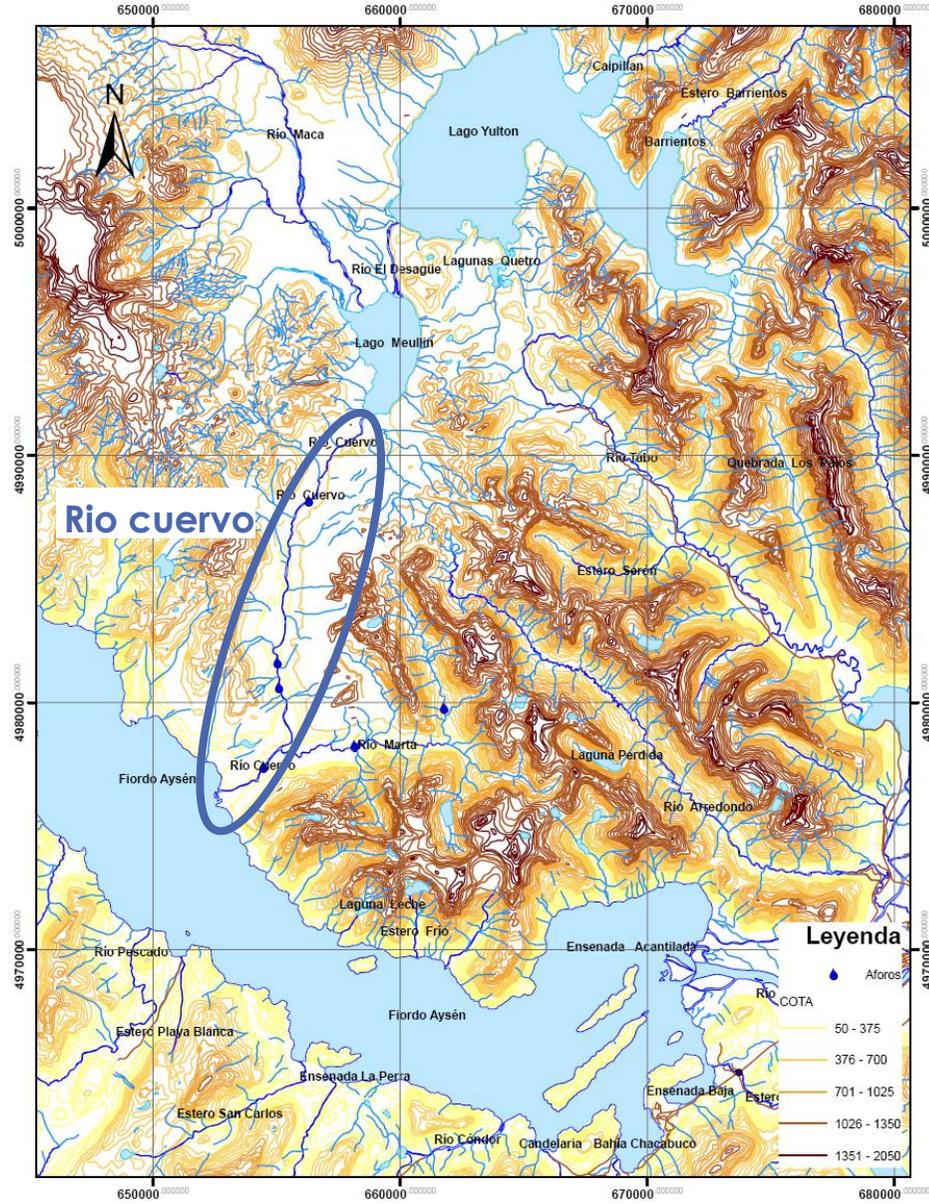
## Método de inyección puntual

- Se utiliza cuando los caudales son muy grandes, donde la medición por medio de inyección continua debería usar una gran cantidad de trazador y la duración de la experiencia es muy larga



Caso de Estudio:

Medición  
Río Cuervo



## Sistema de inyección puntual de trazador en Río Cuervo

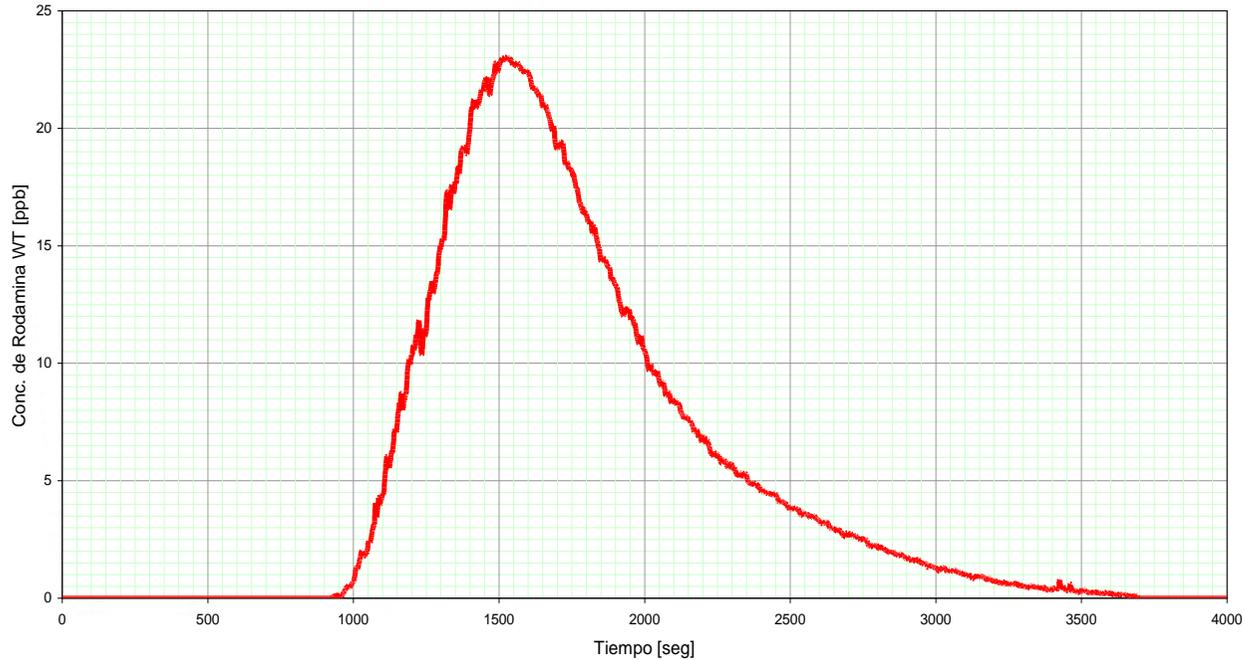


## Sistema de medición para inyección puntual

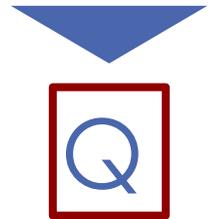


## Resultados obtenidos

Gráfico 03.- Variación de la Concentración de Rodamina WT en el Río Cuervo. Inyección Puntual. Punto de Medición 3. Coordenadas UTM : 0654481E - 4977268N.



$$A = Q \int_0^{\infty} C(t) dt$$



# Medición de caudal en cauces abiertos

Trazado Nuclear

