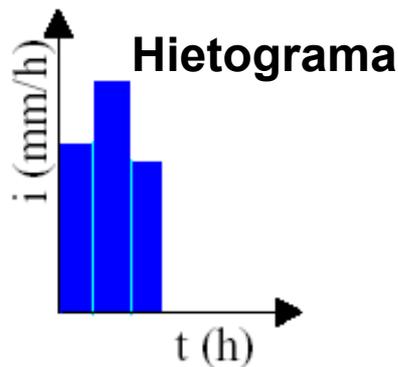


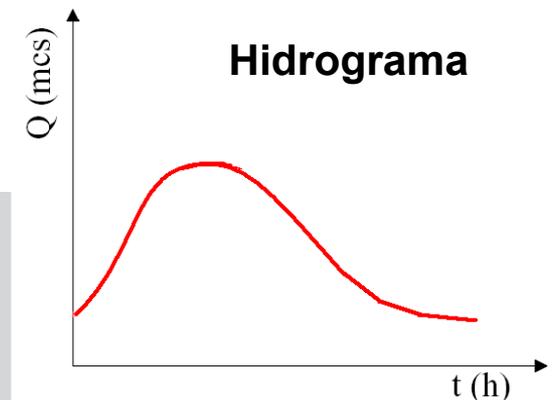
# MEDICIONES HIDROLÓGICAS

Para cuantificar la oferta hídrica en una cuenca es necesario hacer mediciones hidrológicas. Necesitamos medir la precipitación que cae en la cuenca hidrográfica, la escorrentía o el caudal en los ríos en diferentes periodos, y la calidad del agua, porque vimos que es una componente fundamental de la oferta hídrica.

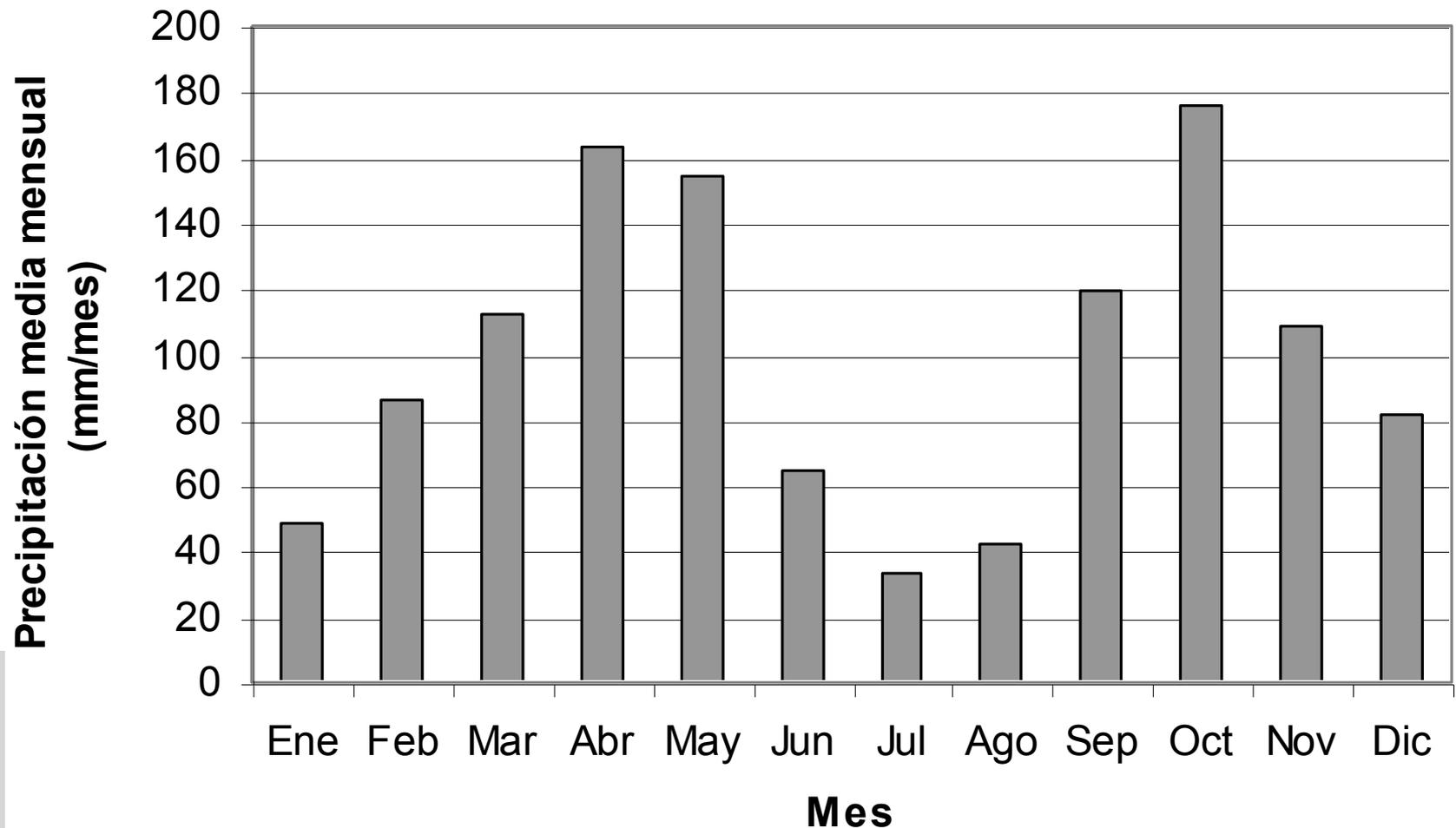
Precipitación (mm/hr) (Entrada)



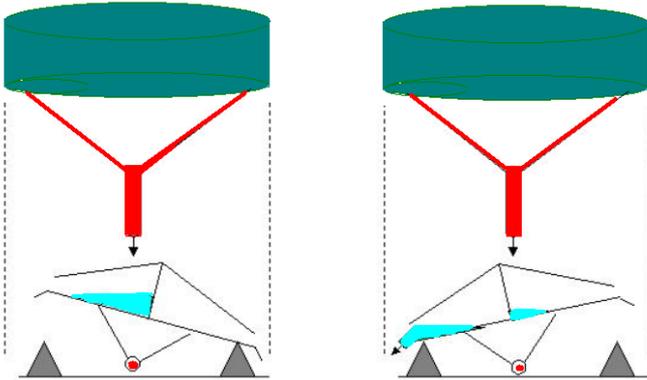
Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (Salida)



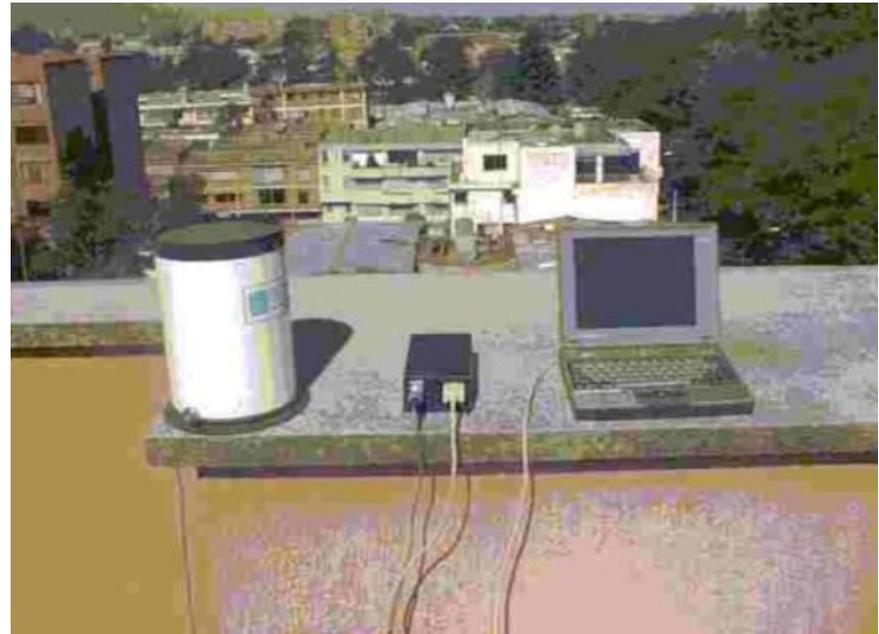
Otras mediciones como la evapotranspiración e infiltración son necesarias para cerrar el balance hídrico, y para poder cuantificar las interacciones de agua superficial con el agua subterránea.



En términos de medición de la precipitación tradicionalmente utilizamos pluviómetros. Sin embargo la tecnología actual nos permite utilizar pluviógrafos de balancín para realizar mediciones en forma continua a muy bajo costo.



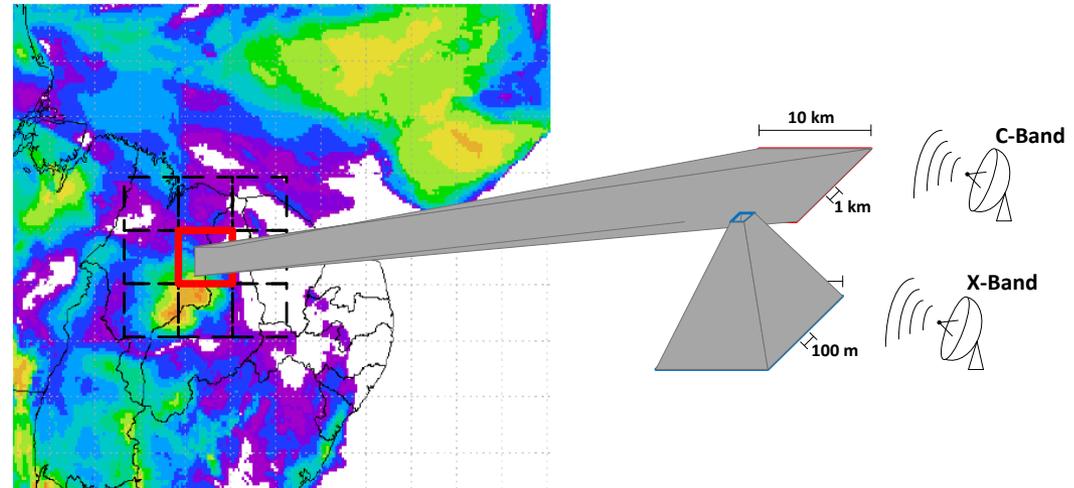
**Pluviógrafo de  
Balancín**  
**Registros con  
precisión de 1 min**



Las mediciones puntuales en pluviógrafos es necesario complementarlas con radares meteorológicos que nos dan una cobertura más amplia sobre un área y nos permiten realizar pronósticos oportunos de la ocurrencia de tormentas y eventos de precipitación.

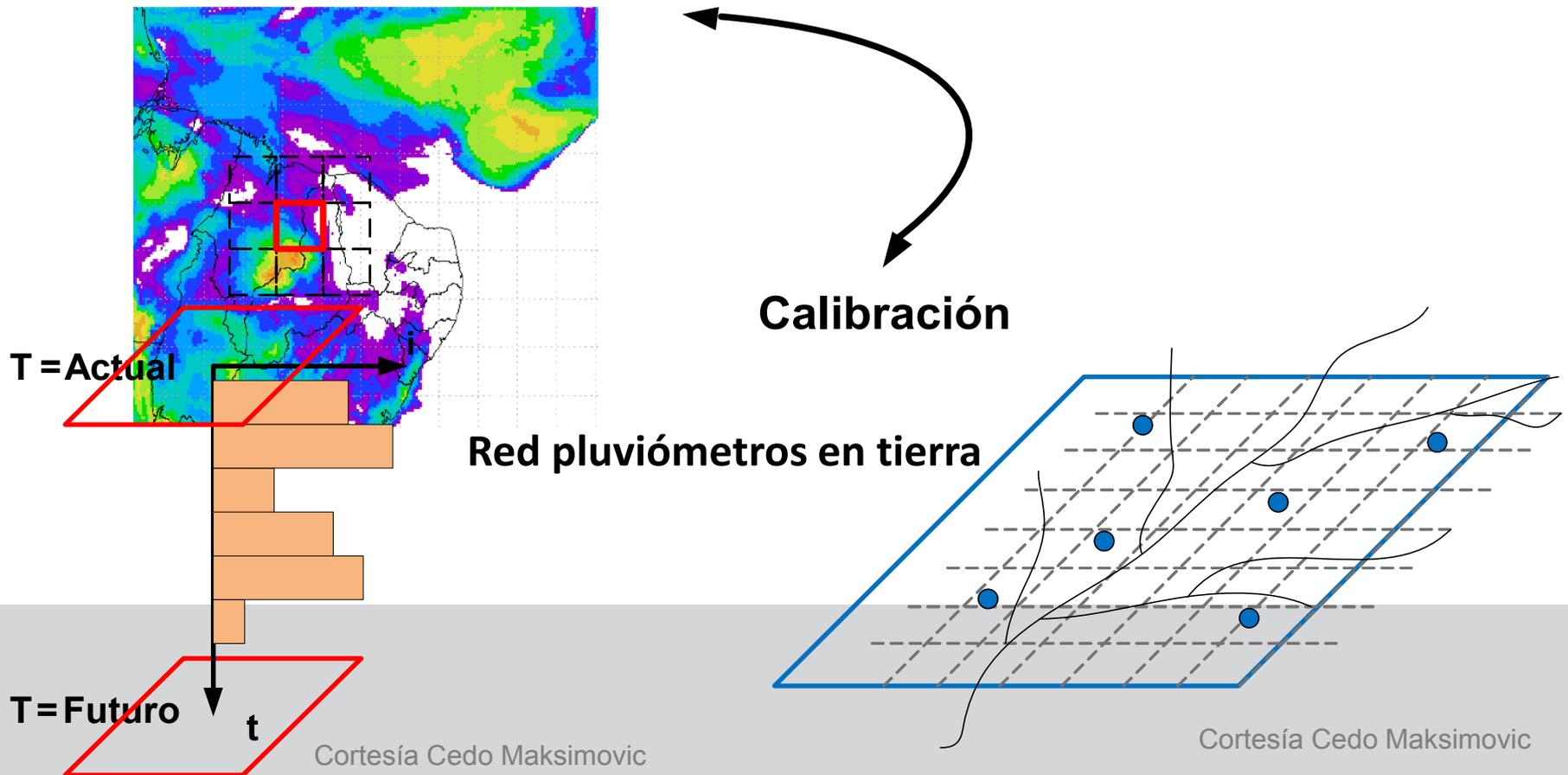


Cortesía Cedo Maksimovic

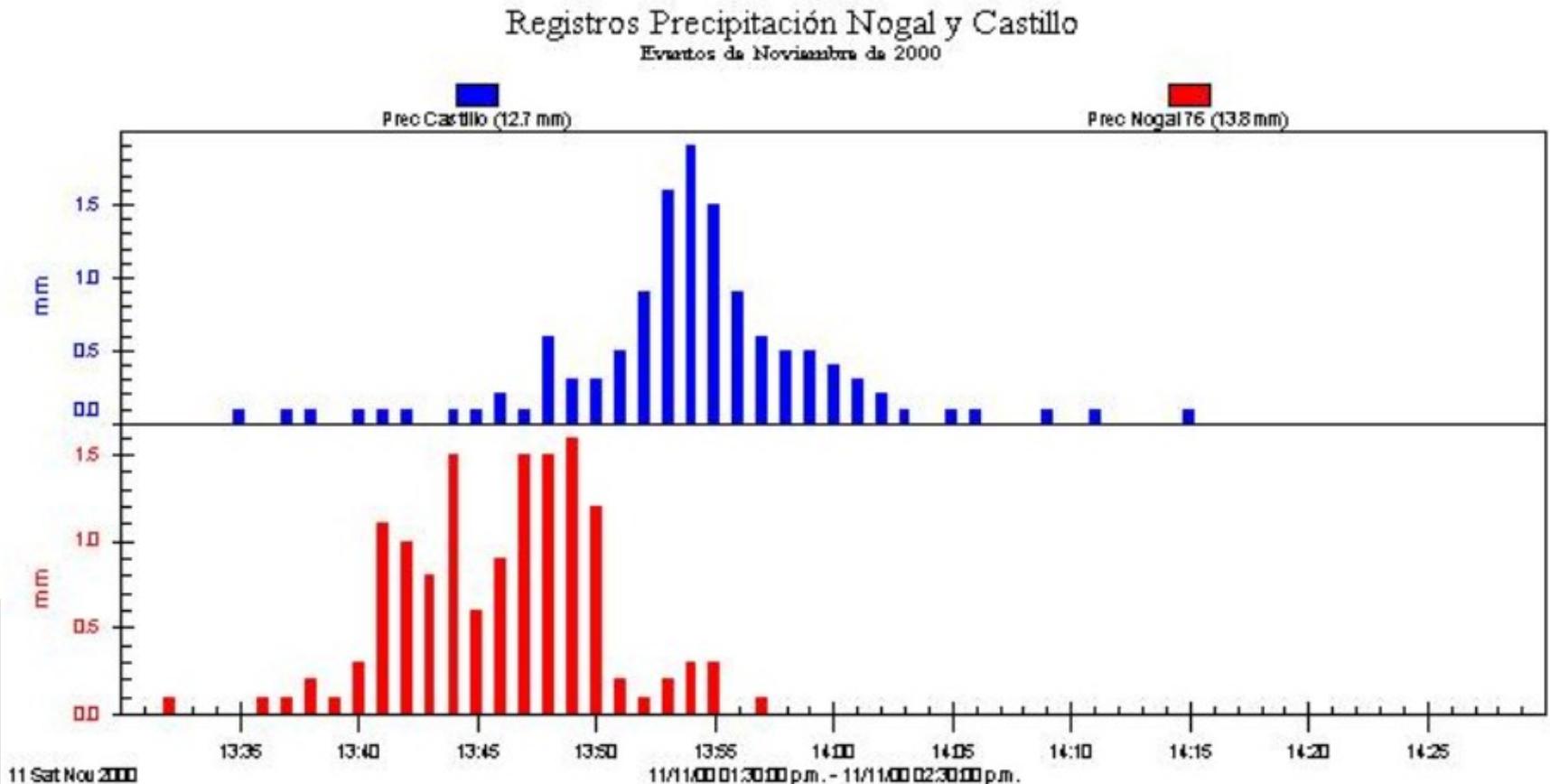


Cortesía Cedo Maksimovic

No obstante las mediciones de radares también tenemos que calibrarlas con la información obtenida de la red de pluviógrafos en tierra. Por eso necesario tener una densidad adecuada en la red de pluviógrafos.



En Latinoamérica estamos muy atrasados en la cobertura. Tenemos instalados del orden de 2 a 3 aparatos en promedio, en áreas rurales de 100 kilómetros cuadrados, cuando lo recomendable es instalar de 2 a 3 aparatos en áreas de 20 a 30 km<sup>2</sup>.



En zonas urbanas tenemos instalados menos aparatos de lo que se recomienda con el fin de poder diseñar adecuadamente los sistemas de drenaje pluvial. Deberíamos tener del orden de un aparato por cada dos a tres km<sup>2</sup> de área, pero la densidad de nuestras redes de medición es mucho menor.

Población	Densidad (ha/Aparato)	Archivo (min)
Seine Saint Denis	2000	0.2
Courly	2000	6
Nancy	860	0.17
Saint Etienne	1200	Balanceo
Le Havre	660	Balanceo

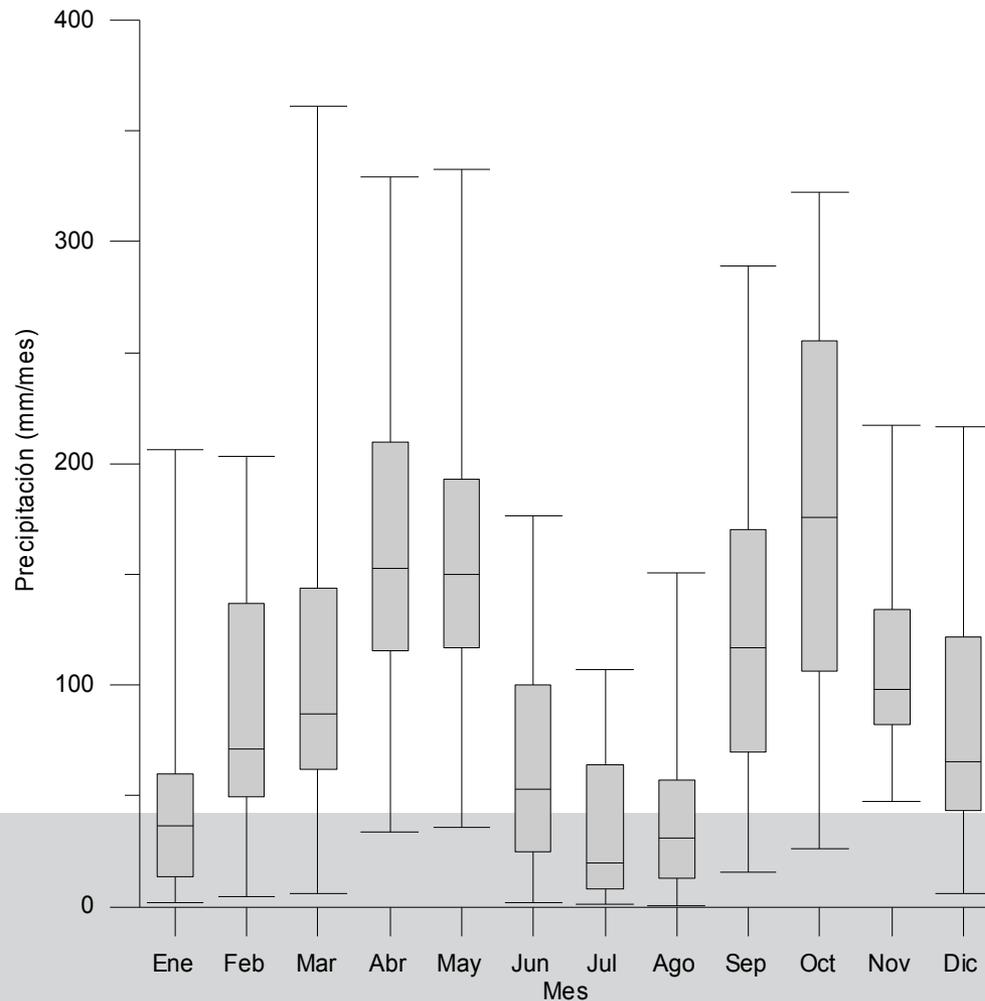
## Y en Inglaterra (Water Research Center):

Para obtener errores +/- 10% en la calibración de modelos lluvia escorrentía:

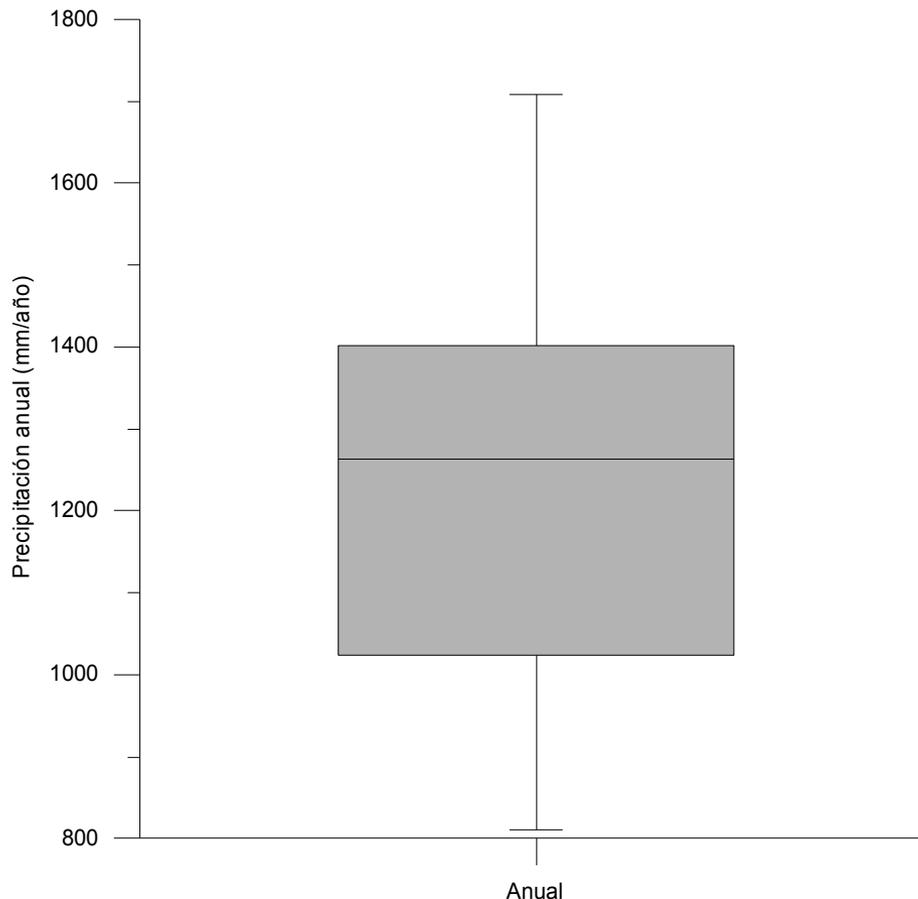
1. Densidad mínima de 3 pluviómetros para áreas de drenaje < 8 km<sup>2</sup>. Dos de estos para medición y uno para control. En zonas planas debe incrementarse un aparato por cada 4 km<sup>2</sup> adicionales.
2. Intervalos de medición de 2 minutos
3. Sincronización completa de los equipos de medición (precipitación y caudales)

Densidad en la Sabana de Bogotá: del orden de 30 km<sup>2</sup> por estación (densidad urbana es mayor).

Esta incertidumbre que se presenta en la estimación de la precipitación en un área es necesario cuantificarla y reportarla adecuadamente.



## Diagrama Box-whisker

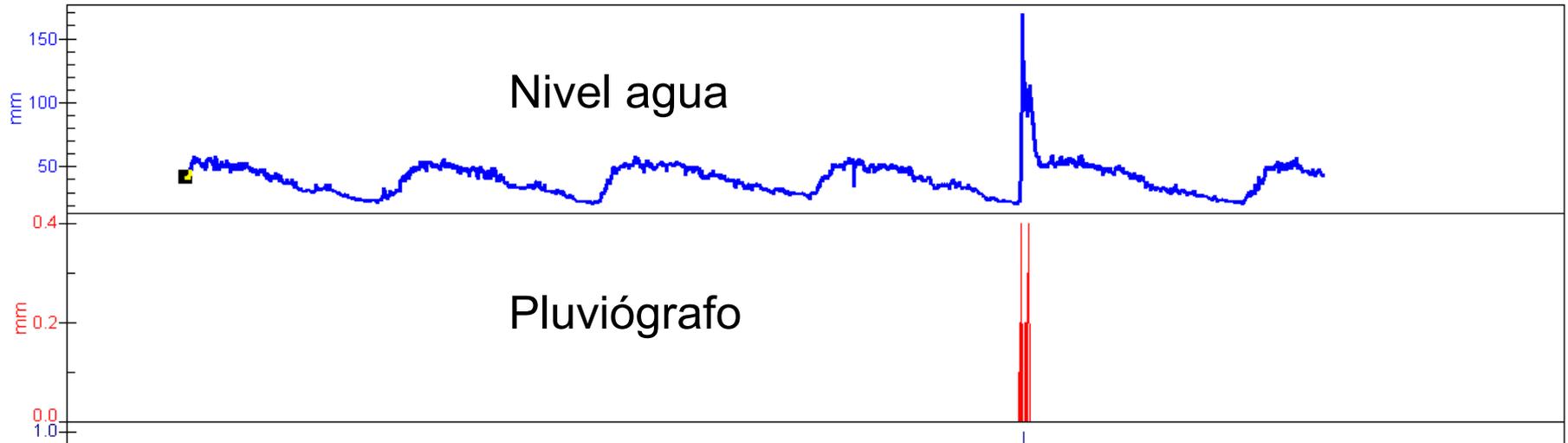


La caja está limitada por los cuartiles del 25 y 75%, la mediana está representada por la línea horizontal dentro de la caja, y los pelos se extienden hasta los valores mínimo y máximo. El valor medio multianual es de 1220 mm/año, con el 50% de los valores anuales históricos registrados variando entre 1023 y 1400.6 mm/año, y valores mínimo y máximo de 811.1 y 1708.2 mm/año.

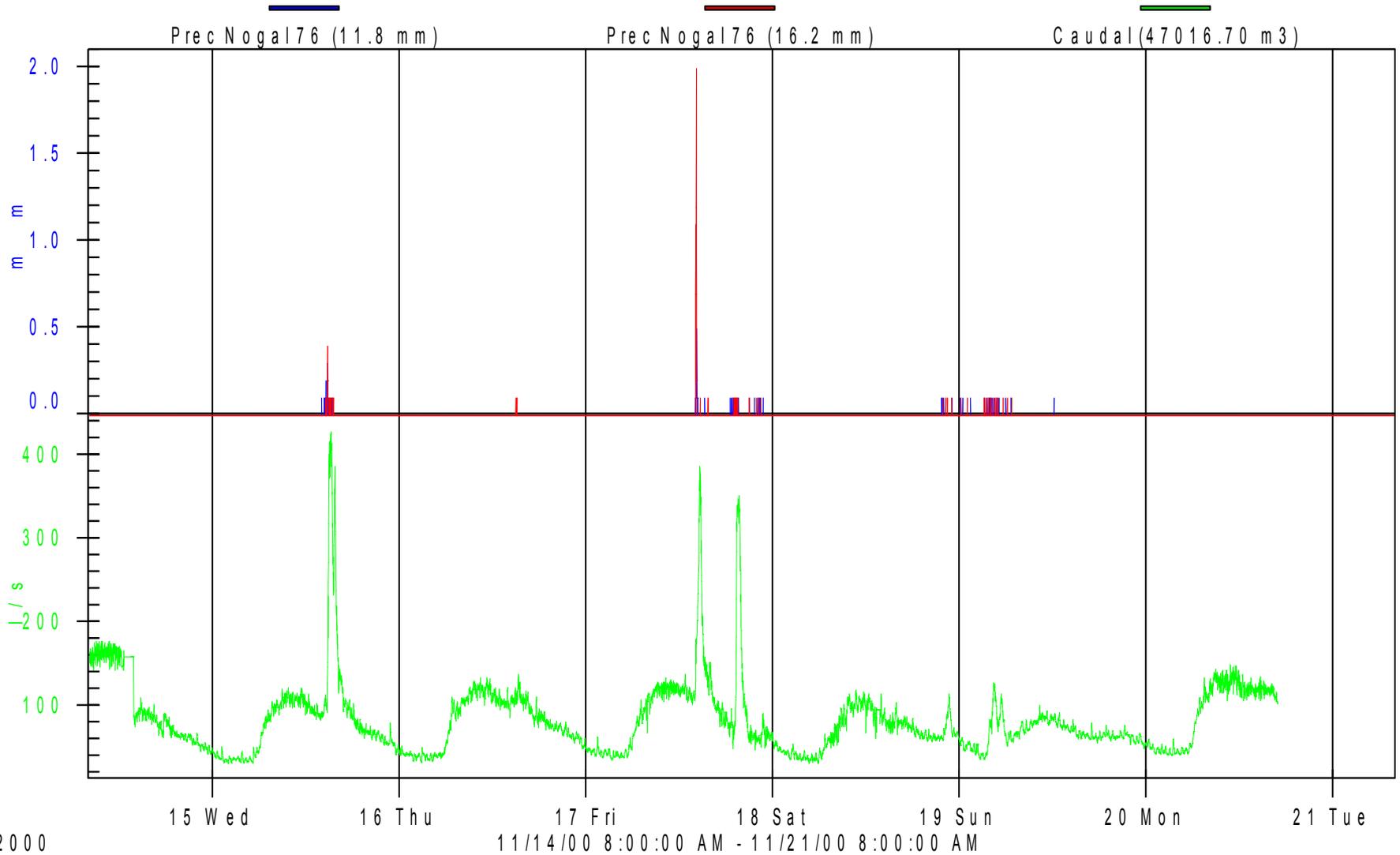
Con respecto la medición de la escorrentía superficial tradicionalmente medimos en forma discreta o continua el nivel del agua, y utilizamos curvas de calibración nivel-caudal. Hoy en día la tecnología nos permite hacerlo de forma continua a bajo costo utilizando sensores ultrasónicos.



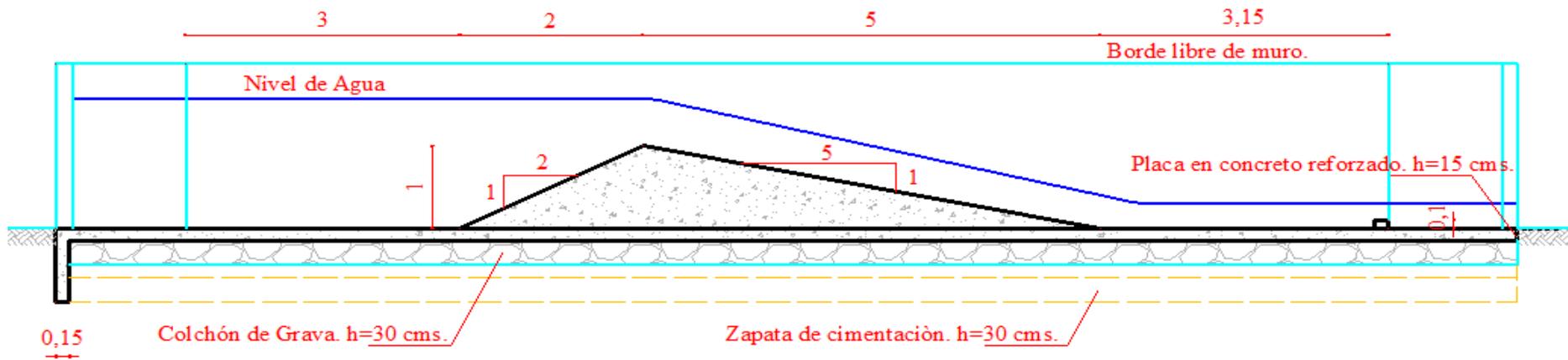
# Monitoreo continuo – lluvia escorrentía



### Caudales y Precipitaciones



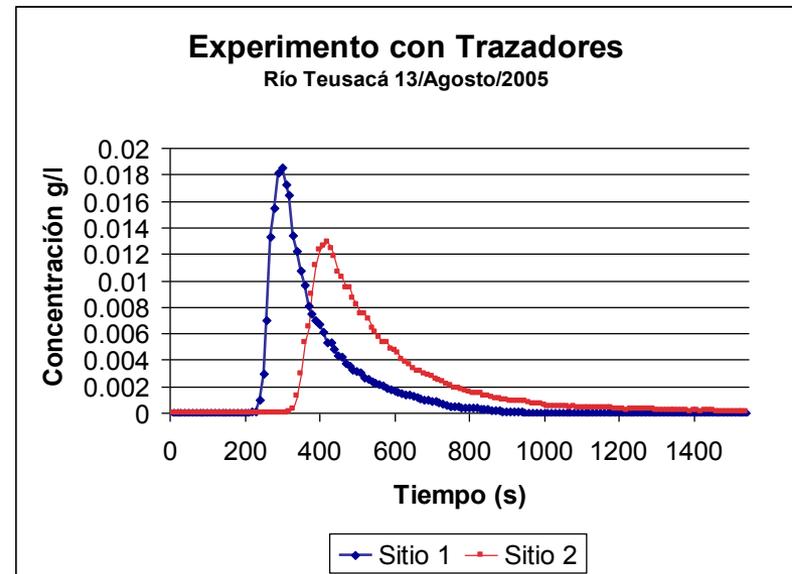
Las mediciones más precisas de caudal se realizan en estructuras hidráulicas, tales como los vertederos Crump o las canaletas Parshall o vertederos de cresta delgada o de cresta ancha. Sin embargo estamos limitados a caudales no mayores a  $10 \text{ m}^3$  por segundo cuando utilizamos estas estructuras.



En ríos anchos como el Magdalena, el Orinoco. El Amazonas. El Río Paraguay y el río de la Plata, hoy en día la tecnología nos permite utilizar sensores ultrasónicos de efecto doppler como los ADCP's para realizar estimaciones de caudal más precisas en estas corrientes que las obtenidas anteriormente mediante aforos de caudal con molinete.



En ríos de montaña por el contrario debemos utilizar el método de dilución o estudios con trazadores que nos proporcionan la menor incertidumbre en la medición del caudal.

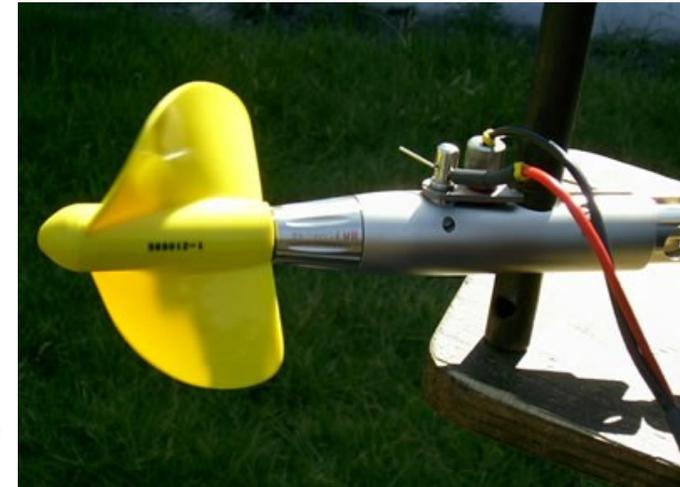


Para flujo permanente

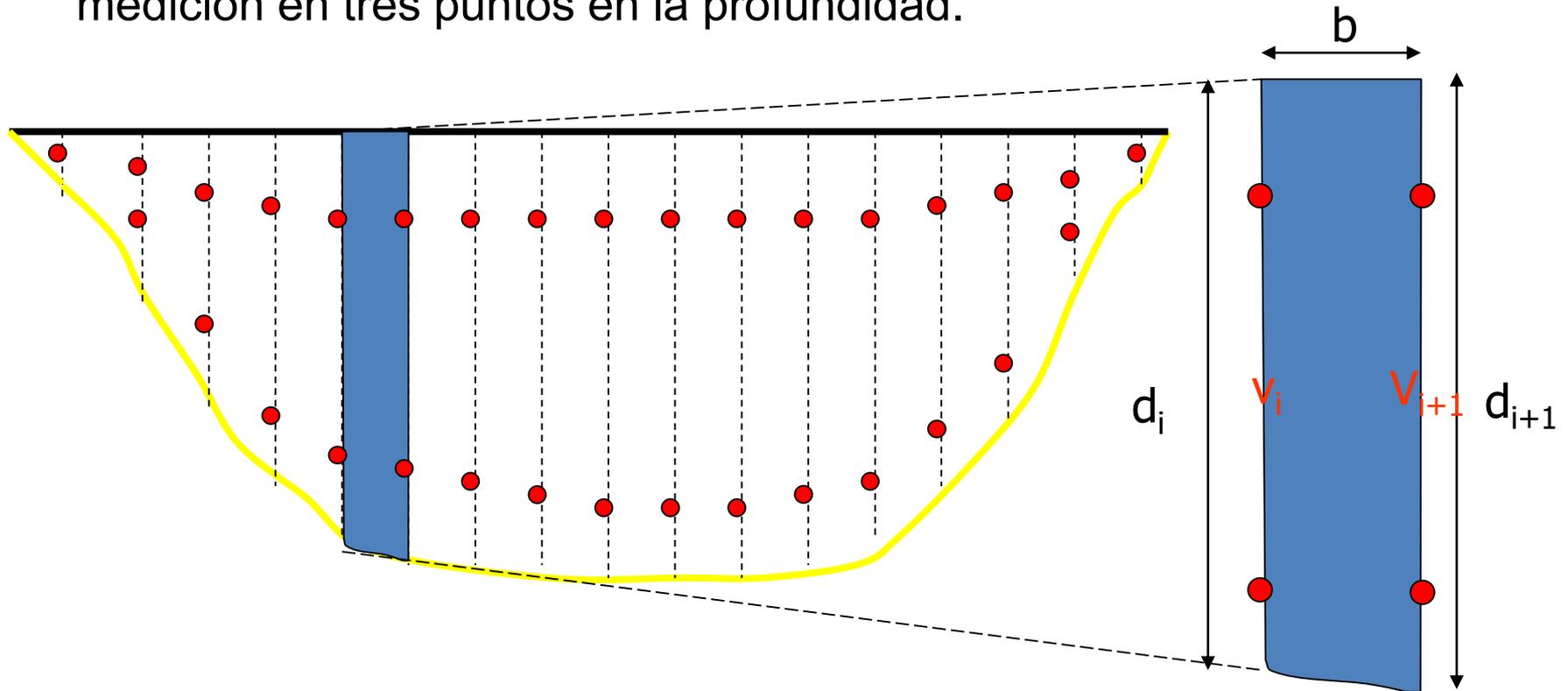
$$M = \int_0^T Q \cdot C \cdot dt$$

$$Q = M / \int_0^T C \cdot dt$$

Cuando realizamos aforos de caudal con molinete por vadeo desde bote o tarabita debemos utilizar un número apropiado de verticales y de mediciones de velocidad en la profundidad para reducir la incertidumbre en la medición.



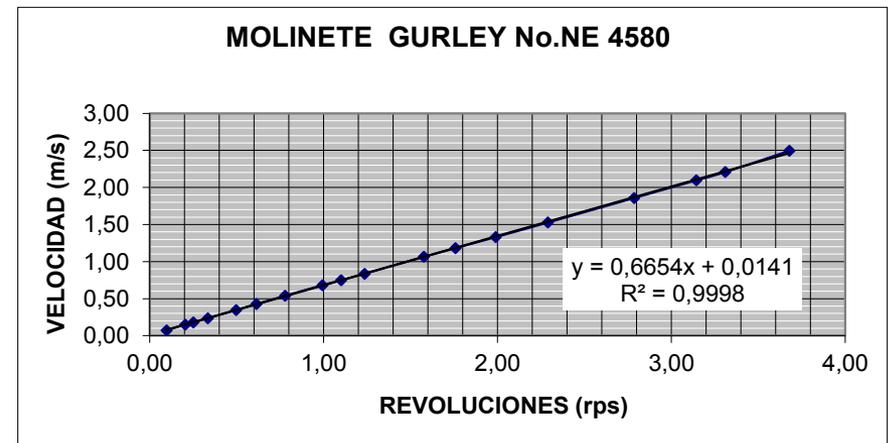
La recomendación es utilizar verticales con un espaciamiento no superior a un veinteavo del ancho total del río y hacer en lo posible la medición en tres puntos en la profundidad.



Muy importante es calibrar las hélices de los correntómetros adecuadamente y hacer el aforo en tramos rectos y uniformes de los ríos en secciones estables.

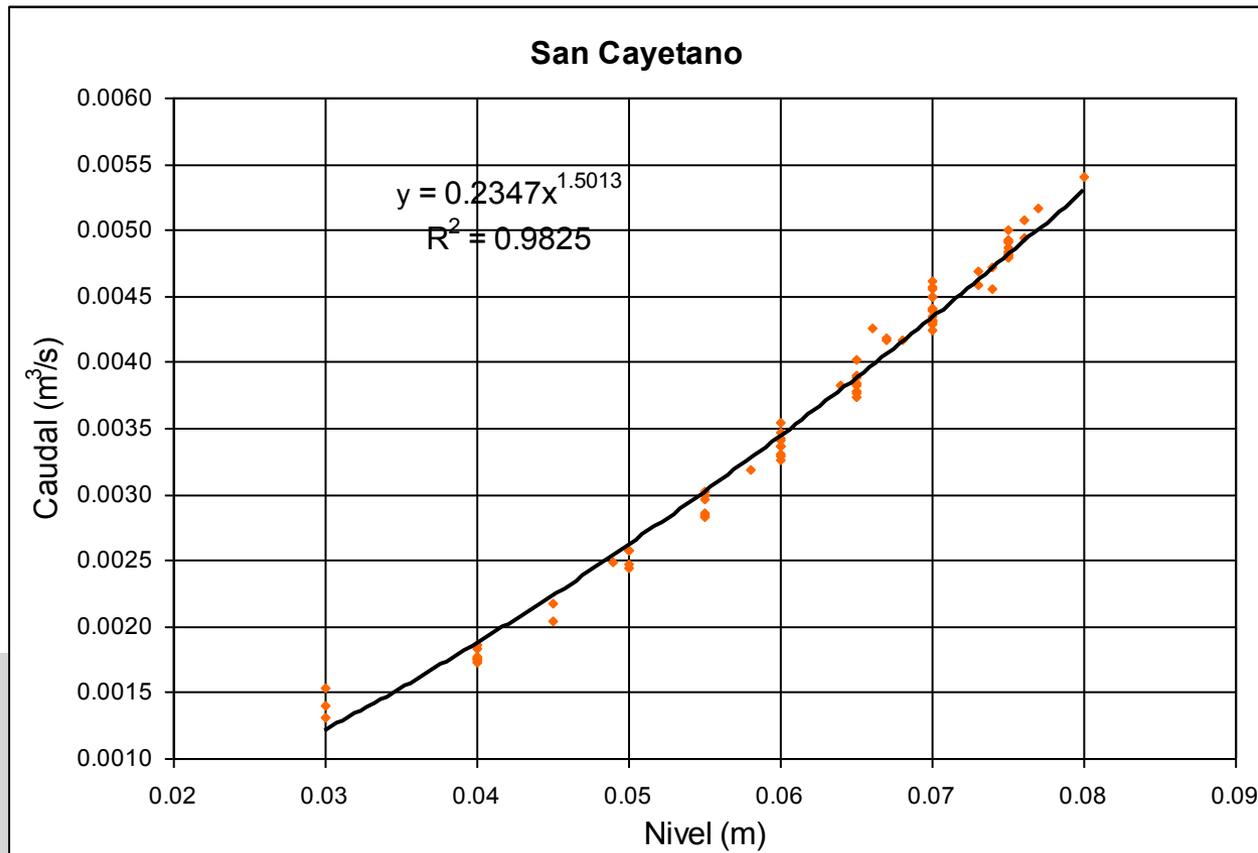


Cortesía Prof. Erasmo Rodríguez – Universidad Nacional



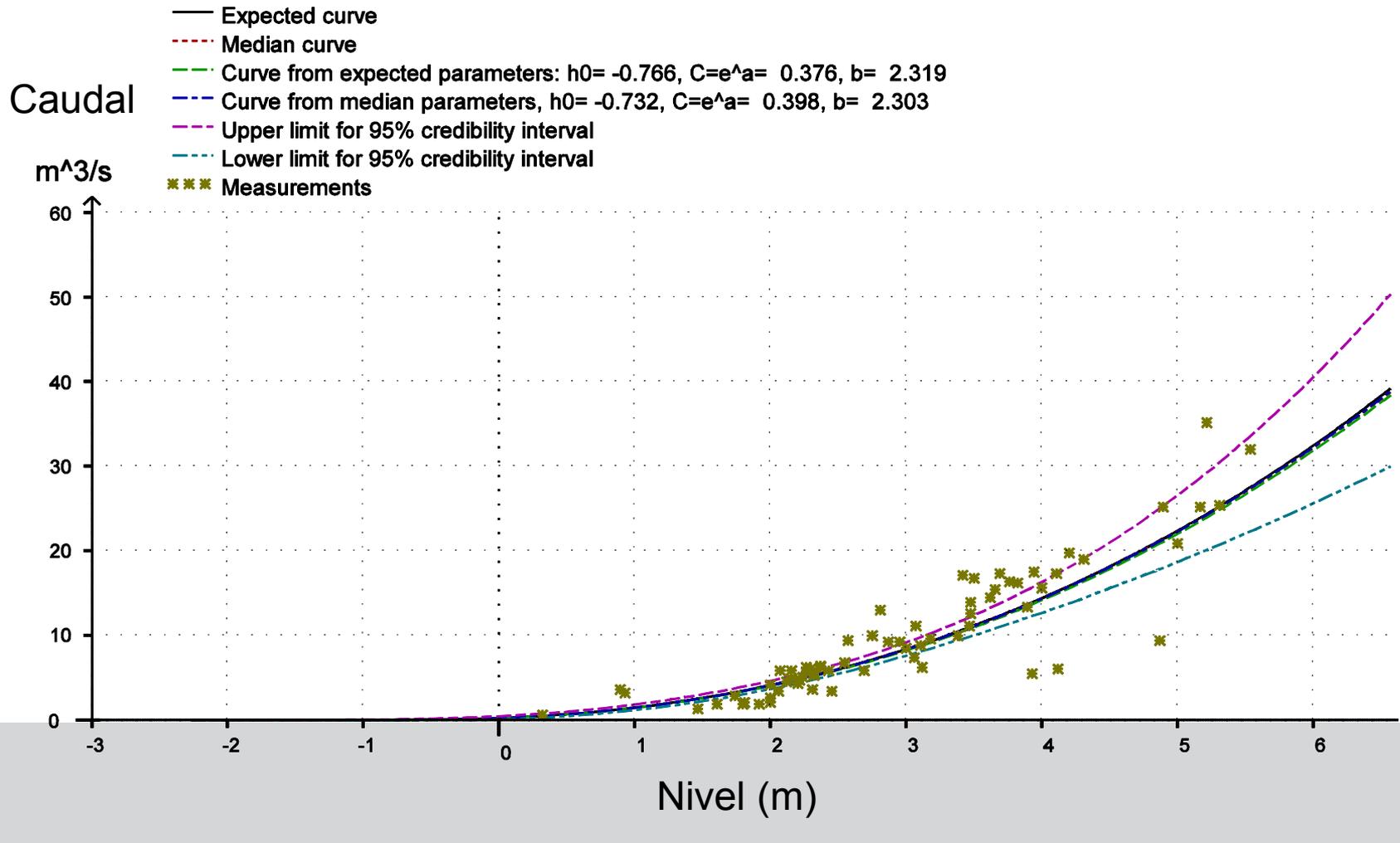
Cortesía Prof. Erasmo Rodríguez – Universidad Nacional

Una vez que tenemos suficientes datos de caudal y nivel procedemos a calibrar la curva de nivel-caudal. La recomendación es utilizar métodos estadísticos que incorporen la incertidumbre y realizar actualizaciones periódicas de las curvas sobre todo en ríos de alta carga sólida.

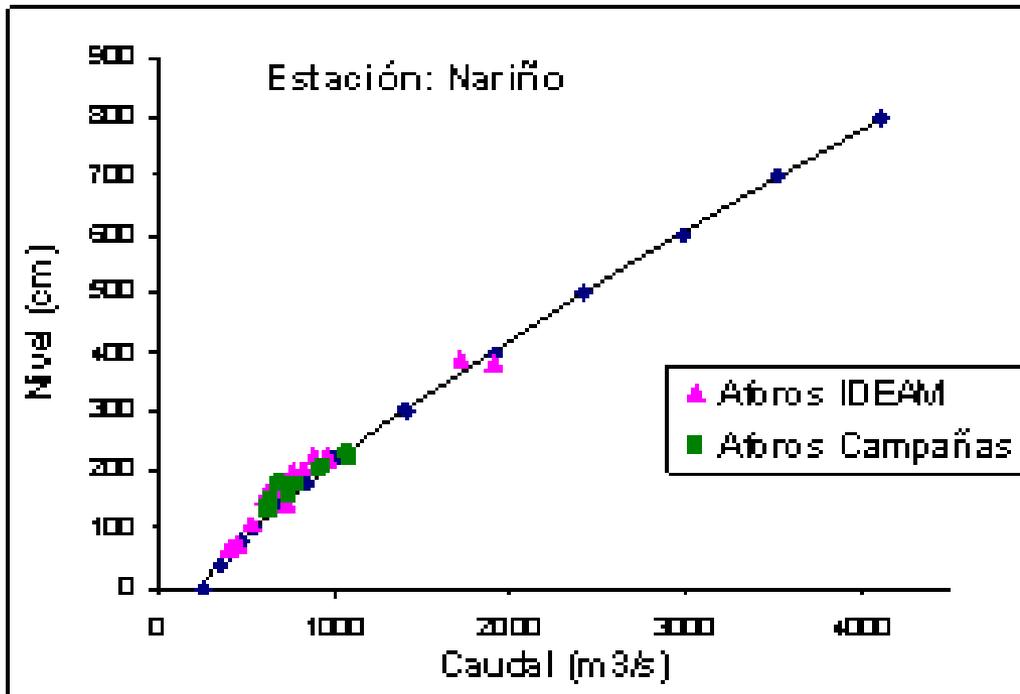


# Método estadístico incorporando incertidumbre

## Ejemplo Software: Hydrasub, (2003)



# Ecuación de calibración nivel - caudal Estación Nariño – Río Magdalena Colombia



Estación Limnigráfica y pluviográfica de Nariño

En zonas donde hay efectos de remanso como en estuarios o en confluencias de ríos es muy importante realizar mediciones simultáneas en dos miras de nivel con el fin de estimar curvas de nivel-caudal teniendo en cuenta la pendiente hidráulica el canal.

Con respecto a la medición de la evapotranspiración potencial es necesario contar con tanques evaporímetros y conocer coeficientes de cultivo para diferentes periodos vegetativos. Es muy importante incorporar las investigaciones locales de estos coeficientes de cultivo y de contar con datos climatológicos de la zona tales como temperatura, brillo, solar, humedad relativa, velocidad del viento y otros para estimar la evaporación real.

Finalmente para la estimación de la infiltración y la recarga de las aguas subterráneas, es muy importante contar con piezómetros y pozos de monitoreo continuo del nivel freático, la temperatura y conductividad eléctrica del agua. También son necesarios pozos en los que podamos hacer pruebas de bombeo para la calibración de los parámetros de los acuíferos tales como la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento, y tomar muestras para el análisis de la calidad físico-química y bacteriológica del agua subterránea.

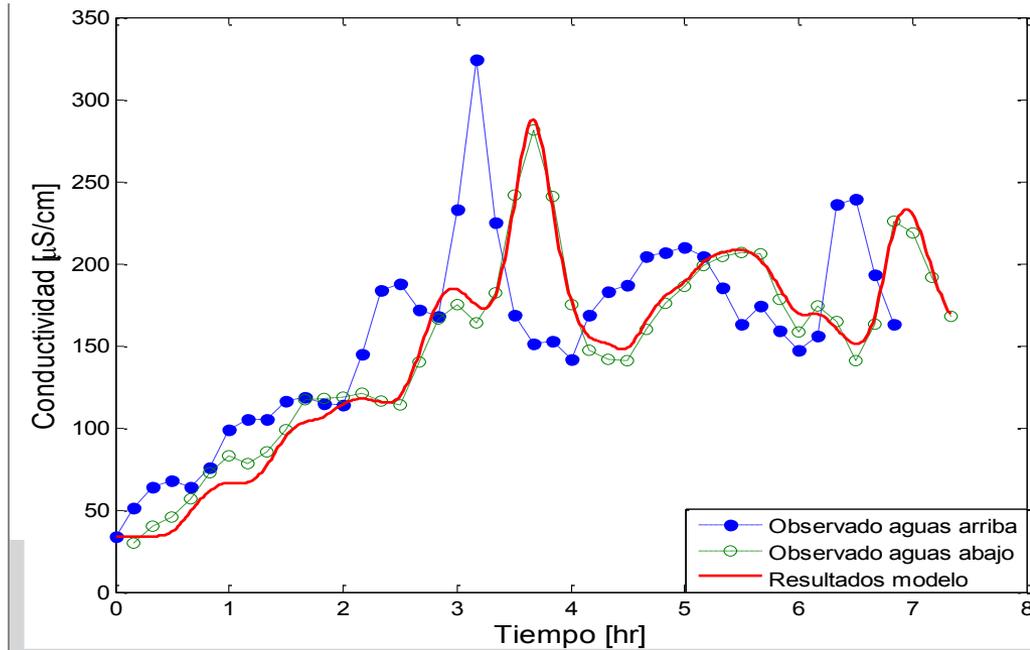
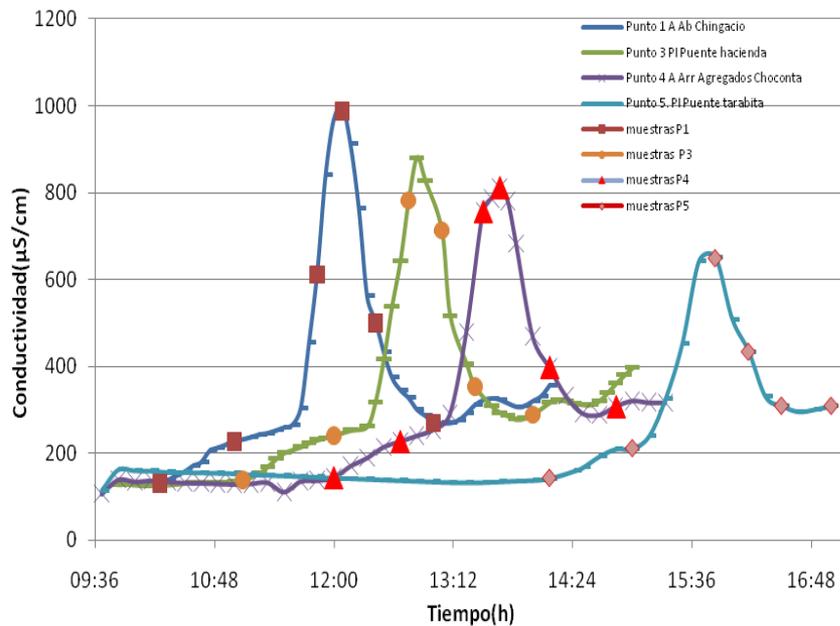
Como se ha venido mencionando varias veces anteriormente, para cuantificar la oferta hídrica es muy importante medir la calidad del agua.

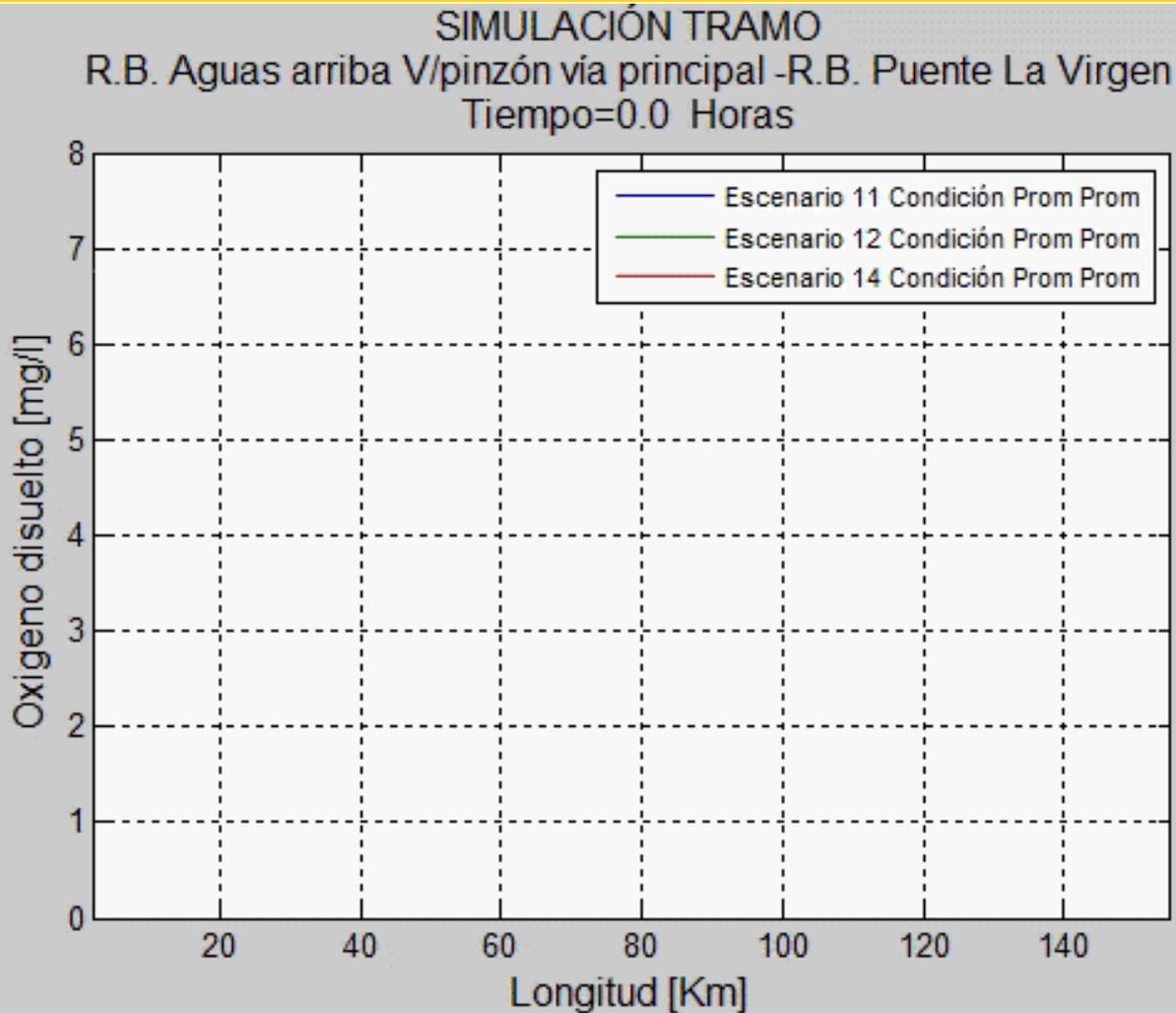


Los objetivos de una red de monitoreo de la calidad del agua pueden ser hacer múltiples, tales como hacer seguimiento a vertimientos puntuales, medir y estimar la carga contaminante de vertimientos y de ríos afluentes con el fin de estimar tasas retributivas o de compensación ambiental, establecer el cumplimiento de metas de reducción de carga contaminante, o el cumplimiento de estándares de calidad del agua para los diferentes usos del agua en la cuenca.



Las mediciones de calidad del agua también son necesarias para alimentar y mantener actualizados modelos de calidad del agua que permitan estimar los impactos previstos de vertimiento de agua servida y simular escenarios de saneamiento en la cuenca. En este sentido el beneficio costo de las mediciones sistemáticas de calidad del agua puede ser muy alto.





# Simulación de escenarios

Una red de calidad del agua la constituye no solamente instrumentos de medición con tecnología actualizada, es necesario contar con personal esté calificado y entrenado, contar con protocolos de medición y recolección de la información. También es necesario contar con estaciones fijas y/o móviles en sitios estratégicos que nos permitan hacer las mediciones en forma continua o periódica de forma consistente, y faciliten la toma de muestras para análisis de diferentes determinantes en el laboratorio.



El éxito de una red de calidad del agua es garantizar la calidad de la información que tomamos. Debe recordarse que tenemos que medir también simultáneamente el caudal en los mismos sitios en que medimos la calidad del agua para estimar la carga contaminante. Los sitios de medición deben ser seguros y tener acceso a servicio de energía eléctrica.



Para reducir costos y maximizar los beneficios es muy importante definir bien los determinantes que medimos en la red de calidad hídrica de acuerdo a los usos del agua en la cuenca, y de acuerdo a los problemas de contaminación hídrica y salud pública detectados en la misma.

## EN LÍNEA

### Caudal

pH  
Temperatura  
Oxígeno disuelto  
Conductividad  
Sólidos disueltos  
Sólidos sedimentables

## FUERA DE LÍNEA

### QUÍMICOS

Demanda bioquímica de oxígeno  
Aceites y grasas  
Amonio  
Nitratos  
Nitrógeno total Kjeldahl  
Fosforo soluble reactivo  
Sulfatos  
Cloruros totales  
Cromo hexavalente  
Hierro  
Manganeso

### FÍSICOS

Sólidos suspendidos volátiles

### BIOLÓGICOS

Coliformes Totales  
E-coli  
Clorofila-a  
Fitoplancton  
Índice de invertebrados acuáticos SAAS

# Monitoreo continuo – lluvia escorrentía

