

# **CAPÍTULO 2**

## Campana de Campo

# **1. Campaña de Campo**

A fin de determinar el comportamiento del sistema río-llanura de inundación-costa en condiciones normales de operación y su desempeño durante condiciones futuras, el trabajo realizado en esta tesis, plantea la realización de dos partes complementarias. Por un lado, la puesta a punto de un modelo hidrodinámico operacional y por otro la realización de una campaña de campo intensa con el objetivo de caracterizar los flujos, mareas, salinidad en la desembocadura del río González. Las mediciones aquí descritas forman parte del informe final de las actividades realizadas por el equipo de Procesos Costeros del PHIT durante la campaña de campo realizada durante los días 26 de Julio al 10 de Agosto de 2009. El informe completo de dicha campaña se encuentra en el reporte presentado por la Sección de Procesos Costeros del PHIT (Pedrozo-Acuña et al., 2009). La obtención de esta información tiene los objetivos de caracterizar al sistema y validar el modelo numérico seleccionado.

El periodo de tiempo seleccionado para la realización de la campaña de campo (27 de julio - 10 de agosto de 2009), se definió de tal suerte que se midiera durante el ciclo de mareas vivas. De esta forma, se registraron las condiciones del río bajo un forzamiento oceánico máximo. Esta sección presenta los resultados obtenidos relevantes para el sistema del río González y su llanura de inundación.

## **1.3 Zona de Estudio**

La zona costera de estudio contiene una desembocadura al mar, que corresponde a la salida del río González al Golfo de México, tal y como se presenta en la Figura 1. El área comprende la albufera de Mecoacán que presenta dos lóbulos definidos por la Punta de Tilapa y que desemboca al Golfo de México junto con el río Seco por la Barra de Dos Bocas, a dicha albufera se enlazan las lagunas del Eslabón, la Tinaja, el Carmen o de Ramírez, a través de arroyos del Arrastradero y arroyo Hondo. Este sistema oriental, lleva sus aguas al río González que limita a la población de Paraíso con Centla por más de 8 kilómetros y forma la laguna del Estero antes de desembocar al mar por la Barra de Chiltepec.

La región representa un área de gran tamaño (~ 680km<sup>2</sup>), está compuesto por dos salidas al mar, siete lagunas, un río mayor y una playa de 40 km de longitud. En consecuencia la complejidad del sistema hídrico es enorme, dado que todos los cuerpos de agua están comunicados y funcionan como una unidad.

Como se observa en la Figura 2.1, la desembocadura del río González no es independiente de la desembocadura de la laguna de Mecoacán. Entre ambos sistemas existen los cuerpos de agua de Eslabón y Tinaja que se encuentran comunicados a través del arroyo Hondo. A pesar de la complejidad de la zona, el hecho de contar con dos puntos de intercambio de agua dulce con el agua salobre del mar hace posible su división en dos unidades a efectos de facilitar su estudio y análisis.

Estos dos subsistemas quedan definidos por: 1) La laguna de Mecoacán, que corresponde a la laguna y su desembocadura al mar; y 2) El río González, lagunas asociadas y su desembocadura.

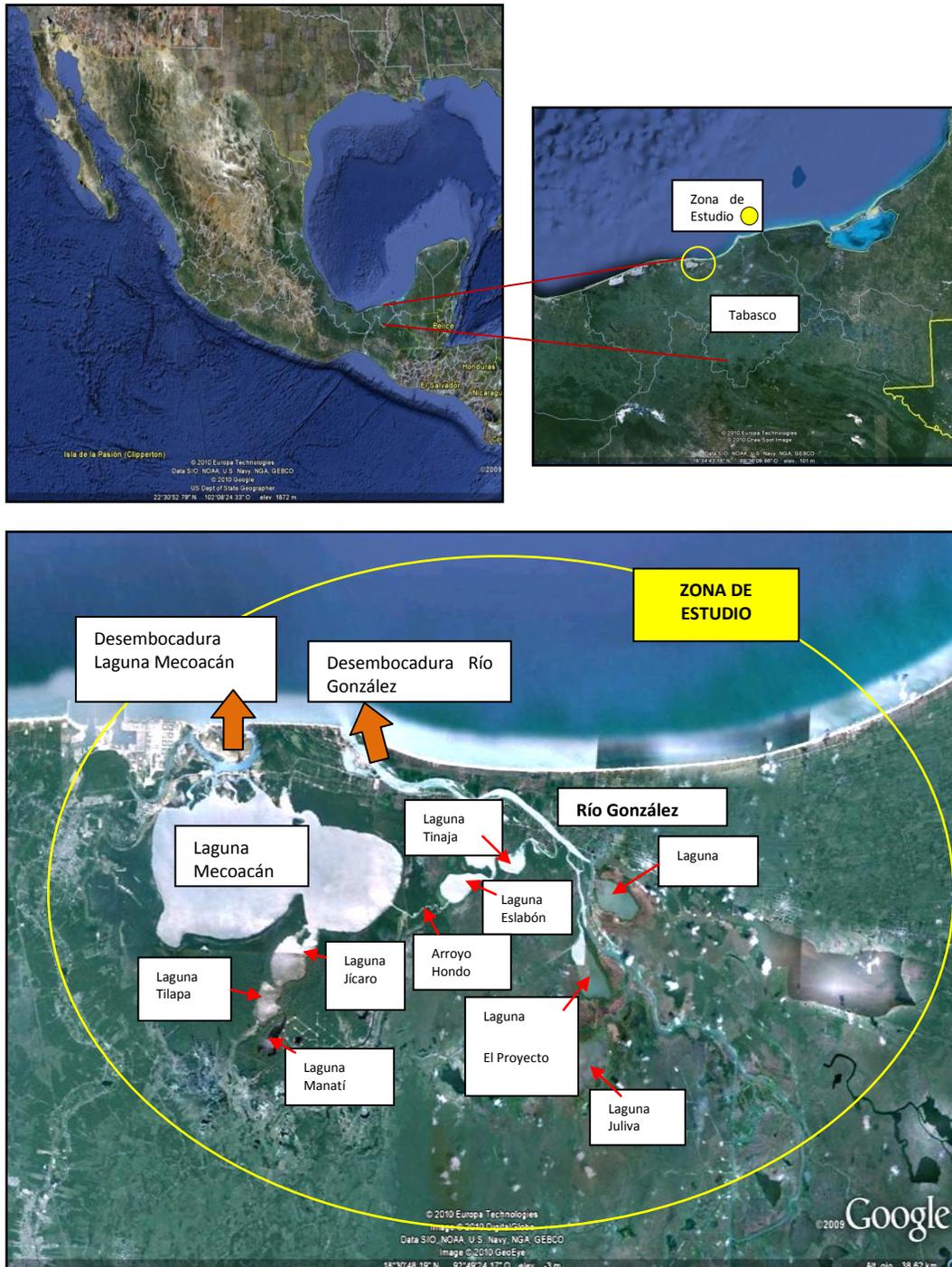


Figura 1.1 Zona de estudio, incluye el sistema de la laguna Mecoacán y el río González, y otros cuerpos lagunares menores

## 1.4 Mediciones

Las principales mediciones que se requieren para la definición de las condiciones de frontera del modelo numérico son batimetría del sistema y caudales.

### 1.4.1 Batimetría

Con el objeto de establecer y modelar las condiciones de flujo en ambos sistemas, es necesario contar con una descripción detallada del fondo marino. En consecuencia se realizaron mediciones batimétricas del río González y lagunas aledañas por medio de ecosonda.

El principio de fundamental para la operación de este instrumento es muy similar al del sonar, y consiste en transmitir impulsos sonoros para luego captar y clasificar los ecos que servirán para ubicar la posición del objeto que refleja la señal, en este caso el fondo marino, tal y como se muestra en la [Figura 2.2](#).

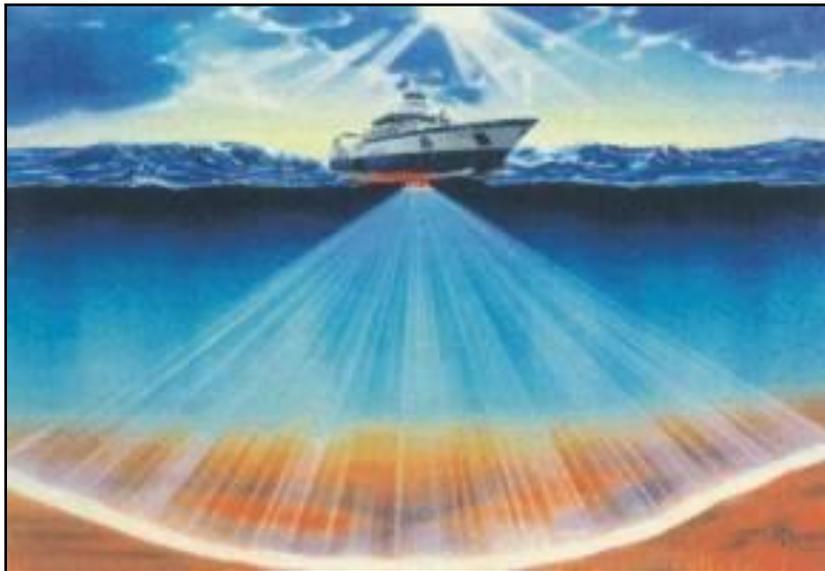


Figura 1.2 Funcionamiento de la ecosonda para detectar el fondo marino

Para la operación de este tipo de sistema se requieren una embarcación pequeña, un GPS diferencial para la corrección de datos de elevación respecto a un nivel conocido, y la computadora de campo para el almacenamiento de datos. La Figura 2.3 muestra una fotografía con el sistema montado en una pequeña embarcación.



Figura 1.3 Sistema de medición del fondo marino

Por otra parte, los paneles de la Figura 2.4 indican como el GPS diferencial (panel izquierdo) debe ser instalado en la misma coordenada que el sonar, a través de un sistema de fijación a la embarcación (panel derecho).



Figura 1.4 Panel izquierdo: antena GPS diferencial. Panel derecho: Sonar sumergido

Todas las batimetrías del sistema lagunar y del río González, fueron planeadas a priori y programadas en un GPS de navegación. Con lo que se definieron tres rutas tal y como se indica en la Figura 2.5.



Figura 1.5 Rutas de navegación de batimetrías

Para las mediciones batimétricas se ocupó una pequeña lancha; un GPS diferencial para un posicionamiento más exacto y preciso (Rover Leika serie 1200), al referirse como diferencial significa que se cuenta con una base y uno móvil que es justamente la que se encuentra en la lancha; y una ecosonda de doble frecuencia sincronizada a este sistema GPS.

Como se puede observar en la imagen, la antena del GPS se instaló sobre la punta de una varilla fijada a la lancha, la altura de la varilla es de 2 m. De modo que en el extremo opuesto se situó la ecosonda. La ecosonda y el GPS diferencial trabajan de manera simultánea; dado que la ecosonda proporciona la profundidad en relación a la posición del transductor y el GPS diferencial otorga los datos de la posición geográfica del transductor. Los datos que resulten de la elevación se pueden indicar a distintos niveles de referencia (elipsoide, nivel medio del mar, etc.)

Se requiere contar con un nivel de referencia que sea independiente de las variaciones del nivel del agua, debido a que esta puede verse modificada por la crecida de ríos, mareas y otras causas. De tal modo, que los datos obtenidos por la ecosonda, resulta de la distancia entre el transductor y el fondo de lacustre o marino, según sea el caso. Por medio del GPS diferencial es posible conocer la posición del transductor referido al elipsoide.

En este estudio, se utilizó la información del Banco de Nivel de 660 de la Red Geodésica Nacional de INEGI para referir los datos de elevación al nivel medio del mar (nmm). Uno de los puntos de control colectados en tierra, coincide con la ubicación de este banco de nivel. La elevación conocida respecto al nmm ( $z=1.3492$ ) corresponde al banco de nivel y con el punto de control con la elevación conocida respecto al elipsoide ( $z=-8.946$ ). La diferencia entre el elipsoide

y el nivel medio del mar local es (10.3052 m), se aplica para referir los datos batimétricos al nmm local.

#### 1.4.2 Medición de la variación de caudal en un ciclo de 24 horas

Con el propósito de medir corrientes y fondo marino, se utilizó un correntómetro ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, por sus siglas en inglés). Este instrumento es, como su nombre lo indica, un perfilador de corrientes por efecto Doppler. El sistema cuenta con un transductor que emite ondas acústicas, una unidad electrónica que genera los pulsos y pre-procesa las ondas recibidas, y una computadora de campo que adquiere los datos y los procesa.

El ADCP que utiliza el efecto Doppler transmitiendo sonido a una frecuencia fija y escuchando los ecos retornados por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas o material en suspensión que reflejan el sonido hacia el ADCP. Estos reflectores flotan en el agua y se mueven a la misma velocidad horizontal que el agua. Cuando el sonido enviado por el ADCP llega a los reflectores, está desplazado a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler, este desplazamiento en la frecuencia es proporcional a la velocidad relativa entre el ADCP y los reflectores. La Figura 2.6, presenta un detalle del equipo usado y un esquema de su funcionamiento, dado que para medir la intensidad de corriente en el transecto seleccionado, se requiere que la trayectoria del vehículo sea perpendicular a la dirección de la corriente que se desea medir.

Los perfiles de velocidad a lo largo de la columna de agua y en la desembocadura del río González, se midieron con el dispositivo ADP (Acoustic Doppler Profiler) marca Sontek. Este dispositivo permite conocer la magnitud y dirección del caudal en la desembocadura del río González (ver Figura 2.7).

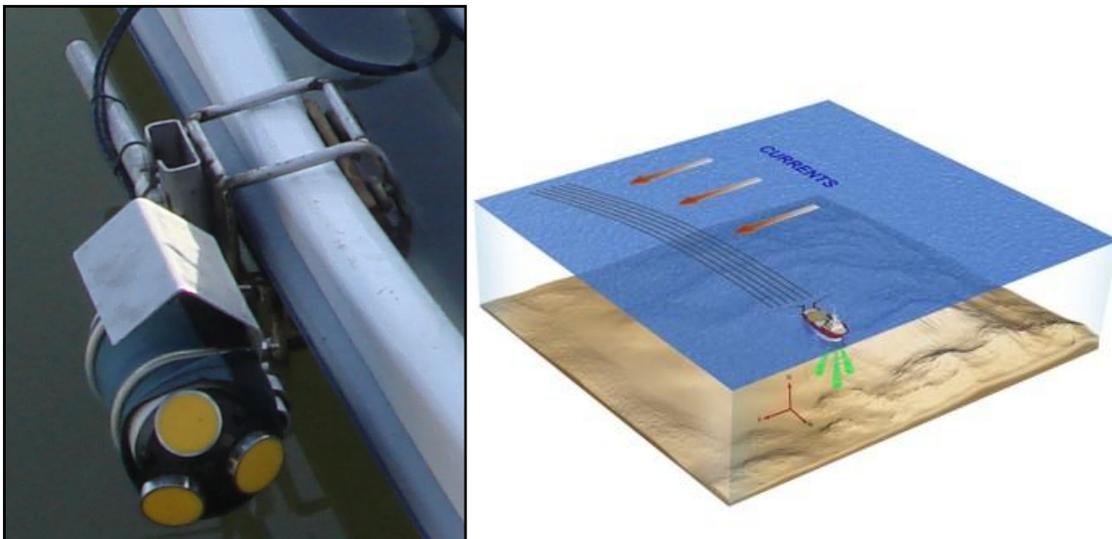


Figura 1.6 Detalle del mini ADCP montado en la moto acuática y esquema de la metodología de corrientes



Figura 1.7 Transecto en la desembocadura del río González

Para la realización de los transectos en el río González frente al poblado de Chiltepec, se utilizaron un ADCP, un CTD y una computadora de campo, que se colocaron en una moto acuática (ver Figura 2.8). Es importante destacar que estas mediciones se efectuaron durante las mareas vivas, cada hora durante 24 horas, de tal forma que se obtenga información en un periodo de marea completo.



Figura 1.8 En la moto acuática se instalaron un ADCP, CTD y una computadora en la realización de transectos (panel izquierdo). Acercamiento del ADCP (panel derecho)

El comportamiento del flujo en la desembocadura del Río González, está gobernado por los cambios en el nivel del mar (ver Figura 2.9). El valor del caudal en la desembocadura del río es siempre positivo, es decir, el flujo dominante es siempre en dirección hacia el mar. En cuanto a la magnitud del caudal, ésta es máxima durante la bajamar, cuando el flujo del río es dominante y encuentra menor resistencia. Asimismo, durante la pleamar, el valor del caudal es mínimo, haciéndose casi nulo, cuando las corrientes del río y de la marea se oponen.

Se ha observado que durante mareas vivas la disminución de la intensidad del flujo del río es muy evidente, llegando casi a detenerse por completo. Esto sugiere que en el caso de una marea de tormenta, donde el nivel medio del mar presenta una sobre elevación significativa, el flujo del río podría detenerse por completo e incluso revertirse, provocando un aumento considerable del nivel del agua e incluso desbordamiento del río.

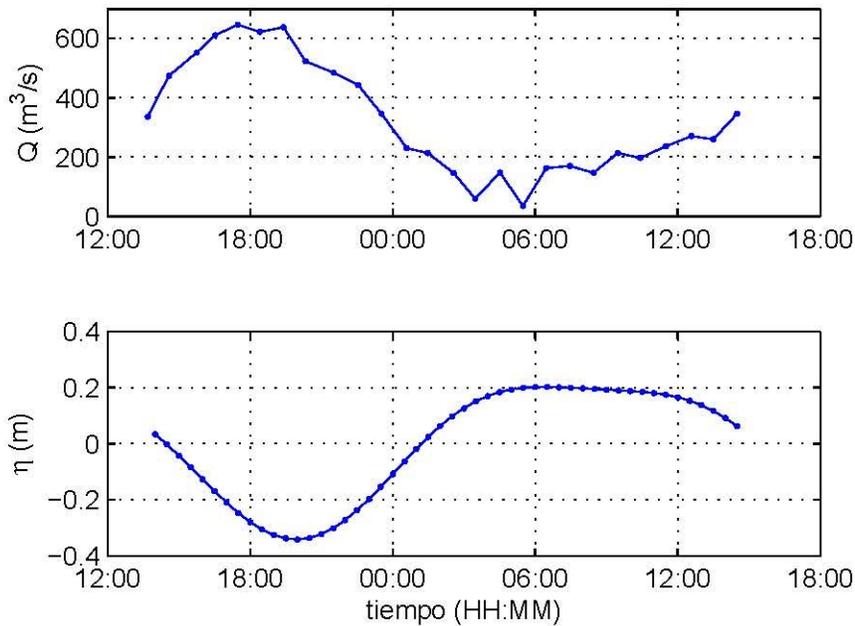


Figura 1.9 Serie temporal de caudal  $Q$ , en la boca de la desembocadura del río González (panel superior) durante un ciclo de marea. En mareas vivas (panel inferior)

### 1.4.3 Medición de la velocidad del flujo

Las mediciones se hicieron con un corrientímetro acústico tridimensional, conocido como Vector. Este instrumento mide la velocidad del flujo en las tres

direcciones, adicionalmente cuenta con un sensor de presión. El sistema de medición se centra en el uso del efecto Doppler, que proporciona datos de velocidad precisos y no intrusivos. Con una capacidad de muestreo de alta resolución de hasta 60 Hz. Además el instrumento posee una brújula y sensores de altitud, temperatura y presión.

Las aplicaciones que se le ha dado a este tipo de instrumentación tienen aplicación directa en estudios de dinámica de la zona de rompientes, estudios de turbulencia en ríos, estuarios y zonas costeras, y cuando se desea recabar mediciones conjuntas de corrientes y oleaje.

El Vector posee las siguientes ventajas únicas:

- Instrumento con un único cilindro con memoria y baterías internas.
- Pequeño y ligero.
- La sonda de titanio y el cilindro contenedor de material plástico dotan al sistema de resistencia mecánica y evita la corrosión.
- Sensor de presión de alta resolución para medidas de oleaje (Presión y velocidad).
- Dos entradas analógicas permiten integrar fácilmente sensores externos (e.g. sensores ópticos para medir material en suspensión).

Este sensor se colocó en el lecho marino por medio de una barreta, la cual se encaja en el fondo con objeto de fijar el instrumento (ver Figura 2.10).



Figura 1.10 Velocímetro acústico

El instrumento se colocó sobre la margen oeste del río (Figura 2.11) a una distancia de aproximadamente 6 km. de la desembocadura y a una profundidad de 3.6 m. En este punto del Río González, la variación de nivel es ligeramente menor a la observada en el mar, ambas con una amplitud de aproximadamente 0.2 m (ver Figura 2.12). Se observa que la amplitud de marea va disminuyendo al paso del tiempo, al igual que la variación del nivel en el río.



Figura 1.11 Ubicación del vector sobre el río González

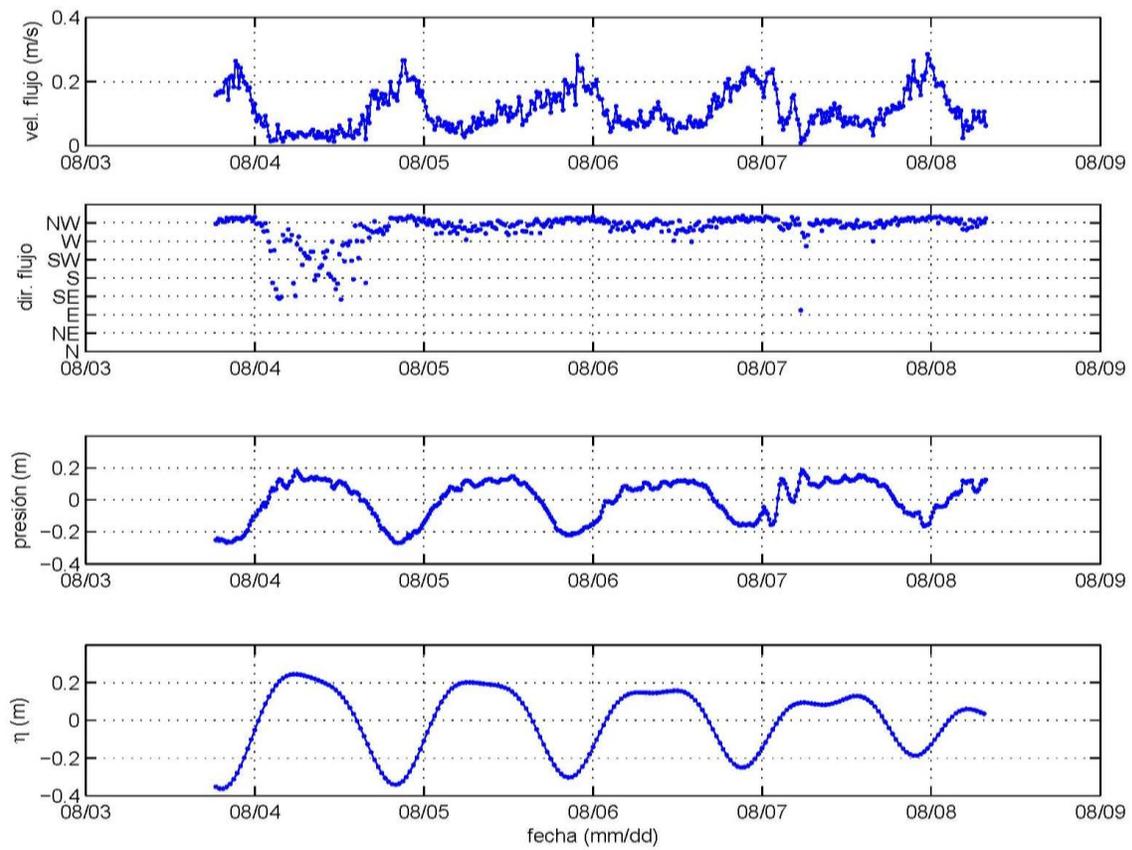


Figura 1.12 Series de tiempo de velocidad y dirección del flujo (paneles 1 y 2), y nivel del agua (panel 3) en el río González, y el nivel del mar (panel 4)

Esta información resulta muy valiosa, tanto para calibrar/validar el modelo en ese punto del río con la serie temporal de nivel, como para obtener un valor de caudal medio ( $\approx 330 \text{ m}^3/\text{s}$ ) que sirva como forzamiento para las modelaciones.