

**LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MEDIANTE TÉCNICAS  
COMBINADAS DE COBERTURA COMPLETA Y TRANSECTOS  
TRANSVERSALES EN AGUAS MUY SOMERAS.**

PEDIDO 75090

*Cód. Int.: EC21016\_BATICOM\_BAJOE BRO\_v01*

SANTANDER, 30 DE MARZO DE 2022

INFORME FINAL

Informe de los trabajos  
realizados



*Página deliberadamente en blanco*

**LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MEDIANTE TÉCNICAS COMBINADAS  
DE COBERTURA COMPLETA Y TRANSECTOS TRANSVERSALES EN AGUAS  
MUY SOMERAS**

**PROMOTOR:**

*GRUPO TRAGSA - SEPI*

*CALIDAD/ Ev.AMBIENTAL/M.NATURAL /*

*G. CALIDAD EVALUACION AMBIENTAL*



**DIRECCIÓN DEL PROYECTO:**

*TOURNE WHYTE, MARIA (JGAP CAL EV AMB Y MED NATURAL)*

**EMPRESA CONSULTORA:**

*Ecohydros SL.*



**EQUIPO DE TRABAJO:**

*Agustín Monteoliva, Alberto Criado, Alberto Navas, Ainhoa Buform*

*Asesoría del Prof. Ramón Batalla (UdL).*

**IMPORTE DE LA ADJUDICACIÓN (con impuestos):**

*15.601,01 Euros*

**CONTENIDO:**

*INFORME DE CAMPAÑA DE BATIMETRÍA CON SONDA MONOHAZ EN AGUAS SOMERAS*

**AÑO DE EJECUCIÓN:**

*2022*

**FECHA ENTREGA:**

*MARZO 2022*

*Página deliberadamente en blanco*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 ÁMBITO GEOGRÁFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
3.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO .....	6
3.1.1 Equipamiento y configuración.....	6
3.1.2 Diseño del muestreo .....	8
3.1.3 Desarrollo de la campaña .....	8
3.1.4 Transectos .....	9
3.2 PROCESADO DE LOS DATOS .....	10
3.2.1 Integración de los datos con LiDAR PNOA.....	12
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>

### **APÉNDICES**

#### **APÉNDICE I: PERFILES TRANSVERSALES FLIX-AZUD DE ASCÓ**

#### **APÉNDICE II: PERFILES TRANSVERSALES XERTA-TORTOSA**

## LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. UBICACIÓN DEL TRAMO DEL BAJO EBRO A ESTUDIAR .....</i>	<i>4</i>
<i>FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS SUBTRAMOS EN LOS QUE SE HAN REALIZADO LOS TRABAJOS BATIMÉTRICOS QUE SUMAN UN TOTAL DE 17,4 KM. ....</i>	<i>5</i>
<i>FIGURA 3. EMBARCACIÓN “ESGUINA” PREPARADA PARA EL TRABAJO BATIMÉTRICO EN LAS INMEDIACIONES DE XERTA. ....</i>	<i>6</i>
<i>FIGURA 4. REPRESENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFIGURAN EL SISTEMA BATIMÉTRICO UTILIZADO. ....</i>	<i>7</i>
<i>FIGURA 5. ECOSONDA MONOHAZY SISTEMA GPS UNA VEZ MONTADA EN LA POPA DE LA EMBARCACIÓN .....</i>	<i>8</i>
<i>FIGURA 6. CONTROL DE LA NAVEGACIÓN DURANTE EL SONDEO ACÚSTICO.....</i>	<i>9</i>
<i>FIGURA 7. VISUALIZACIÓN DE LOS TRANSECTOS REALIZADOS EN EL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS HYPACK.....</i>	<i>9</i>
<i>FIGURA 8. ECOGRAMA DE UNO DE LOS TRANSECTOS EN EL SOFTWARE DE EDICIÓN DE HYPACK.....</i>	<i>10</i>
<i>FIGURA 9. PERFIL DE UNO DE LOS TRANSECTOS EN EL MÓDULO TIDE EDITOR DE HYPACK.....</i>	<i>11</i>
<i>FIGURA 10. PERFIL DE UNO DE LOS TRANSECTOS PROCESADOS CON HYPACK. ....</i>	<i>11</i>
<i>FIGURA 11. EJEMPLO DE IMAGEN 3D DE LOS DATOS BATIMÉTRICOS REGISTRADOS EN FLIX, TRAS LA INTERPOLACIÓN TIN CON HYPACK. ....</i>	<i>12</i>
<i>FIGURA 12. INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DEL PNOA 2ª COBERTURA EN UN TRAMO EN EL ENTORNO DE FLIX.....</i>	<i>13</i>
<i>FIGURA 13. MDT DEL TRAMO AGUAS ARRIBA DE LA LOCALIDAD DE FLIX.....</i>	<i>14</i>

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente documento recoge los trabajos realizados y resultados obtenidos en una campaña batimétrica de los subtramos vadeables del tramo del río Ebro comprendido entre la presa de Flix y su desembocadura, ejecutada durante el mes de marzo de 2022 en situación de aguas altas en la que se han aplicado en los tramos someros técnicas alternativas a la batimetría de cobertura completa.

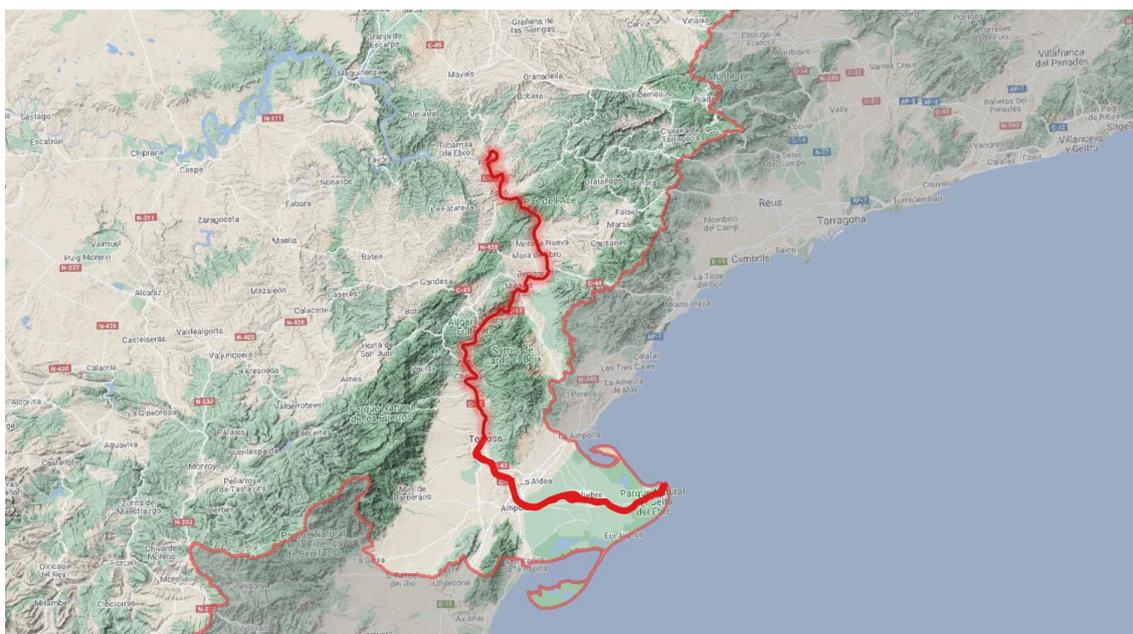
El objetivo del Estudio es realizar una serie de levantamientos batimétricos en dos subtramos con segmentos vadeables: Flix-Ascó y Xerta –Tortosa, que son inaccesibles a las técnicas de sondeo batimétrico multihaz.

Estos trabajos entroncan en la serie de estudios e iniciativas que pretenden acotar el problema que el efecto combinado del manejo hidráulico y del cambio climático pudiera tener en la integridad y devenir del Delta del Ebro. En este caso, se enfoca desde el lado de la alteración de los procesos de erosión y sedimentación que tienen como consecuencia una reducción de los aportes sedimentarios que llegan al Delta del Ebro que, tal y como se explica en el Pliego de Prescripciones Técnicas es “una evidencia constatada que conlleva una serie de efectos directos e indirectos sobre la estructura del tramo bajo del río Ebro, su delta y su área marina de influencia. Una presión que se suma a los efectos sinérgicos de la subida del nivel del mar y la erosión costera”.

En el presente documento se recoge la metodología y ejecución de los trabajos relativos al levantamiento batimétrico del mencionado tramo fluvial.

## 2 ÁMBITO GEOGRÁFICO

El tramo del Bajo Ebro incluido en el estudio y perteneciente en su integridad al SISTEMA DE EXPLOTACIÓN BAJO EBRO, se extiende desde aguas abajo de la presa de Flix hasta la propia desembocadura en el Delta del Ebro, en un recorrido estimado de unos 116 km de longitud de cauce, de los cuales unos 85 km (desde Flix a Tortosa) corresponden a masas de agua superficiales tipo río y 42 km a la masa de agua de transición que comienza en Tortosa hasta su salida al mar Mediterráneo.



**Figura 1.** Ubicación del tramo del Bajo Ebro a estudiar

Los ámbitos de trabajo se ubican en 3 de los 6 tramos de la tramificación que se plasma en la siguiente tabla, que responde a la presencia de obstáculos pero también de grandes discontinuidades hidrológicas y geomorfológicas, incluyendo la incorporación del río Siurana que actualmente constituye el principal ingreso de sedimentos al tramo.

**Tabla 1.** Listado y características de los tramos definidos en el Bajo Ebro (en azul los incluidos en el presente trabajo)

Descripción	Ebro desde la presa de Flix a retorno C.H. de Flix	Ebro desde retorno C.H. de Flix hasta Ascó	Ebro desde Ascó hasta García	Ebro desde García azul de Xerta	Ebro desde el azud de Xerta hasta Tortosa	Río Ebro desde Tortosa hasta desembocadura (aguas de transición)
<b>COD_MASA</b>	ES1080/ES1100 Cambio de MAS en vertido EDAR de Flix	ES1100	ES1100	ES1100	ES1260	ES091
<b>TIPO</b>	R-T17	R-T17	R-T17	R-T17	R-T17	AT-T02
<b>TRAMIFICACIÓN INICIAL</b>	I	II	III	IV	V	VI
<b>RÍO</b>	Ebro	Ebro	Ebro	Ebro	Ebro	Ebro
<b>Longitud (km)</b>	5	5	12	36	16	42

En total, los tramos vadeables abarcan 17,4 km y en su conjunto representan el 15% de los 116 km del Bajo Ebro. En estos tramos se ha tenido que trabajar con sonda monohaz debido a la imposibilidad de su navegación longitudinal con sonda multihaz.

Los mencionados tramos son:

- Ebro desde la presa de Flix hasta Ascó
- Ebro desde el azud de Xerta hasta Tortosa

Se representan en la figura siguiente se muestran los tramos en los que se han realizado los trabajos batimétricos con sonda monohaz.



**Figura 2.** Ubicación de los subtramos en los que se han realizado los trabajos batimétricos que suman un total de 17,4 km.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Levantamiento batimétrico

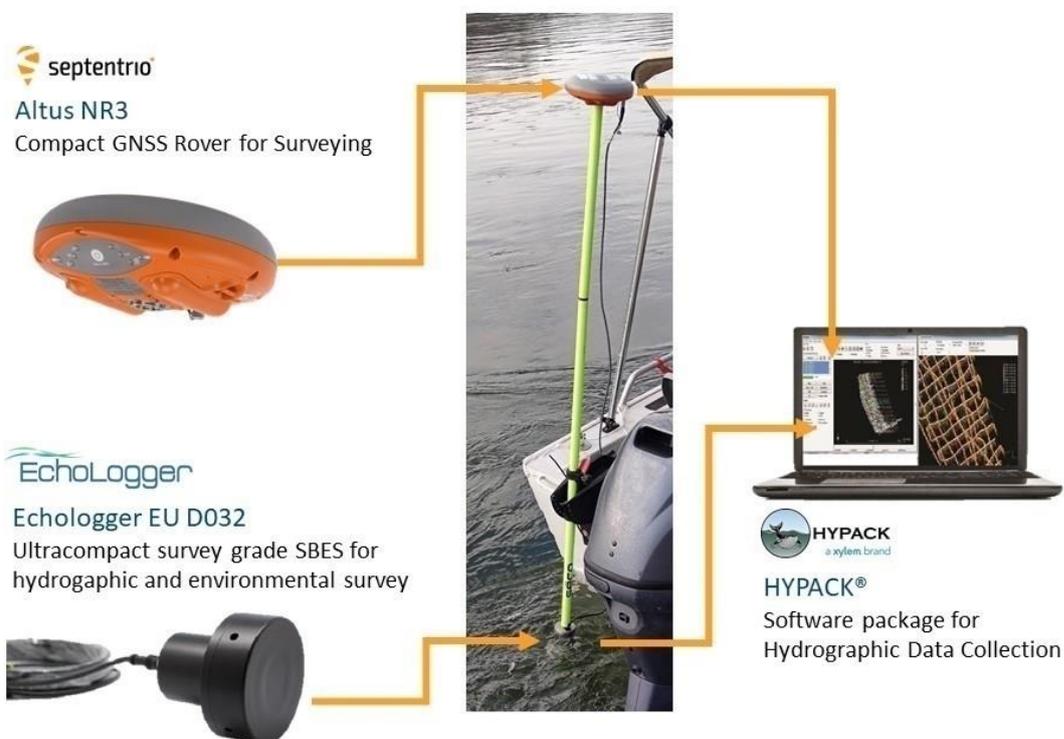
#### 3.1.1 Equipamiento y configuración

El primer sondeo se realizó a bordo de la embarcación “Esguina”, propiedad de Ecohydros y preparada específicamente para sondeos hidrográficos en aguas muy someras (<2 m de profundidad). Es una embarcación neumática de casco rígido de 4,3 m de eslora dotada de un motor fuera borda de 4T y 40 HP. Además, lleva un motor auxiliar de rescate de 5 HP.



*Figura 3. Embarcación “Esguina” preparada para el trabajo batimétrico en las inmediaciones de Xerta.*

El equipamiento de sondeo acústico consta de los siguientes componentes básicos (**Figura 4**), sonda monohaz EchoLogger EU D032 a 200kHz, GPS Septentrio NR3 con correcciones RTK. (Las correcciones RTK se reciben a través de internet desde el servidor local NTRIP del *Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña*, lo que asegura un nivel de precisión centimétrica) y un ordenador portátil para la adquisición de datos.



*Figura 4. Representación de los elementos que configuran el sistema batimétrico utilizado.*

La adquisición y procesado de datos para la obtención de batimetría se ha realizado mediante el software profesional HYPACK basado en Windows® para la industria hidrográfica y de dragado. Este software provee a los Hidrógrafos las herramientas necesarias para diseñar sus levantamientos, coleccionar datos, procesarlos, reducirlos y generar productos finales.



*Figura 5. Ecosonda monohazy sistema GPS una vez montada en la popa de la embarcación*

### 3.1.2 Diseño del muestreo

Para el diseño del muestreo se ha utilizado el software de adquisición de datos HYPACK, con el cual se han ajustado previamente los tracks sobre los cuales se han tomado las mediciones con la ecosonda monohaz. Se han planteado transectos perpendiculares al eje longitudinal del río cada 50 metros y de orilla a orilla.

### 3.1.3 Desarrollo de la campaña

La campaña se realizó entre los días 21 de febrero y de 26 de febrero. El equipo técnico de batimetría estuvo compuesto por los siguientes miembros:

- Un especialista en la configuración y manejo del sistema instrumental físico y lógico de batimetría monohaz.
- Un técnico de apoyo para la instalación del *hardware* o sistema físico de sondeo.
- Un patrón de embarcación experimentado en la navegación fluvial y el sondeo acústico.

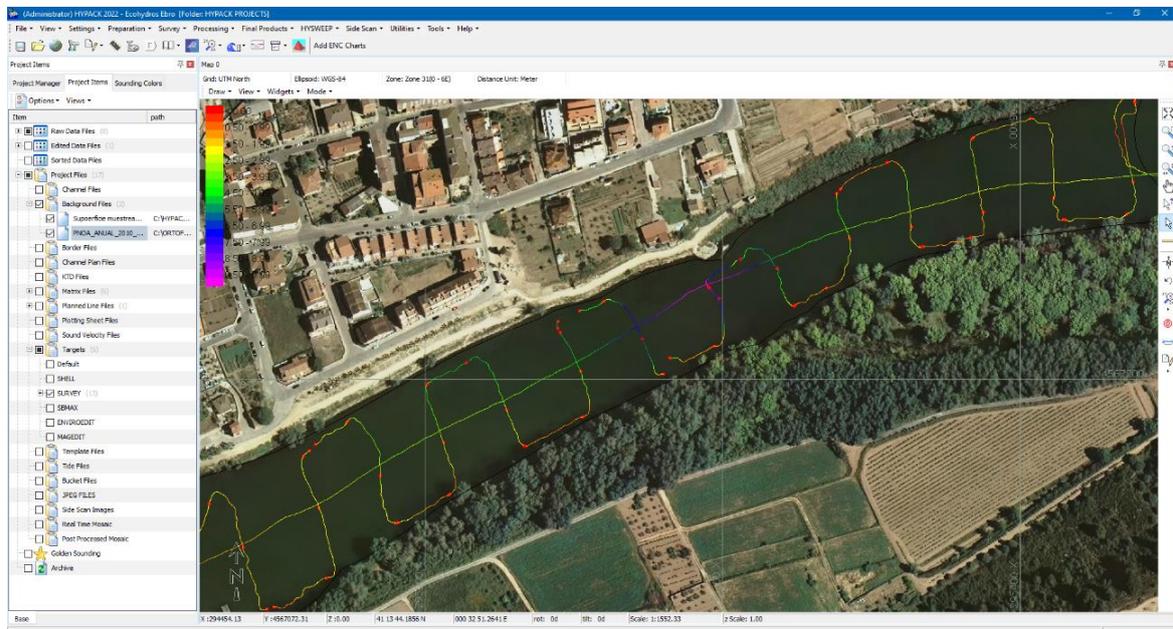
Los días 22 y 23 de marzo se iniciaron los sondeos acústicos comenzando por el tramo aguas arriba de Flix, desde la presa de Flix hasta el azud de la Central Nuclear de Ascó. Los días posteriores se procedió al levantamiento del tramo comprendido entre Xerta y Tortosa.



*Figura 6. Control de la navegación durante el sondeo acústico*

### 3.1.4 Transectos

Se han realizado transectos perpendiculares al eje longitudinal del río. Desde una orilla a otra, con una distancia entre transectos de 50. Los transectos se han realizado siempre desde aguas abajo a aguas arriba alternando el sentido del transecto según se avanza de la margen derecha a margen izquierda.



*Figura 7. Visualización de los transectos realizados en el software de adquisición de datos HYPACK.*

El planteamiento de los transectos se ha realizado mediante el software de adquisición de datos HYPACK.

## 3.2 Procesado de los datos

Para el procesado de los datos se ha empleado el software *HYPACK Echo*, que permite el filtrado de datos y correcciones tanto de errores de detección de fondo como de errores de navegación.

Posteriormente se ha realizado una interpolación TIN con tamaño de píxel 0,5 m y se ha procedido a la integración con los datos LiDAR del PNOA de la segunda cobertura del año 2016. A fin de garantizar la integración de los datos LiDAR con los Datos TIN obtenidos de los trabajos batimétricos se ha empleado el software *AutoClean* de *Beamworx*.

### Filtrado y corrección de los datos adquiridos.

Se han procesado los datos mediante el software HYPACK. Se han revisado y corregido todos los transectos realizados ajustando la cota de cada punto al fondo registrado en el ecograma Figura 8.

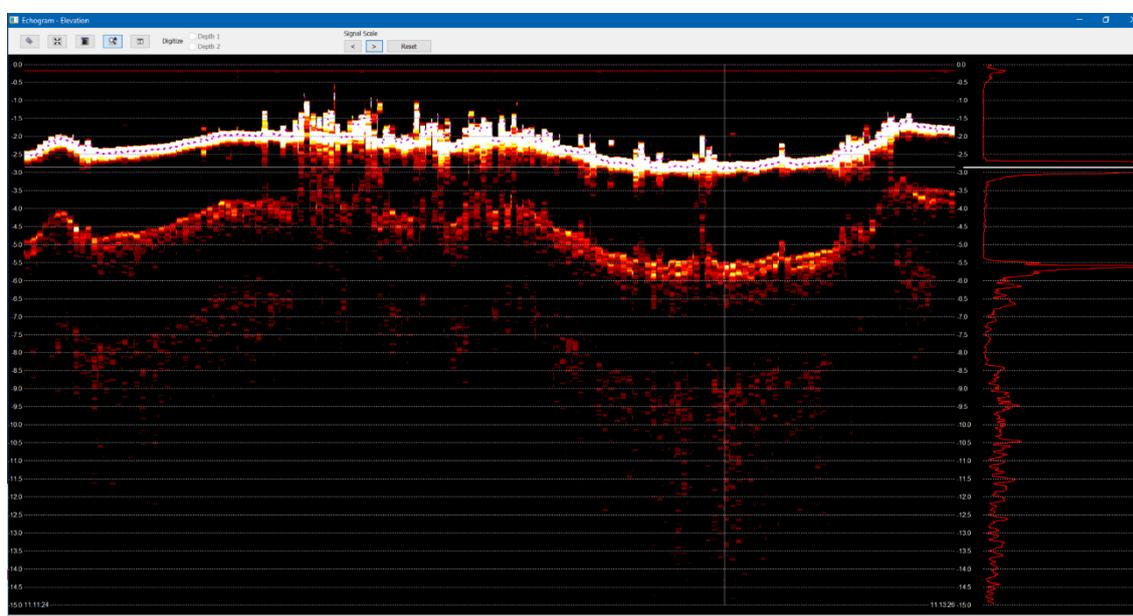


Figura 8. Ecograma de uno de los transectos en el software de edición de HYPACK.

Para la corrección de las cotas en los puntos en los cuales se ha perdido precisión debido a la pérdida de señal GPS o de cobertura RTK, se ha ajustado la cota del fondo en función de la altura de la lámina de agua.

### Control de altura de la lámina de agua

Dado que el nivel del agua varía, se ha registrado la altura y variaciones de la lámina de agua durante los trabajos.

Además, mediante el software hidrográfico HYPACK Lite se registra de modo continuo y con precisión centimétrica la posición de la antena GPS RTK situada en la parte superior del mástil. Al haber medido los offsets y ser la distancia Base Antena GPS – Lámina de agua un dato medido y registrado como un offset de entrada, se ha aplicado el proceso denominado RTK Tide, mediante el cual la variación de altura de la lámina de agua es calculada y corregida.

Para ello se ha utilizado el módulo de Tide correction de HYPACK (Figura 9. Perfil de uno de los transectos en el módulo Tide editor de Figura 9). En todo caso, únicamente se han tenido que ajustar dos secciones en las que se perdió cobertura RTK.

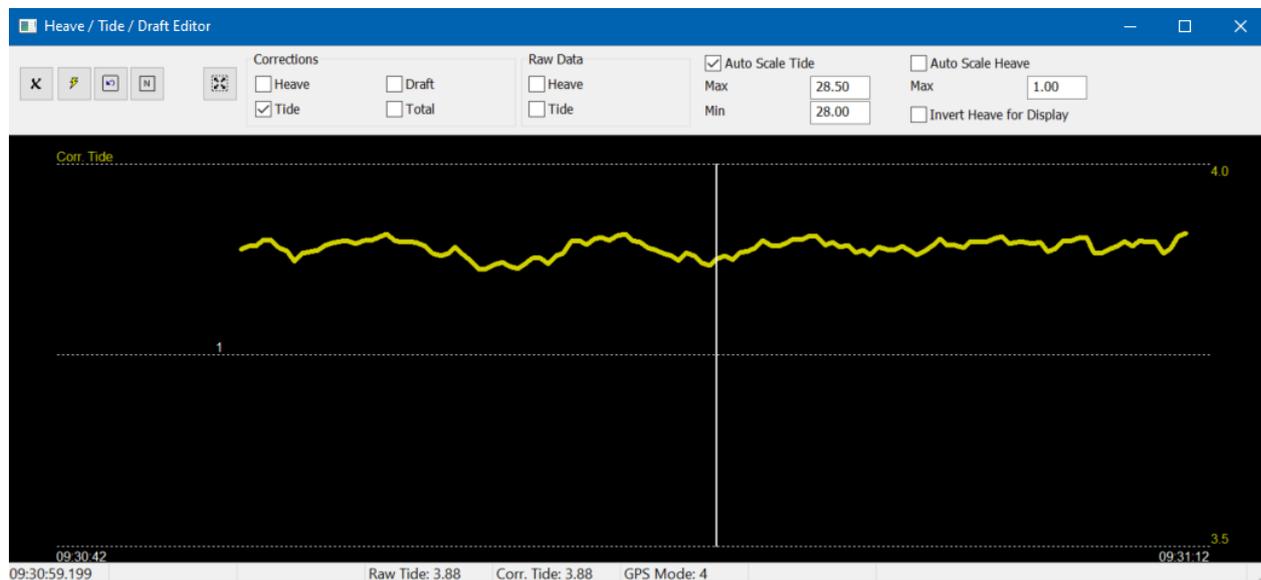


Figura 9. Perfil de uno de los transectos en el módulo Tide editor de HYPACK

Con las correcciones aplicadas se han obtenido los perfiles de cada uno de los transectos (Figura 10).

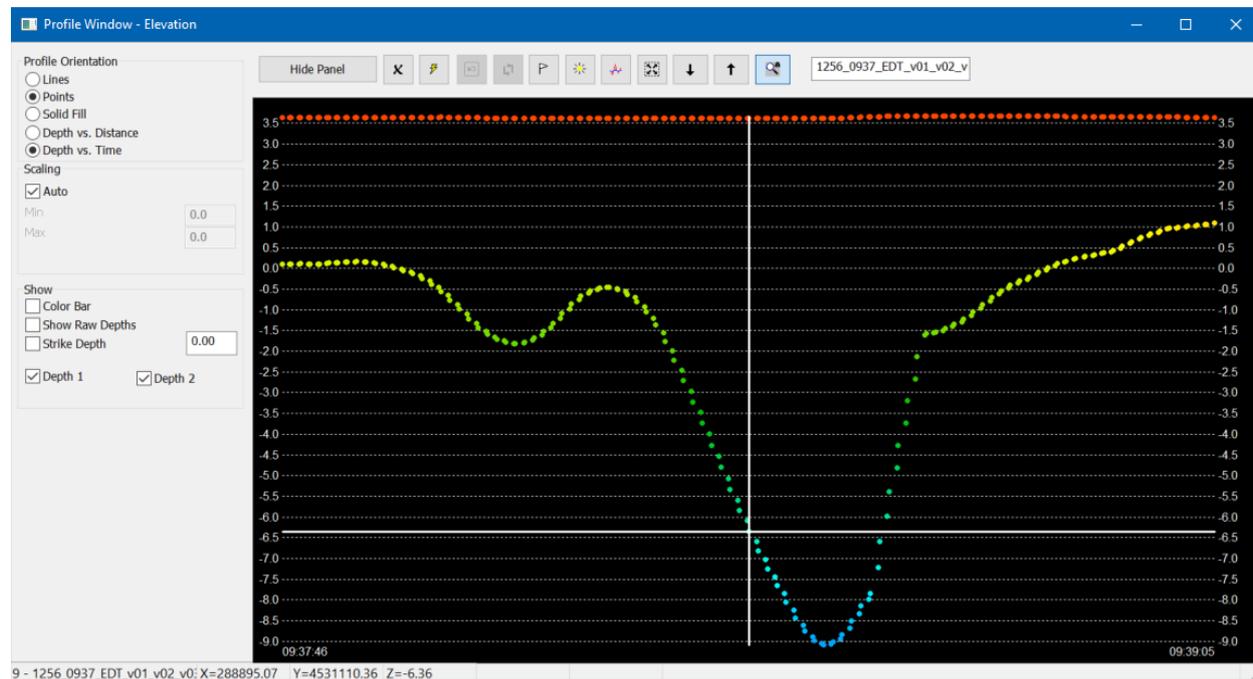
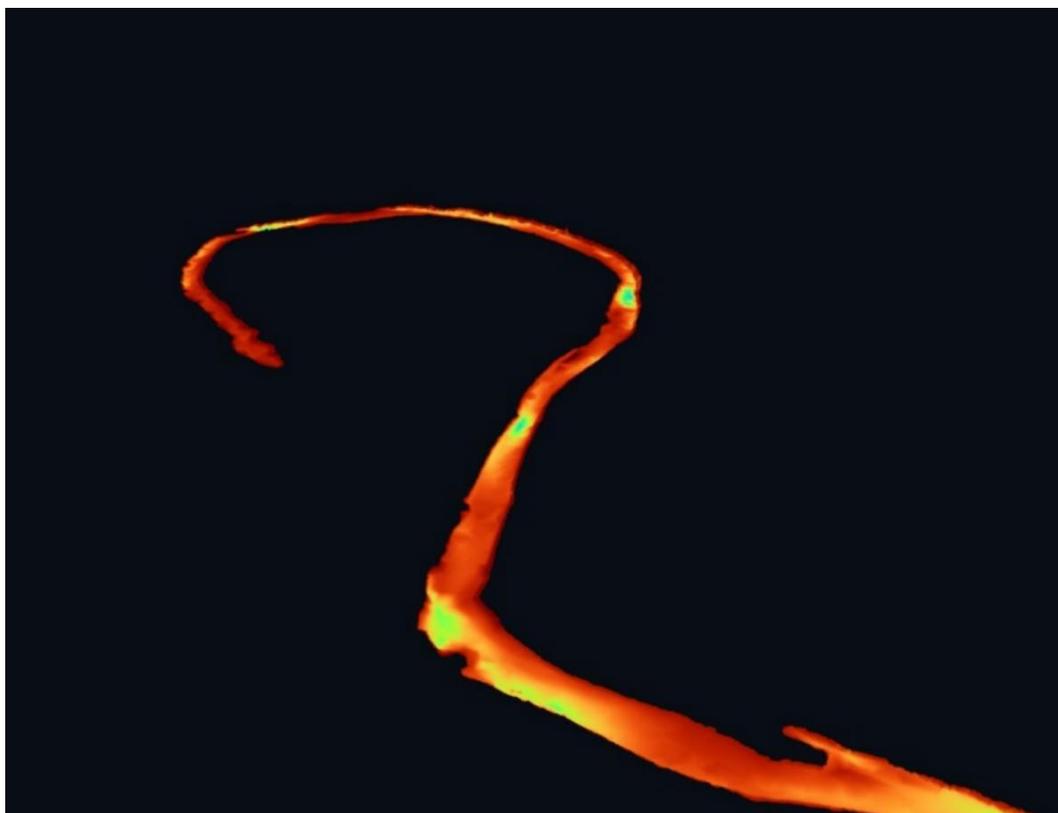


Figura 10. Perfil de uno de los transectos procesados con HYPACK.

### 3.2.1 Integración de los datos con LiDAR PNOA

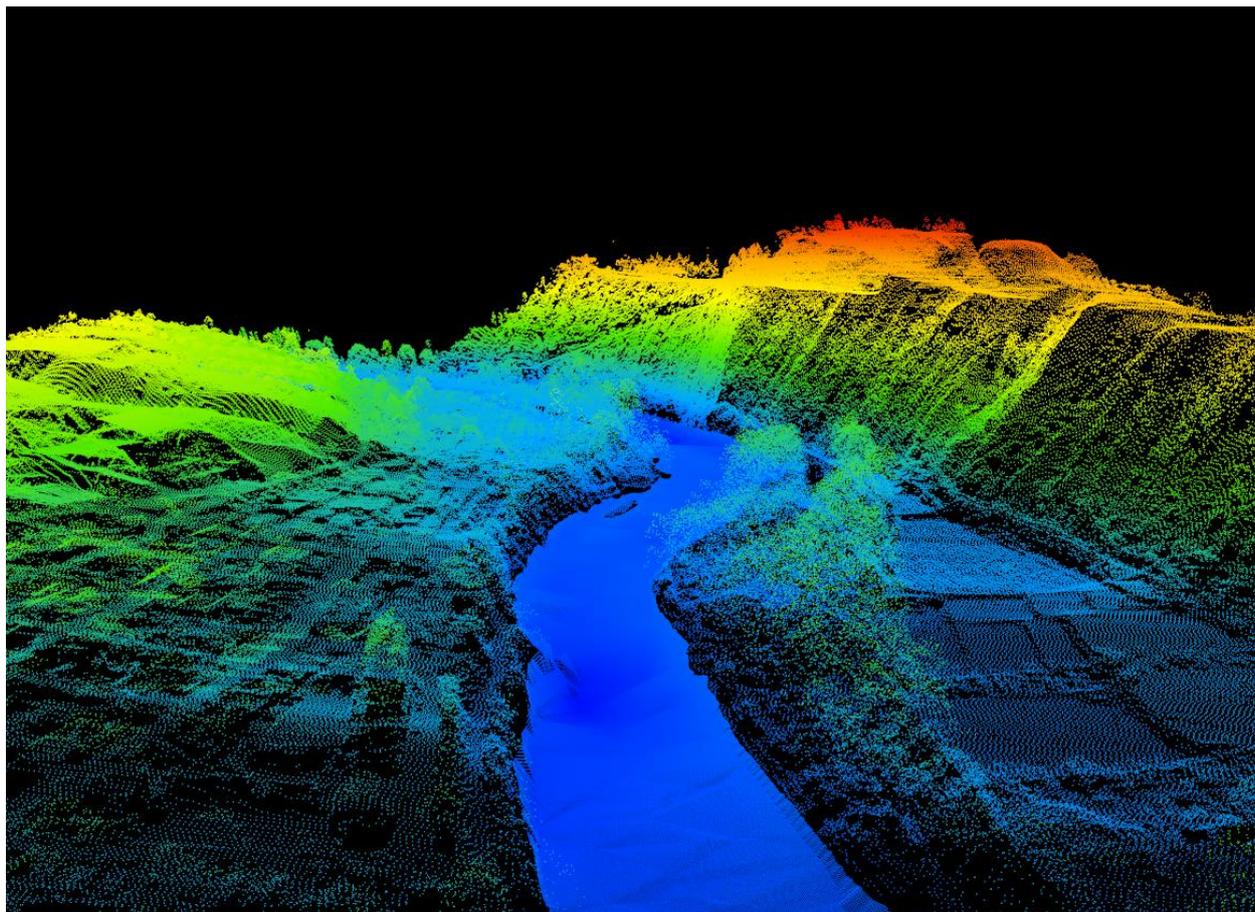
Una vez corregidos los datos de altura, navegación y lecho, se ha procedido interpolar mediante interpolado TIN para obtener valores de lecho entre los transectos y así generar un modelo batimétrico de cobertura completa (Figura 11).



*Figura 11. Ejemplo de imagen 3D de los datos batimétricos registrados en Flix, tras la interpolación TIN con HYPACK.*

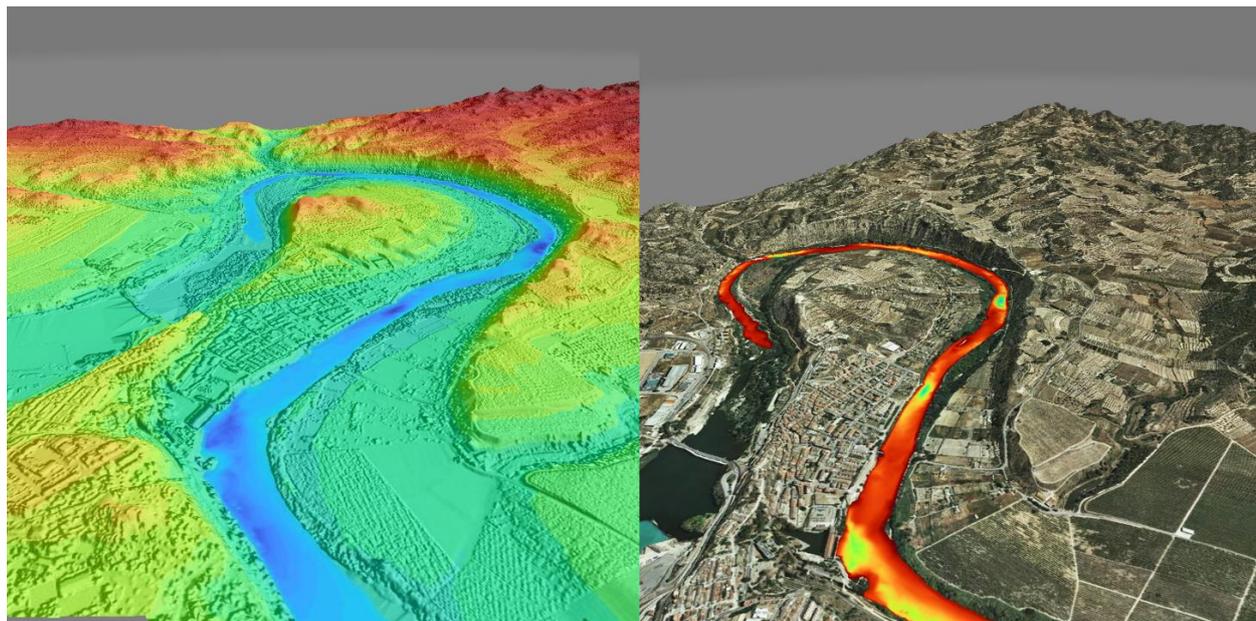
## 4 RESULTADOS

Una vez generado el TIN se ha procedido a elaborar un modelo topo-batimétrico digital apoyándose en el LiDAR del PNOA 2ª Cobertura (año 2016). Para ello se ha utilizado el *software AutoClean*, con el que se han integrado los datos del PNOA con el TIN resultante de los datos de la sonda monohaz procesados en HYPACK (Figura 12).



*Figura 12. Integración de los datos del PNOA 2ª cobertura en un tramo en el entorno de Flix*

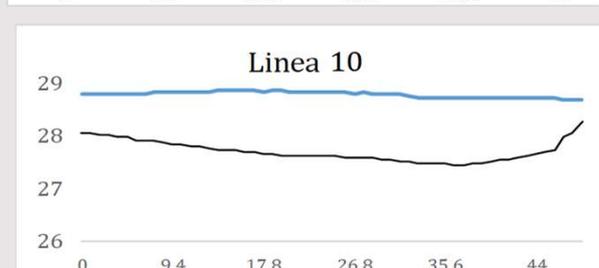
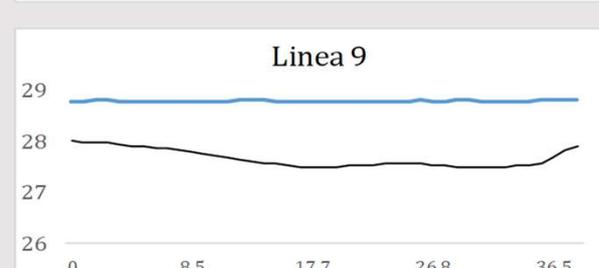
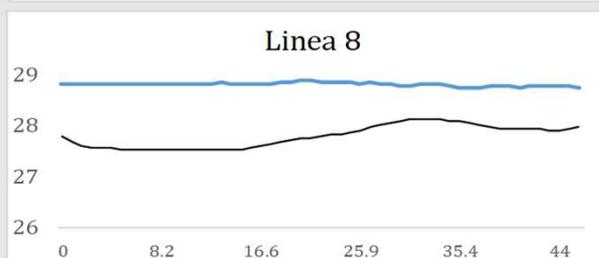
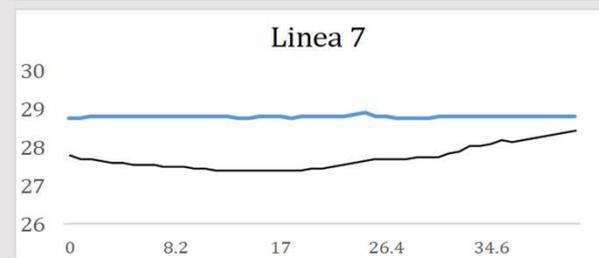
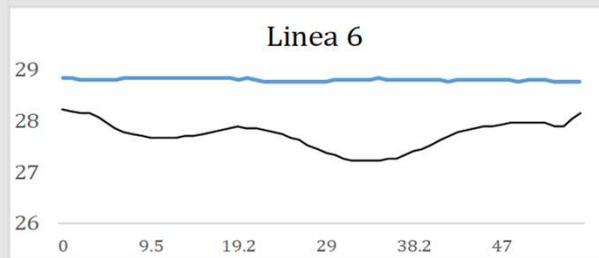
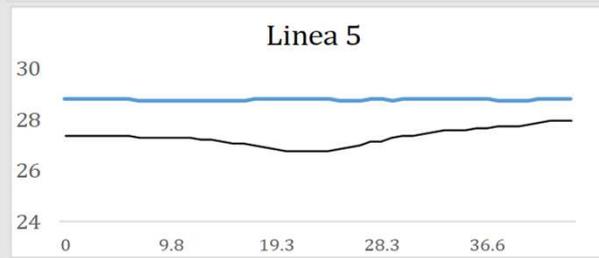
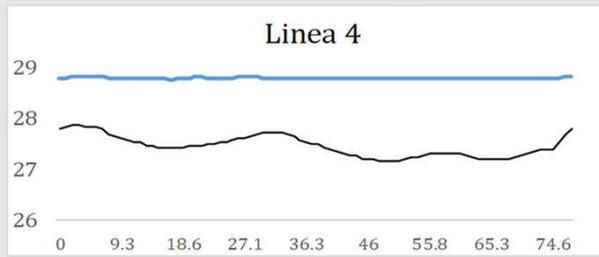
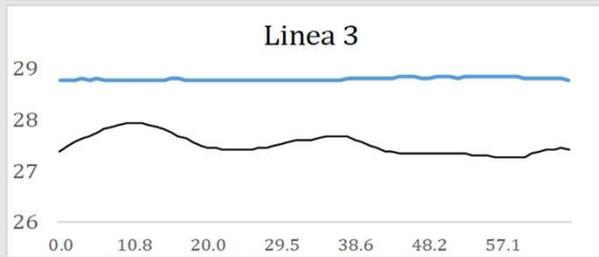
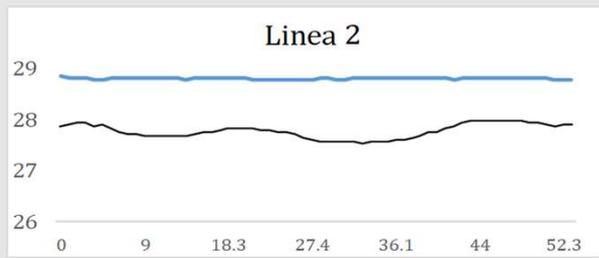
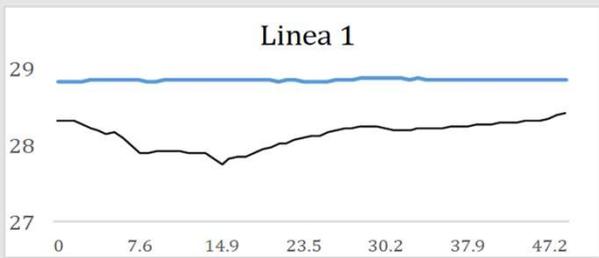
En la siguiente figura (Figura 13) se presenta un ejemplo de una de las zonas en las que se ha aplicado esta metodología (río Ebro a su paso por la localidad de Flix), y que ofrece una idea de la calidad del producto final. El tamaño de celda en el ráster es de 50 cm y la resolución vertical es centimétrica.

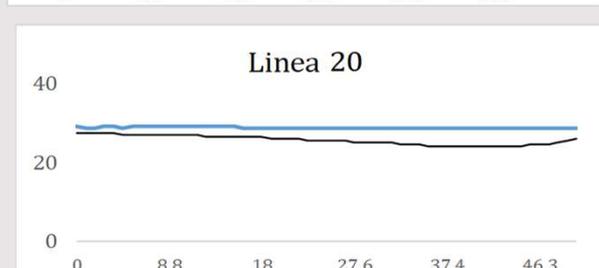
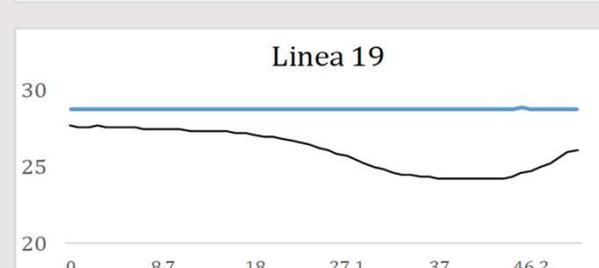
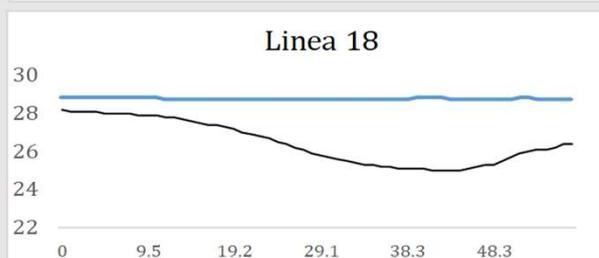
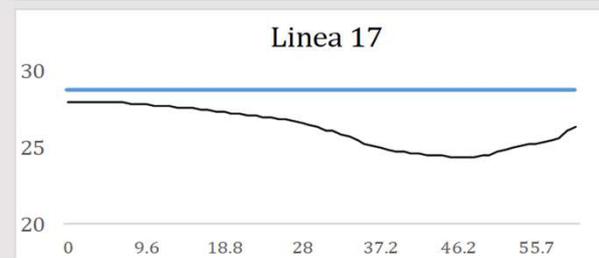
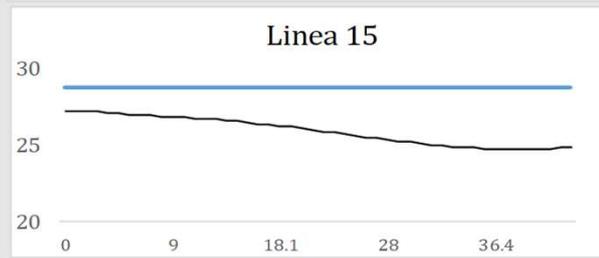
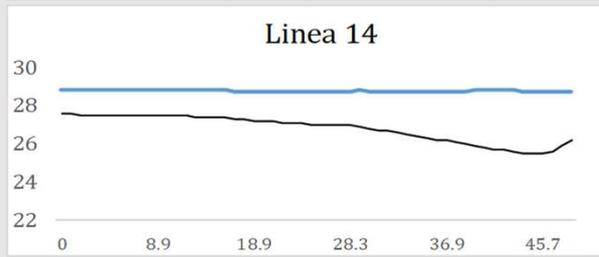
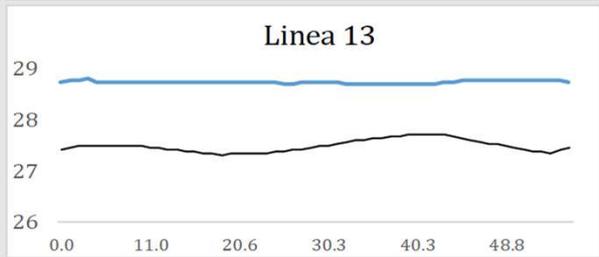
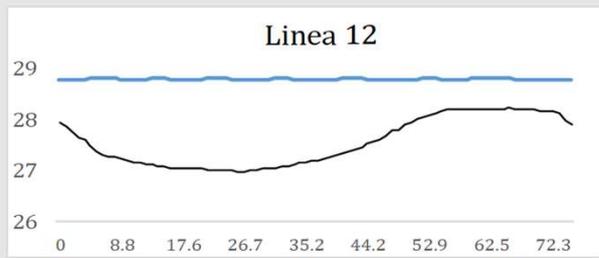
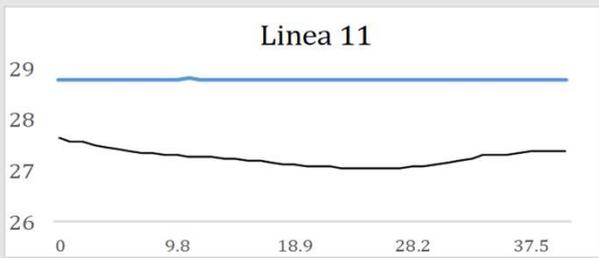


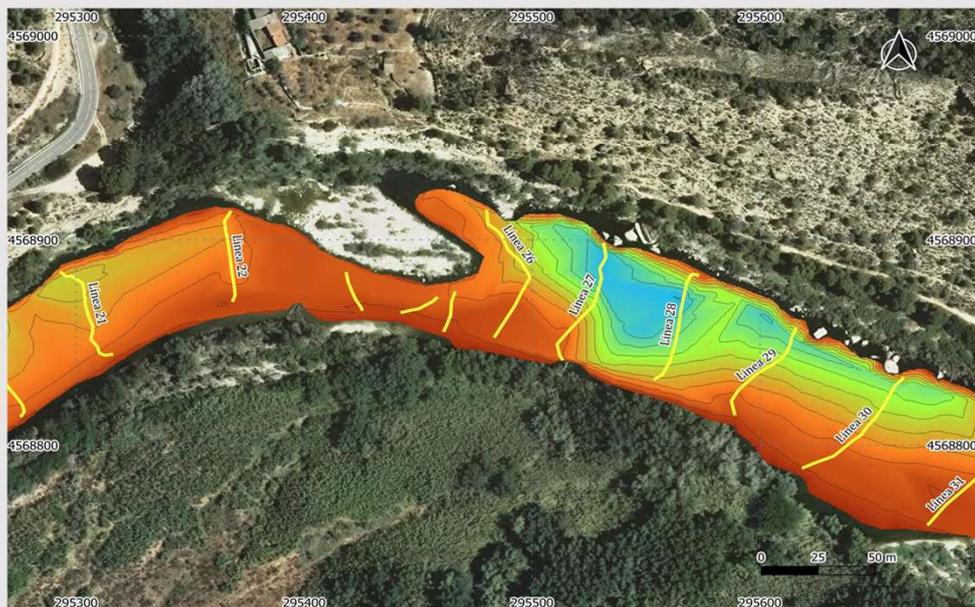
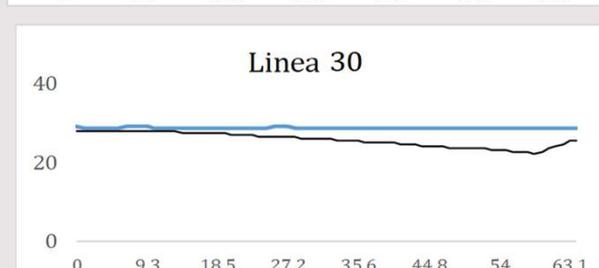
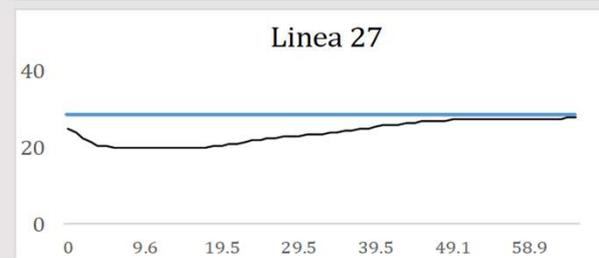
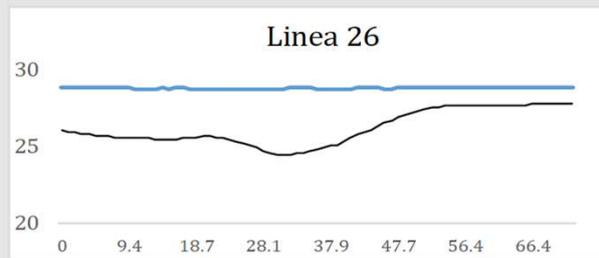
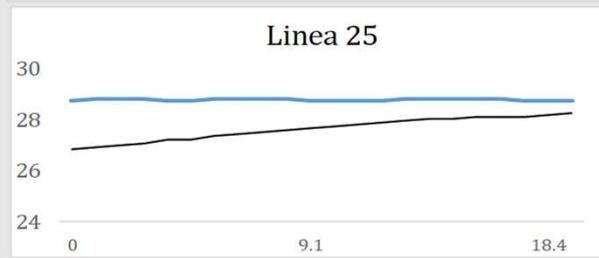
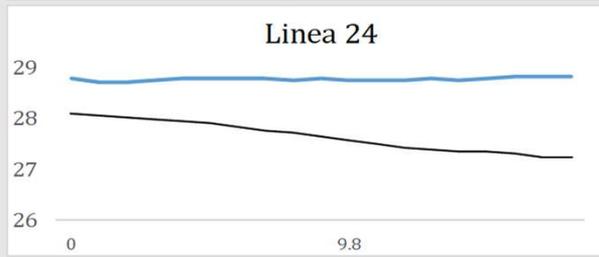
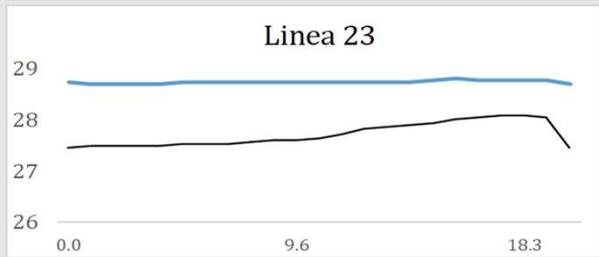
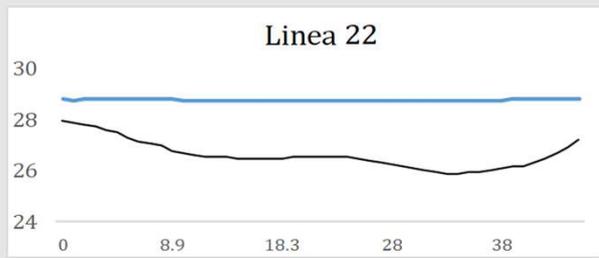
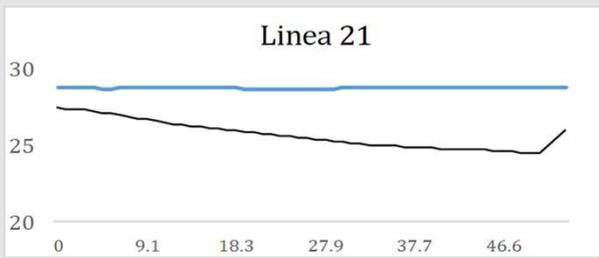
*Figura 13. MDT del tramo aguas arriba de la localidad de Flix*

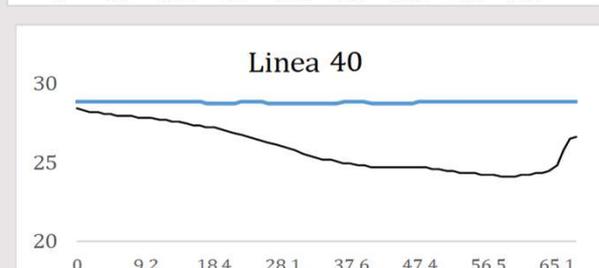
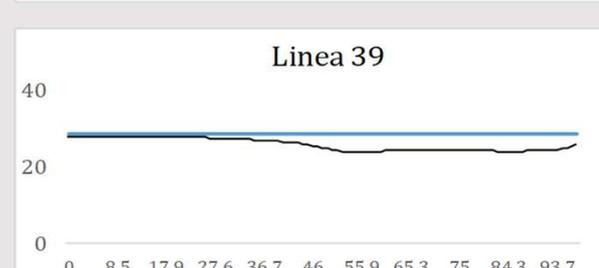
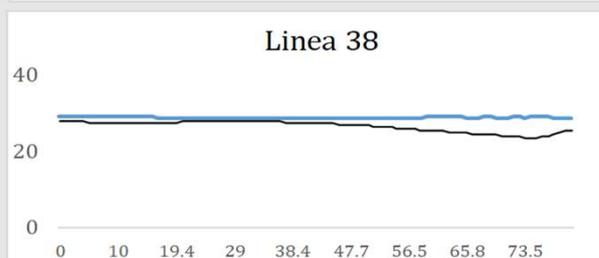
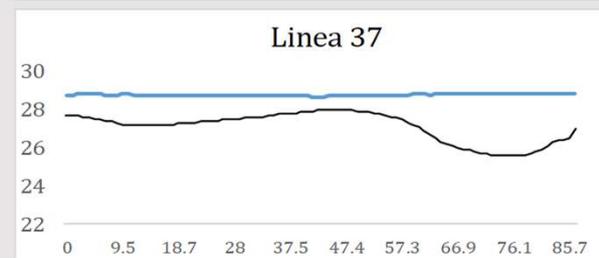
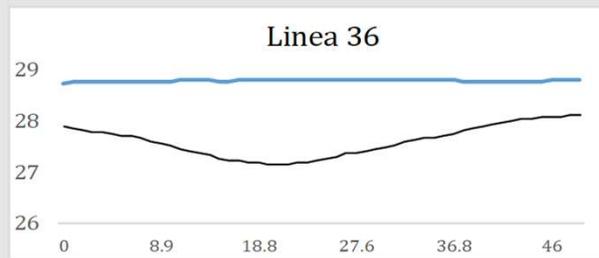
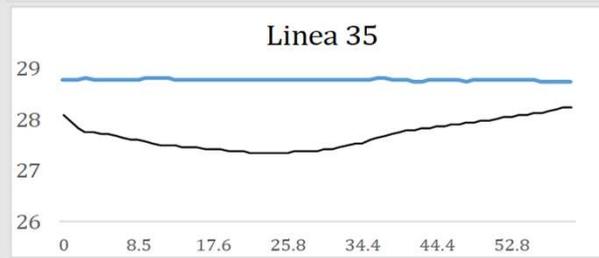
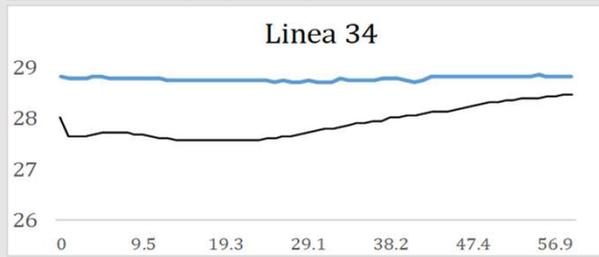
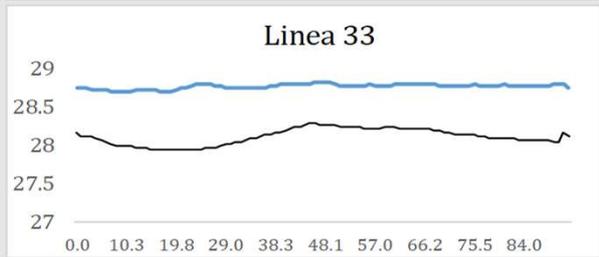
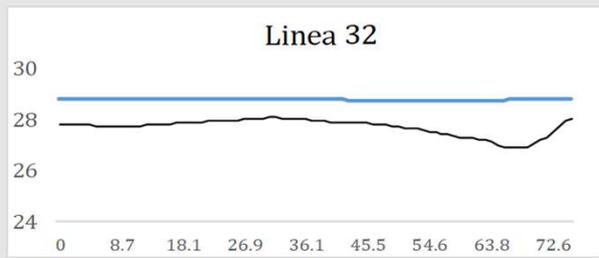
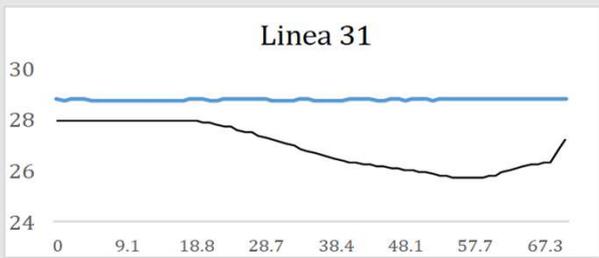
# APÉNDICES

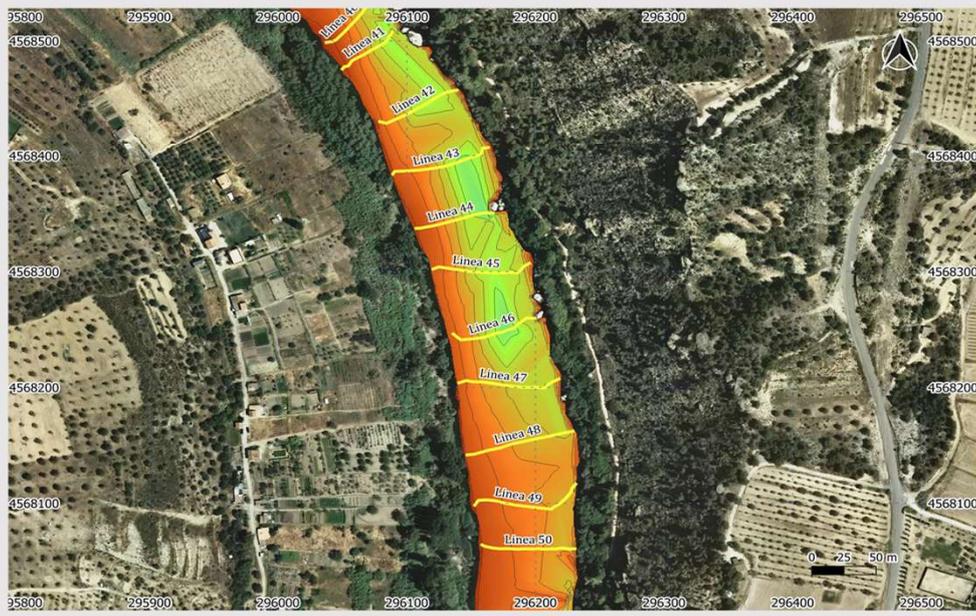
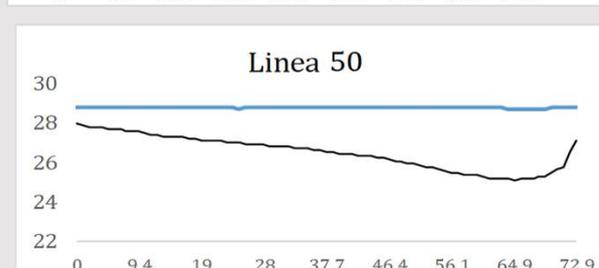
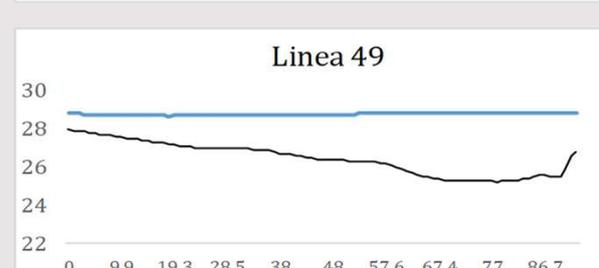
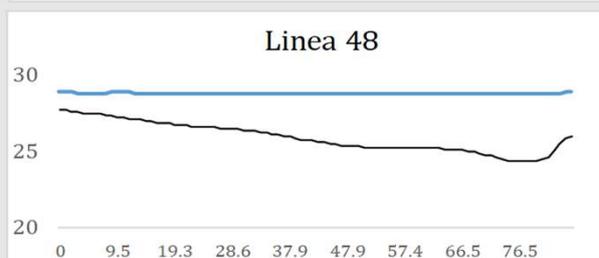
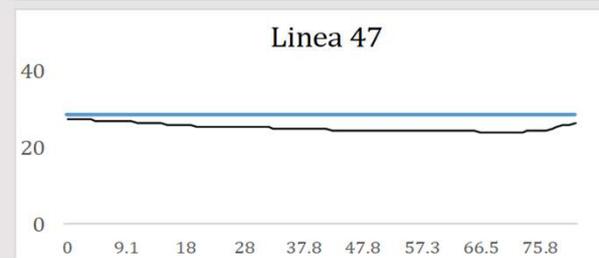
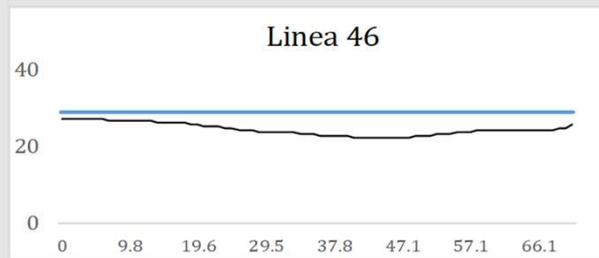
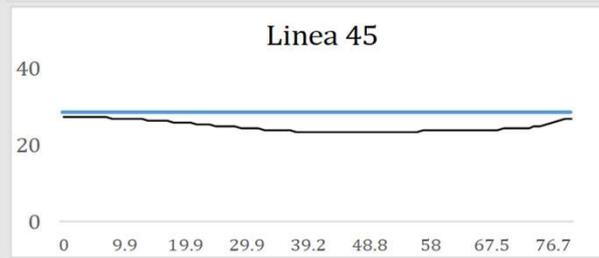
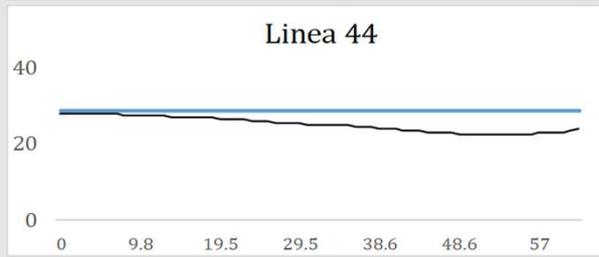
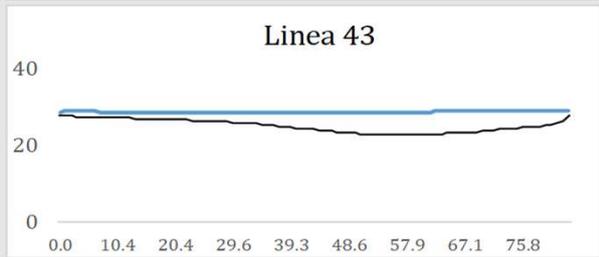
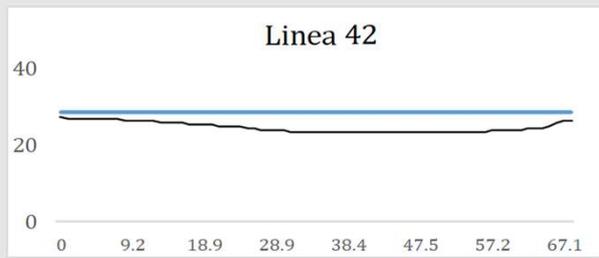
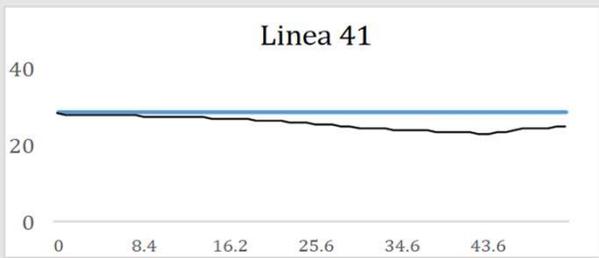
# APÉNDICE I: PERFILES TRANSVERSALES FLIX-AZUD DE ASCÓ

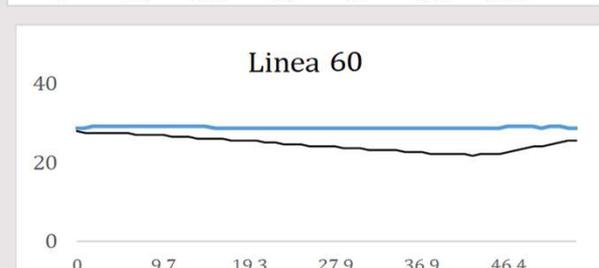
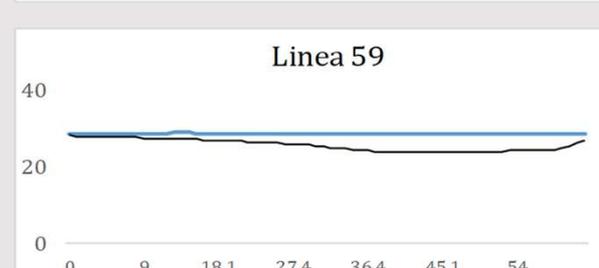
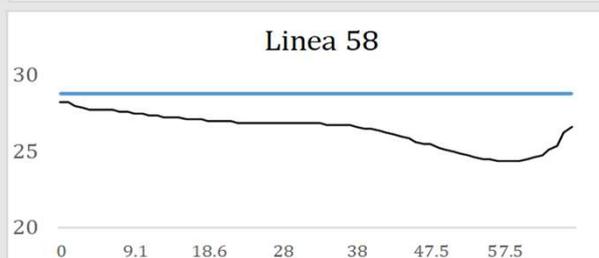
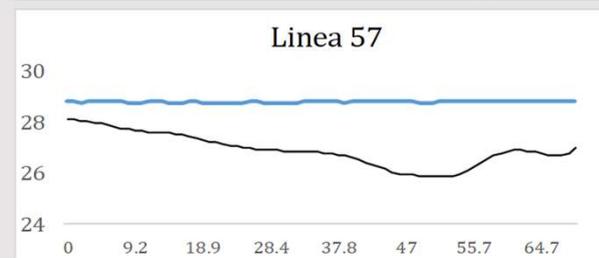
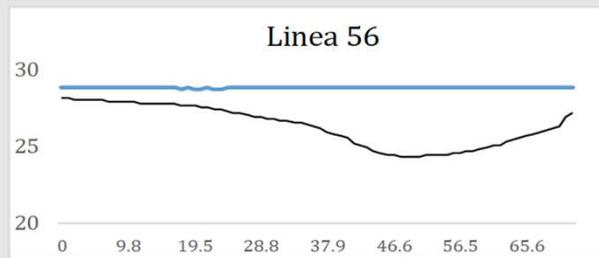
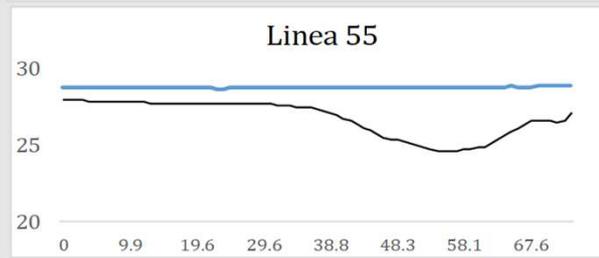
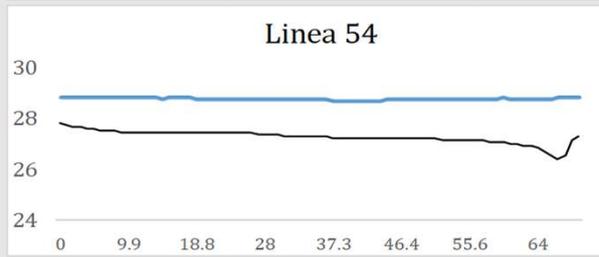
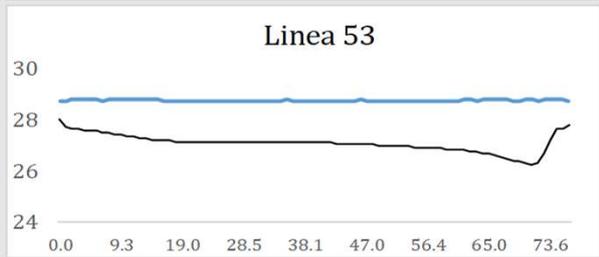
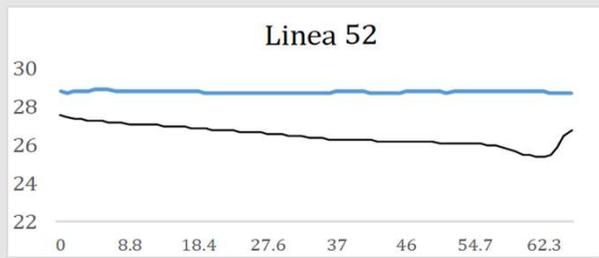
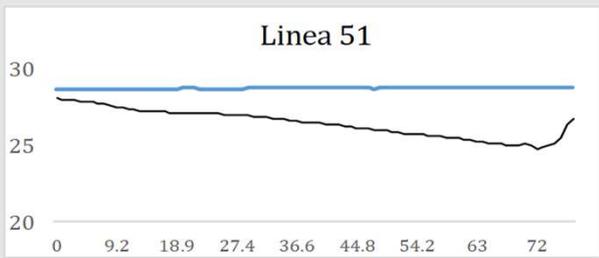


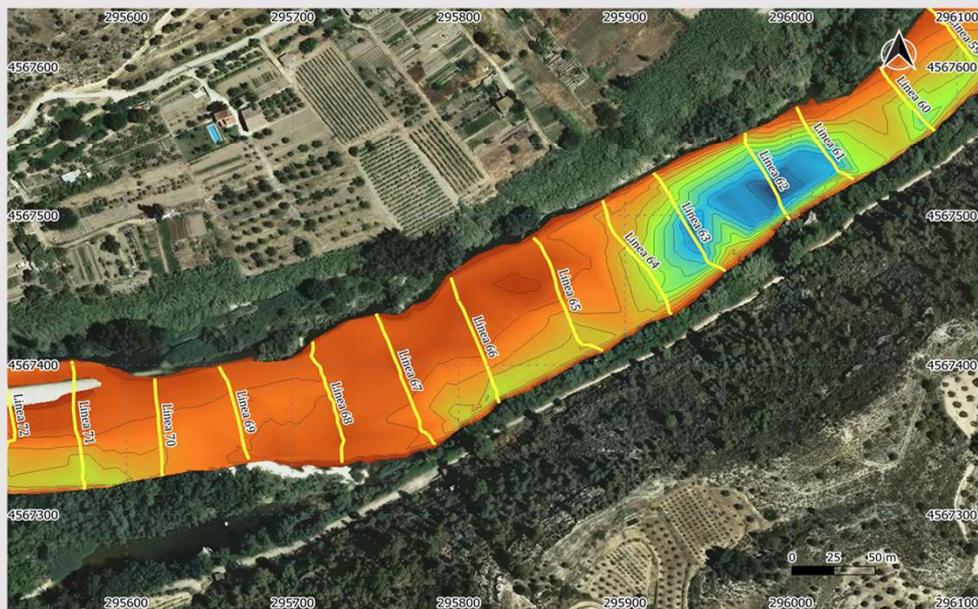
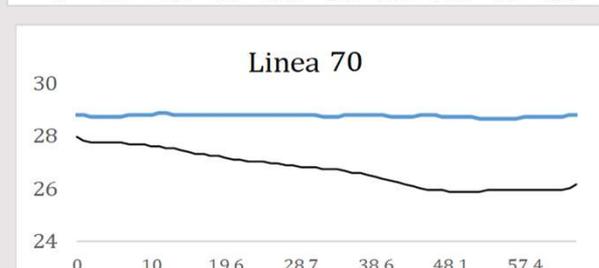
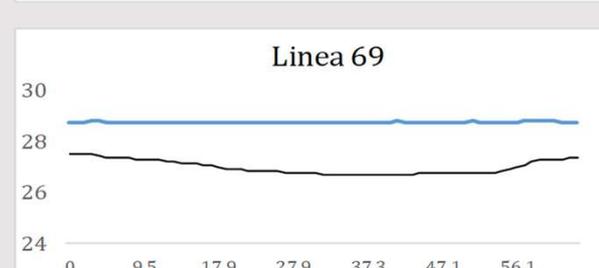
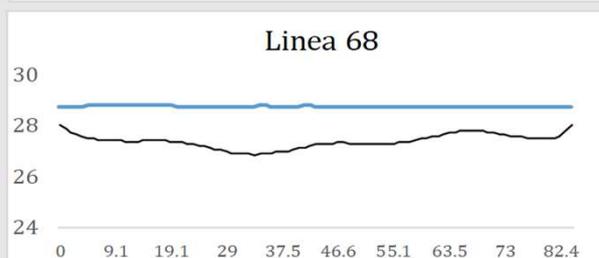
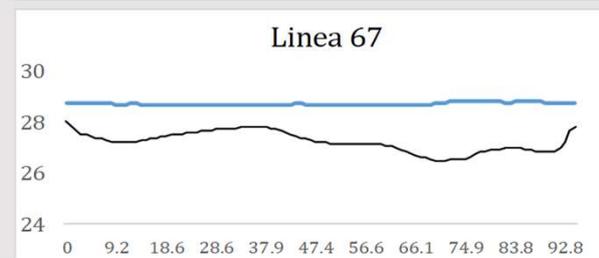
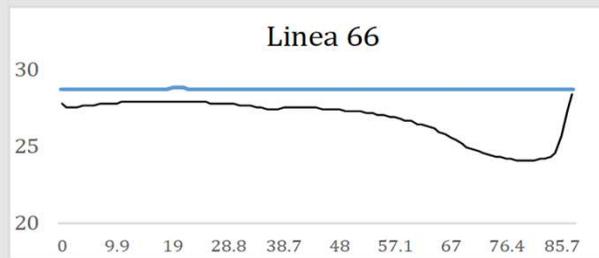
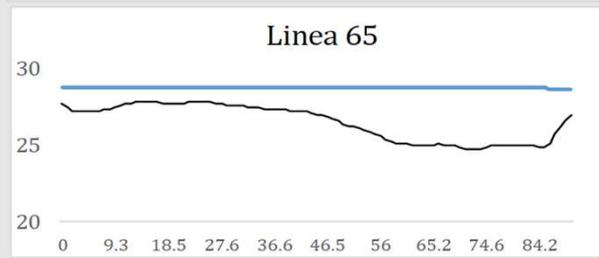
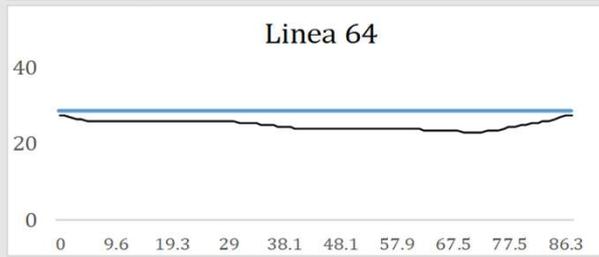
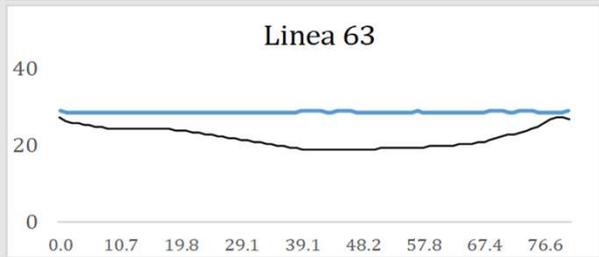
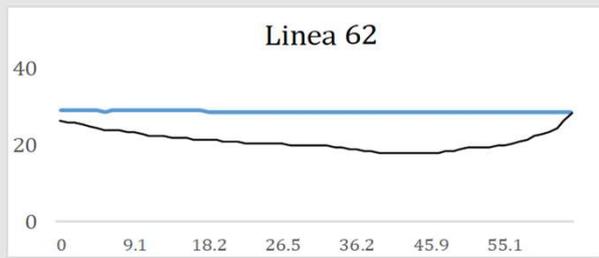
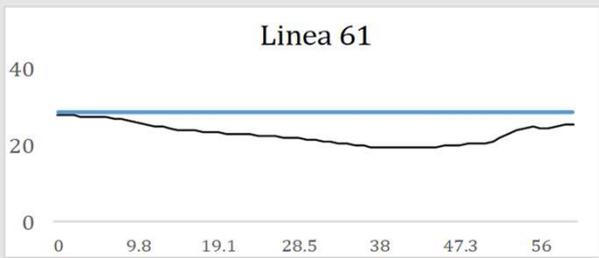


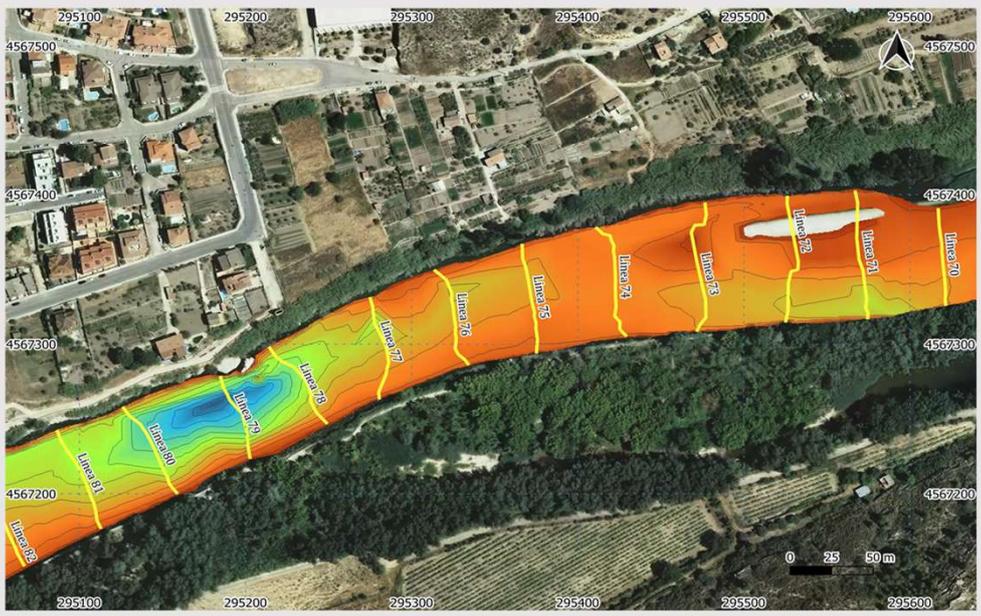
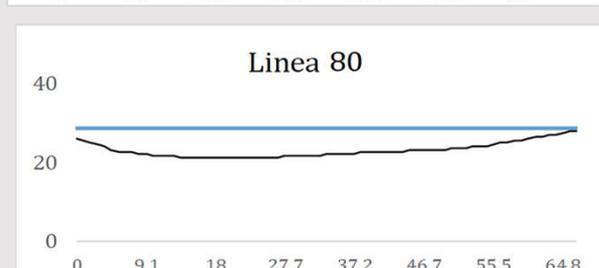
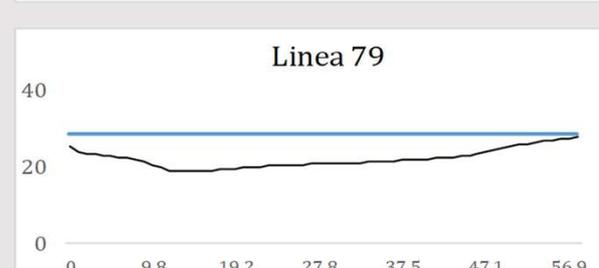
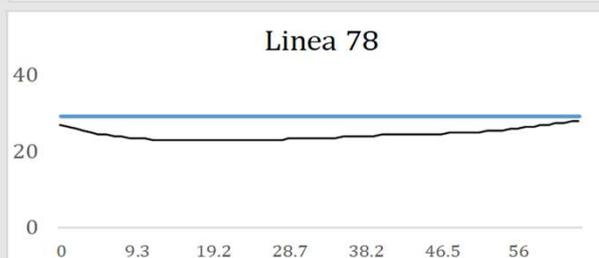
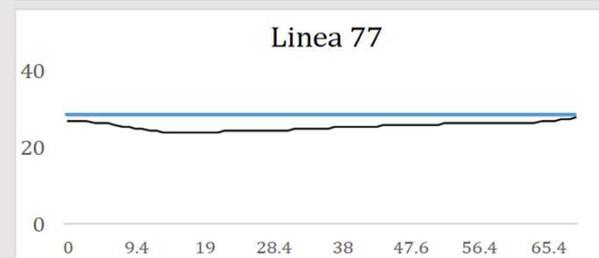
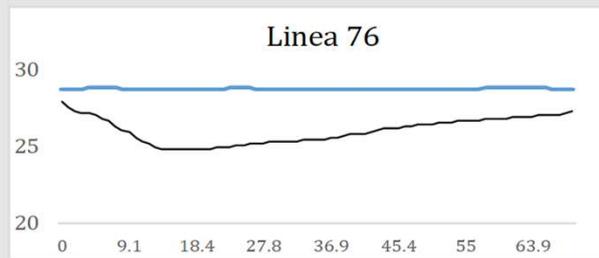
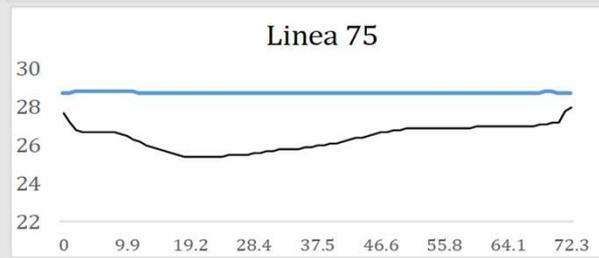
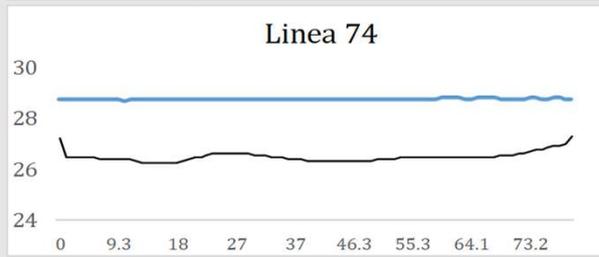
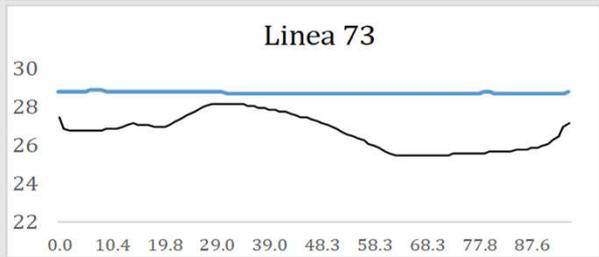
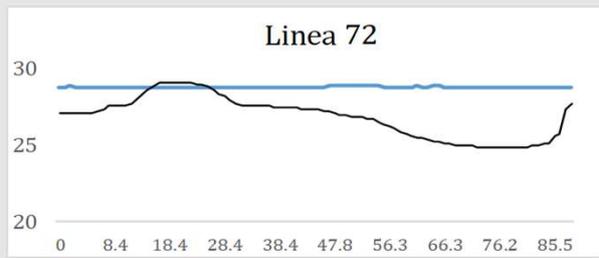
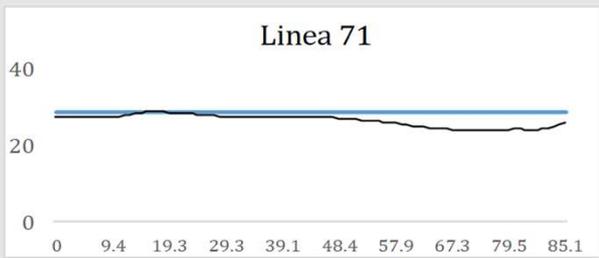


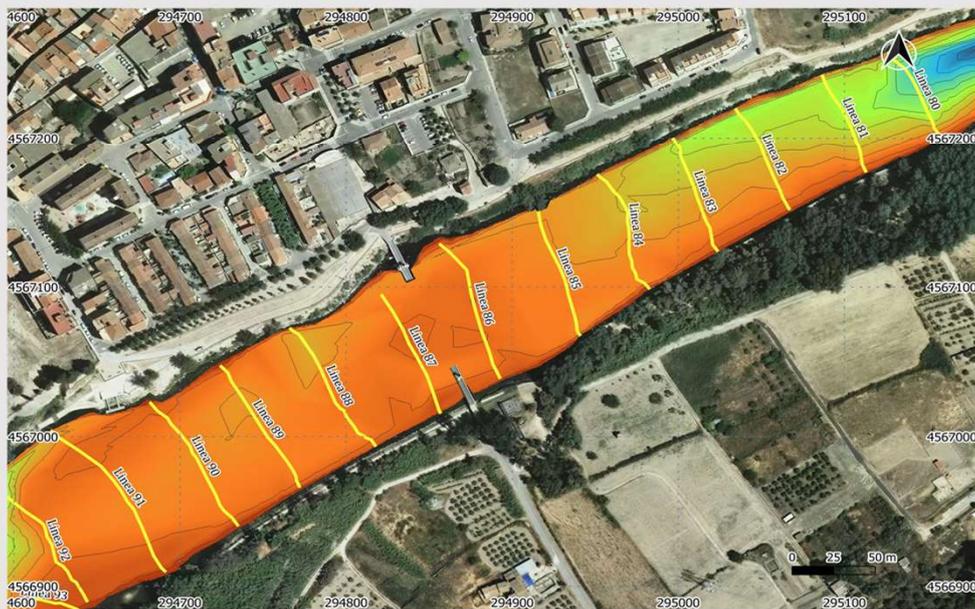
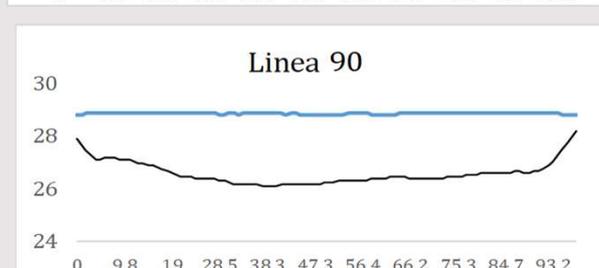
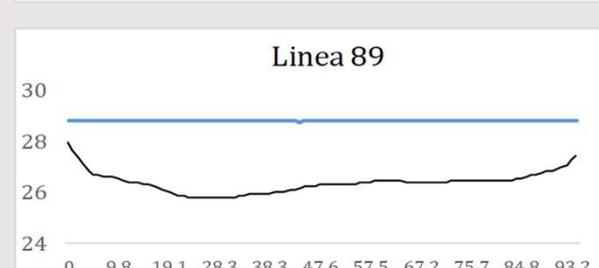
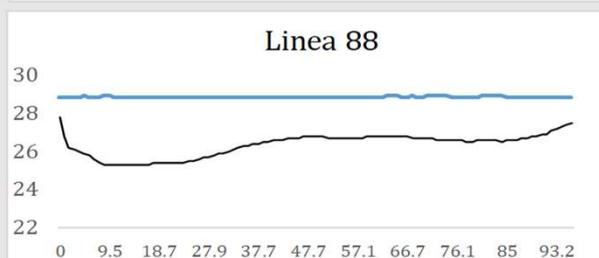
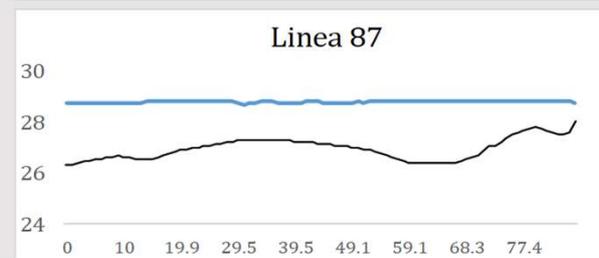
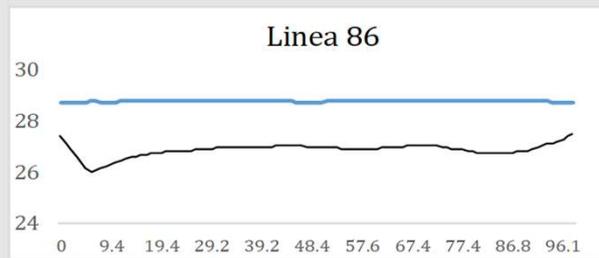
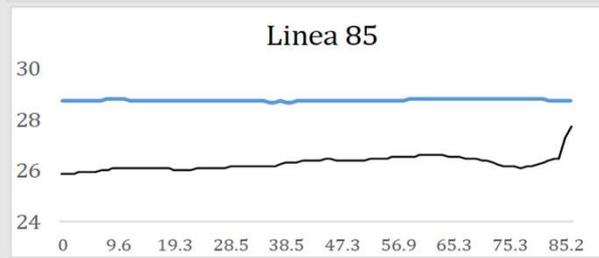
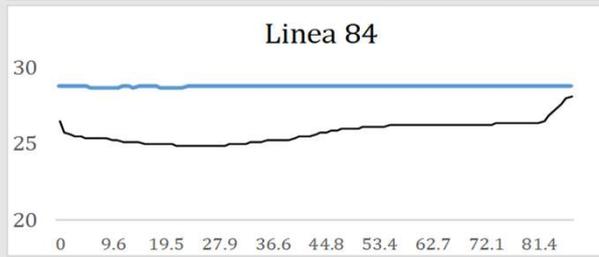
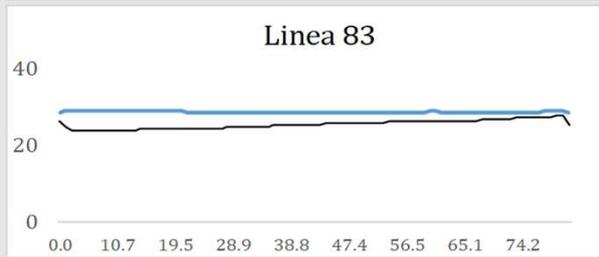
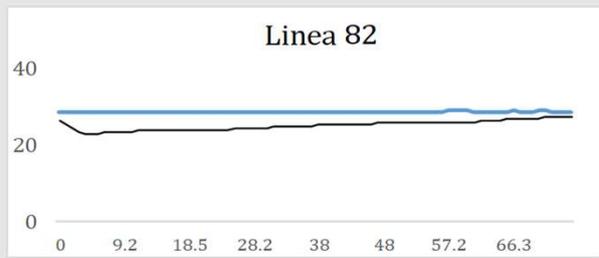
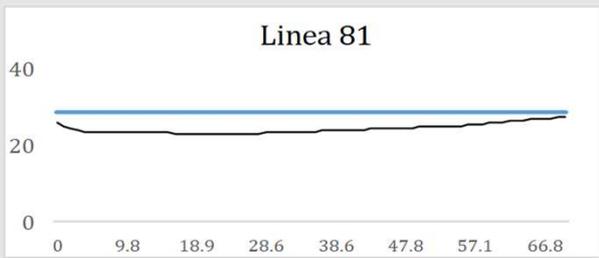


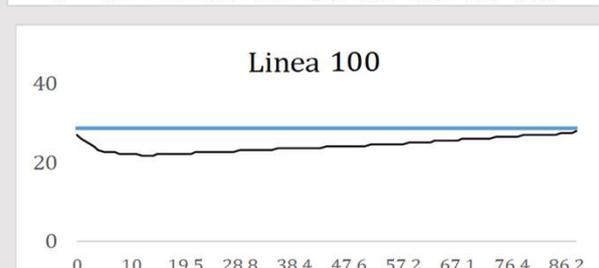
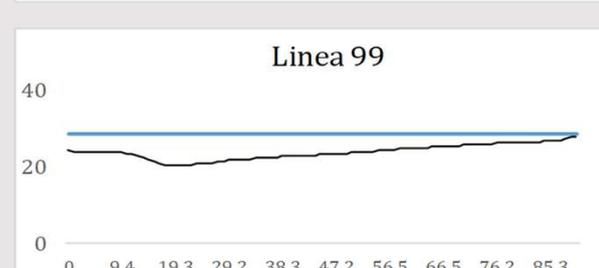
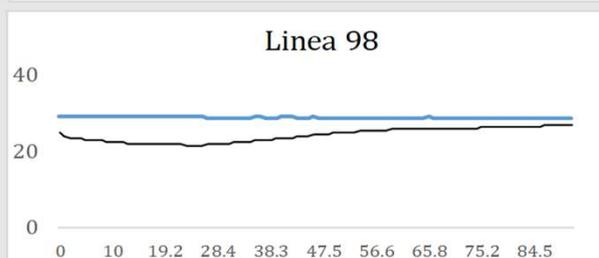
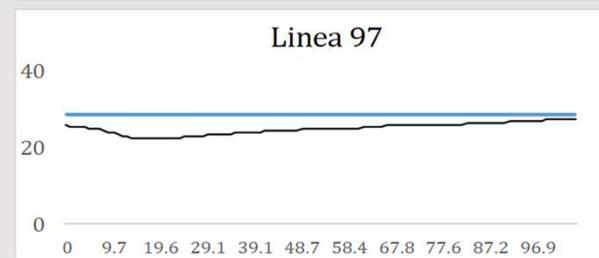
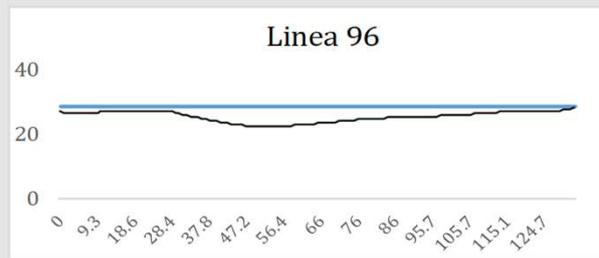
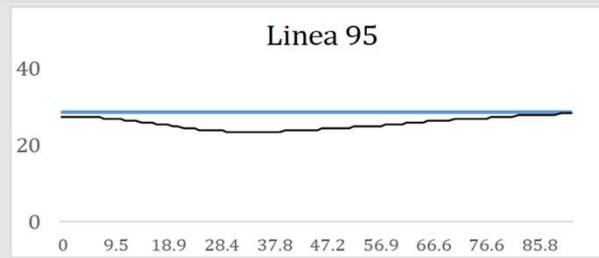
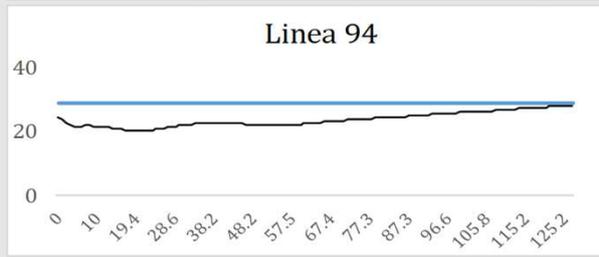
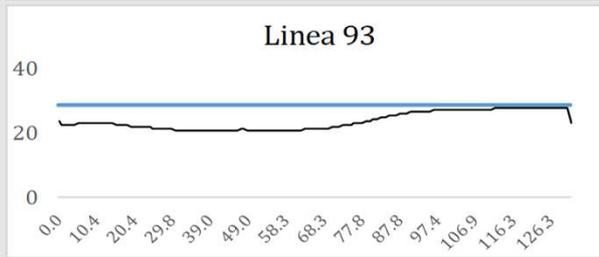
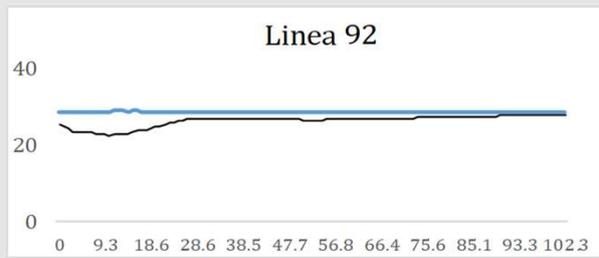
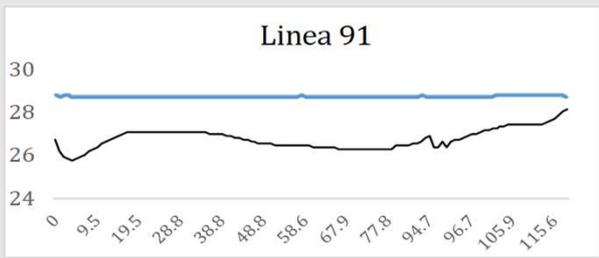


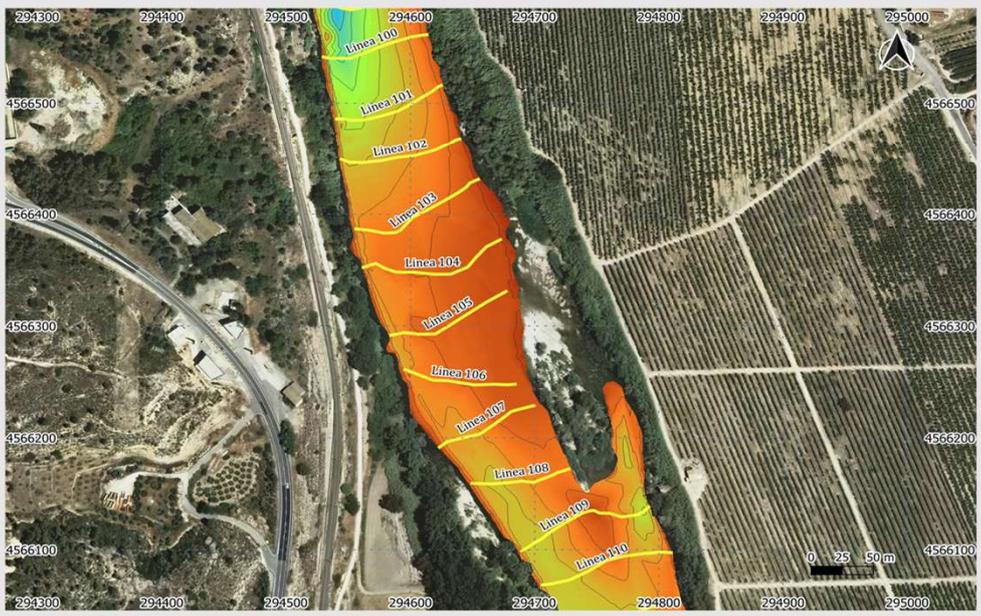
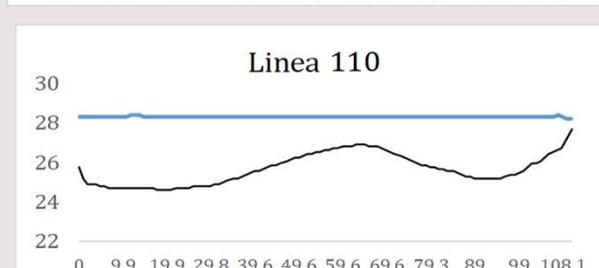
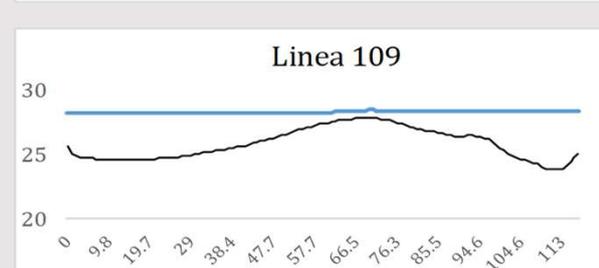
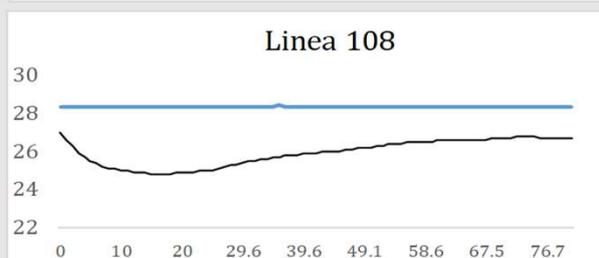
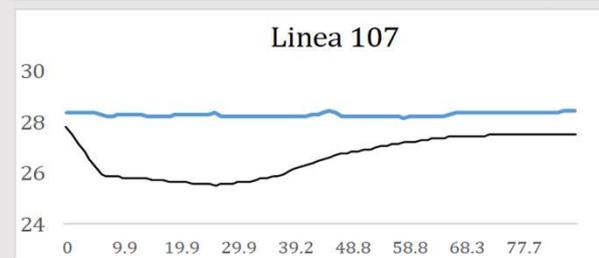
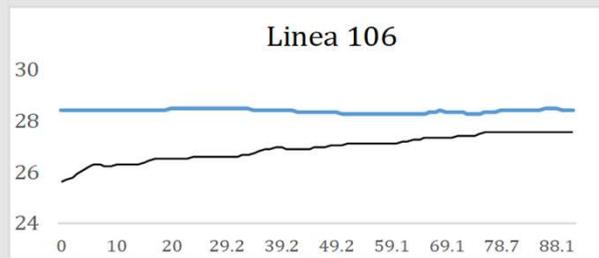
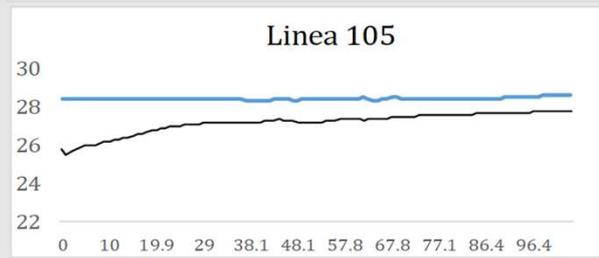
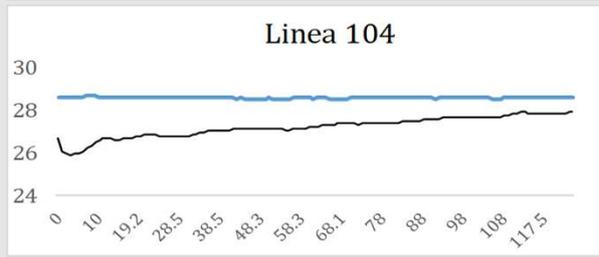
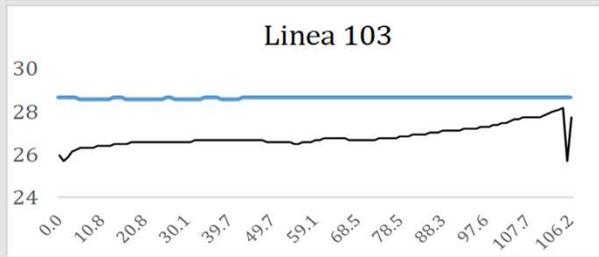
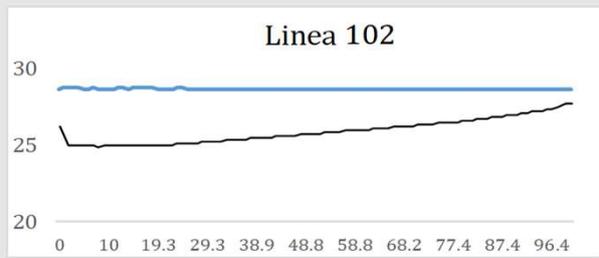
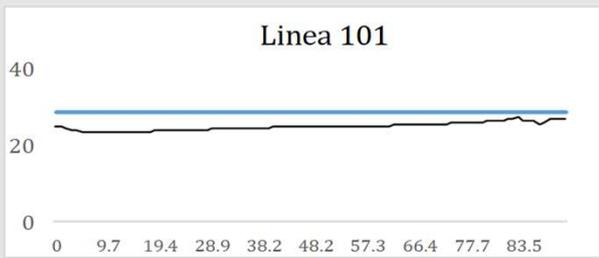


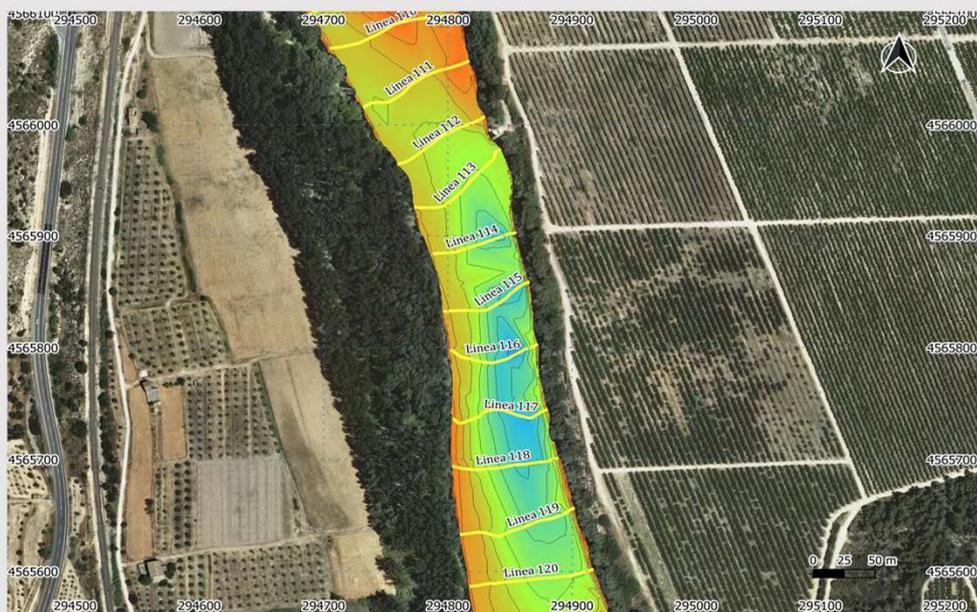
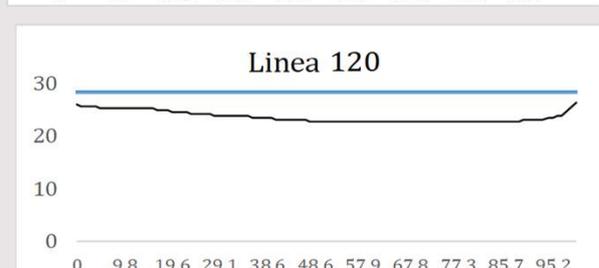
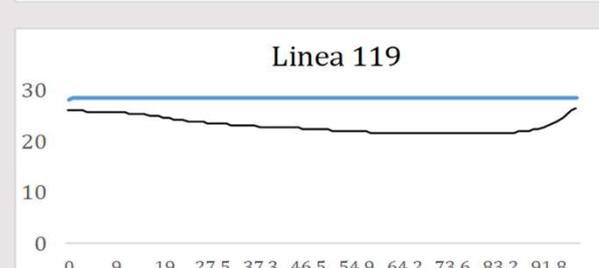
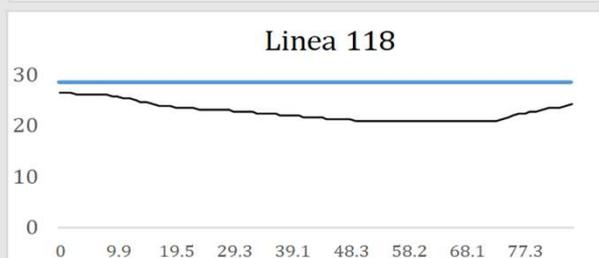
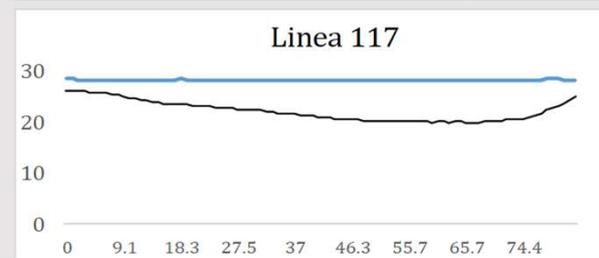
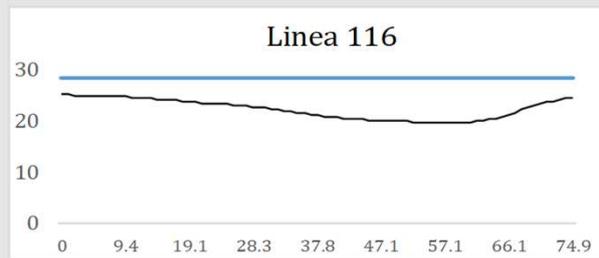
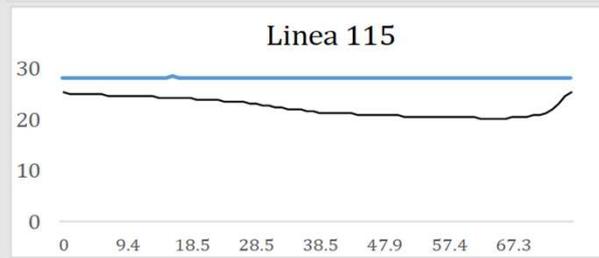
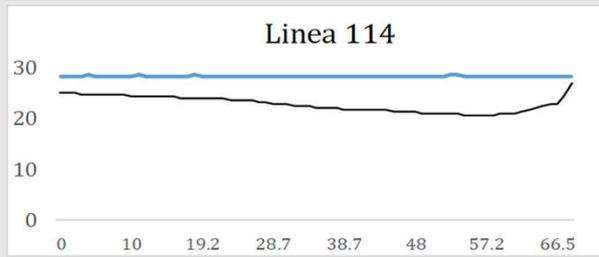
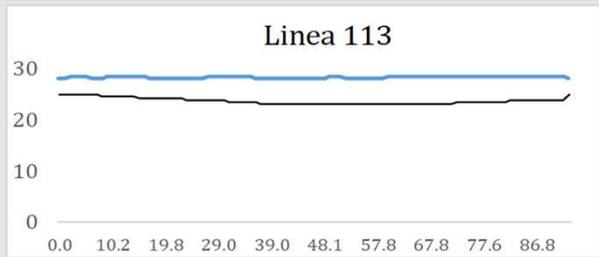
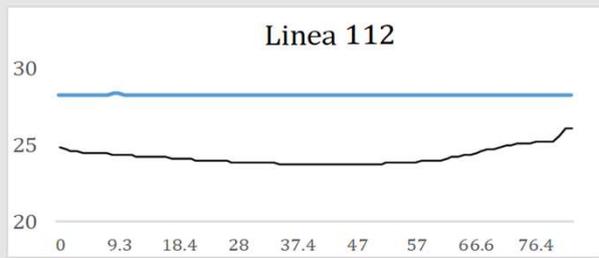
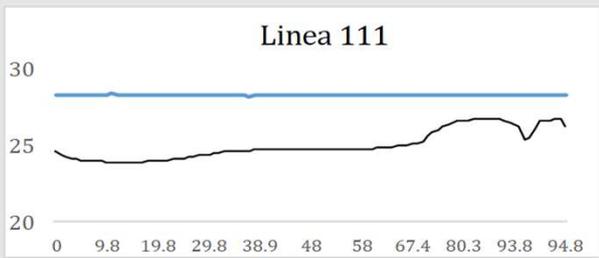


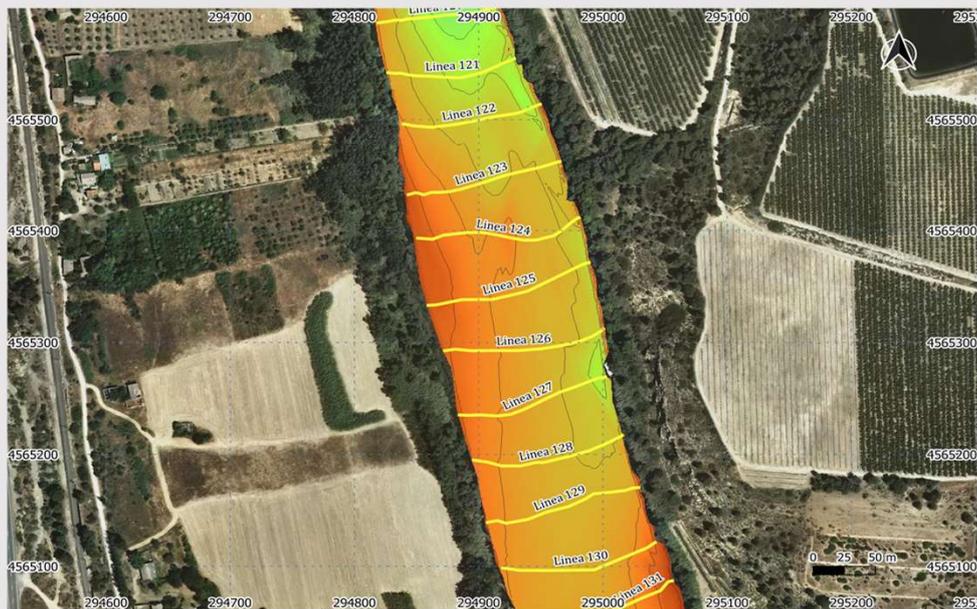
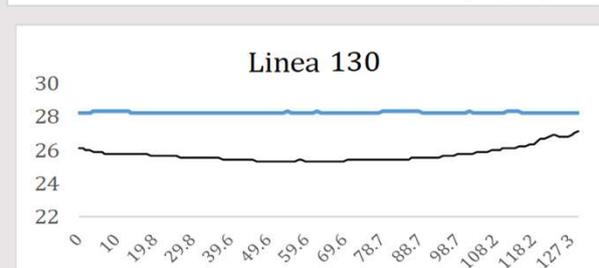
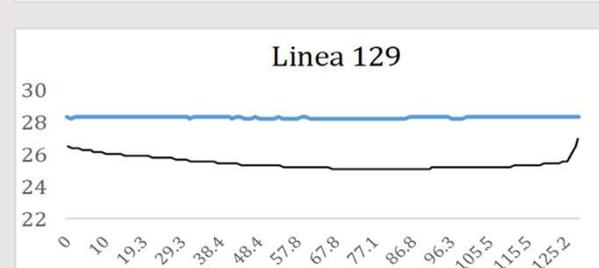
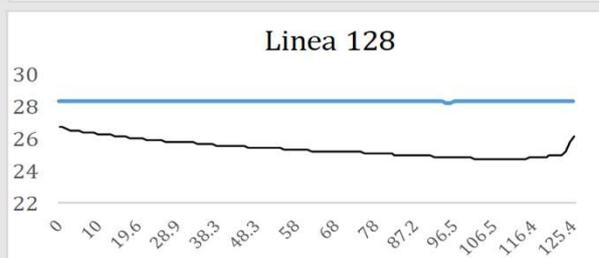
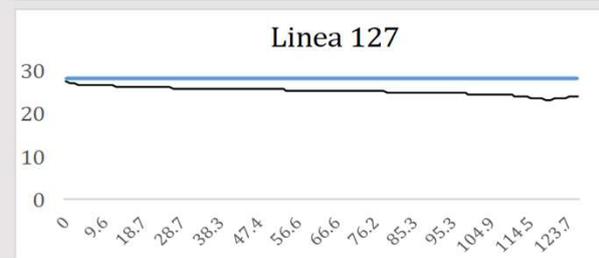
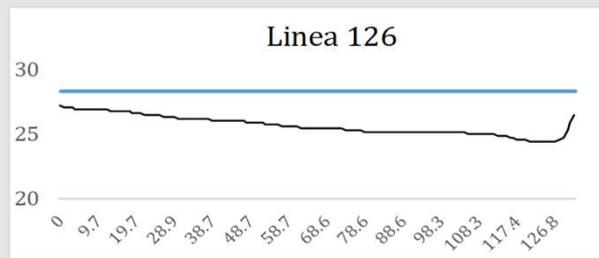
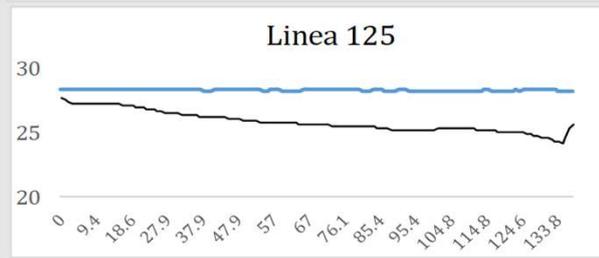
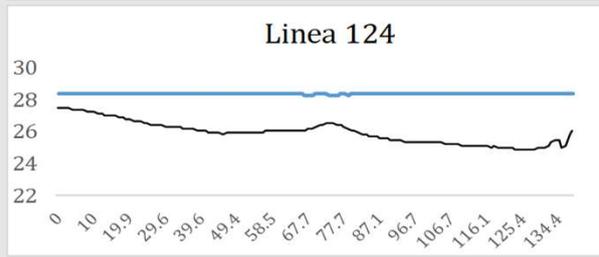
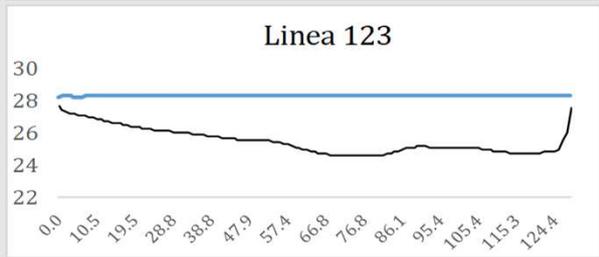
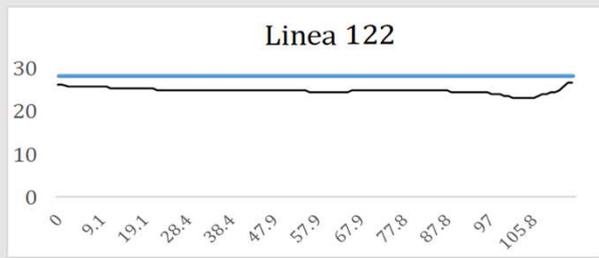
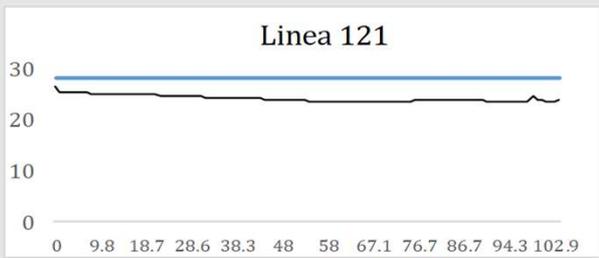


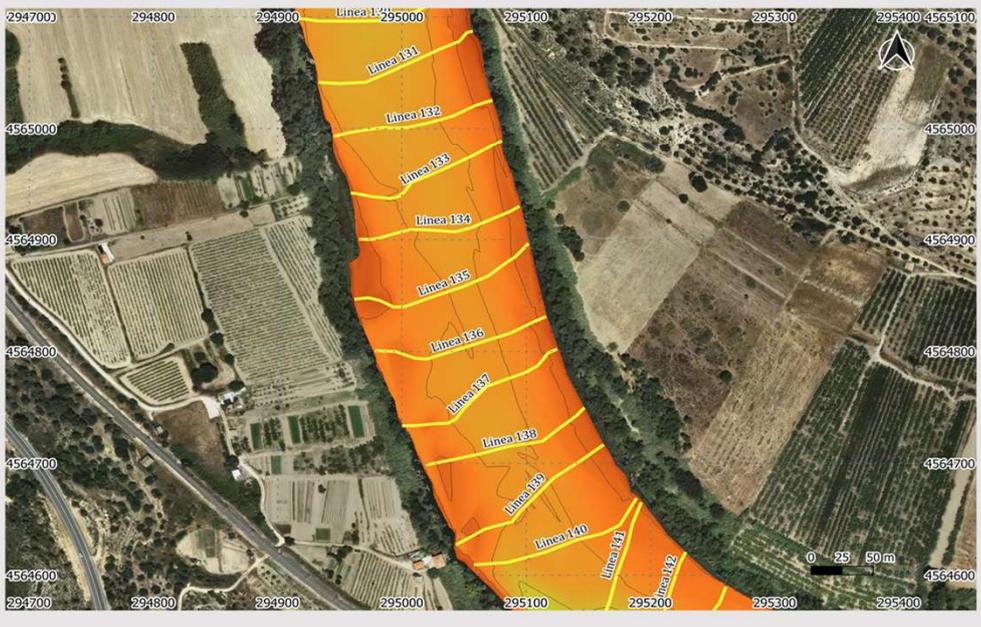
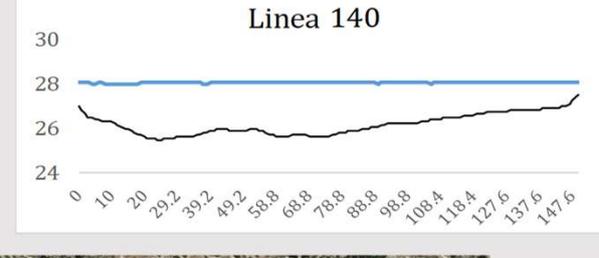
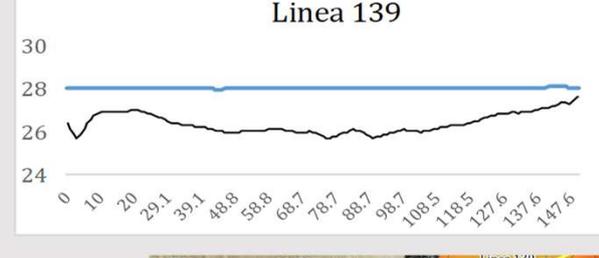
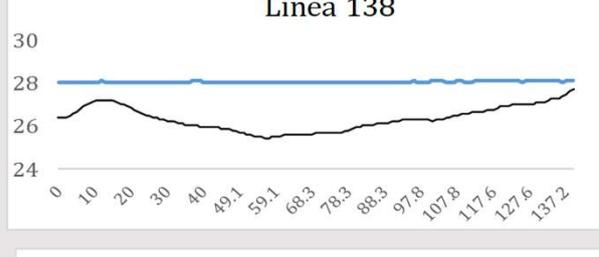
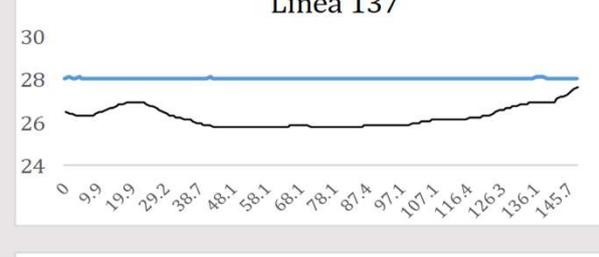
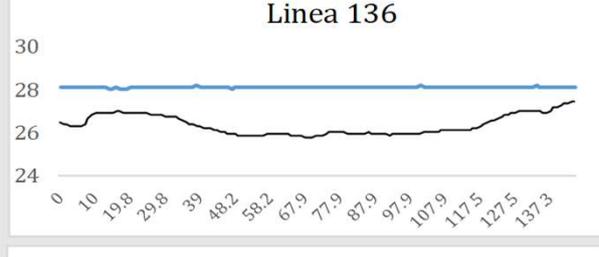
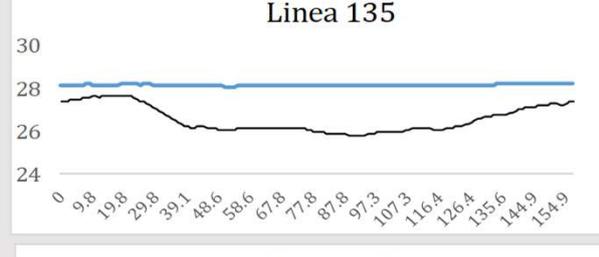
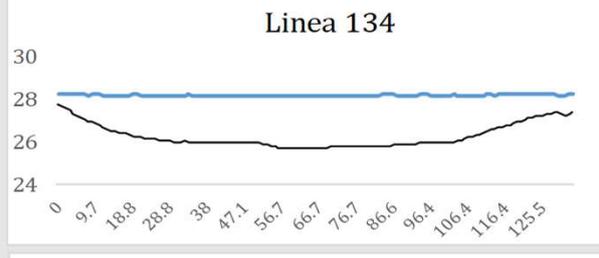
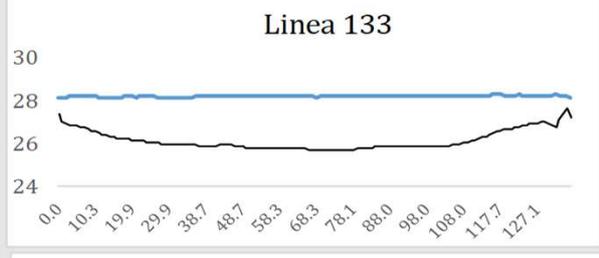
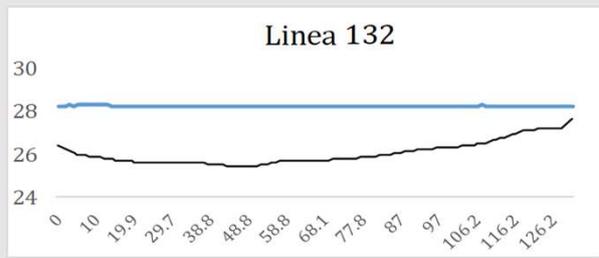
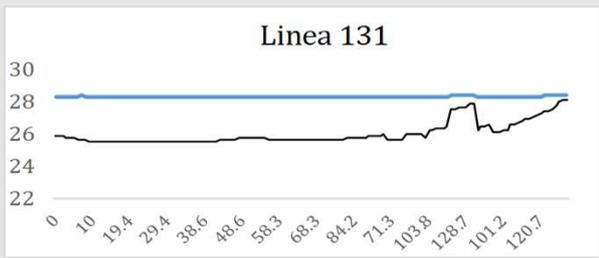


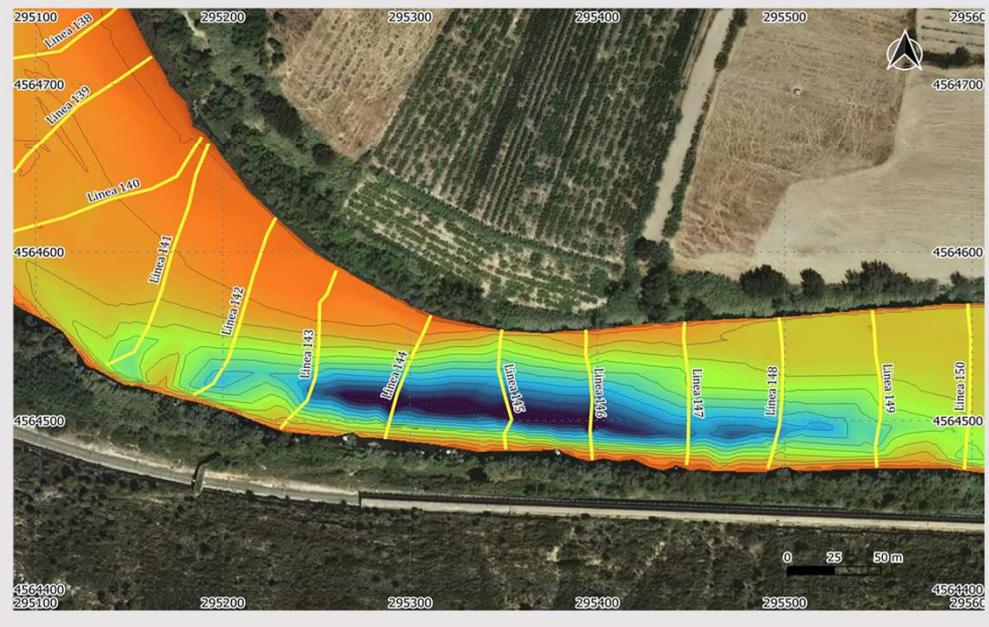
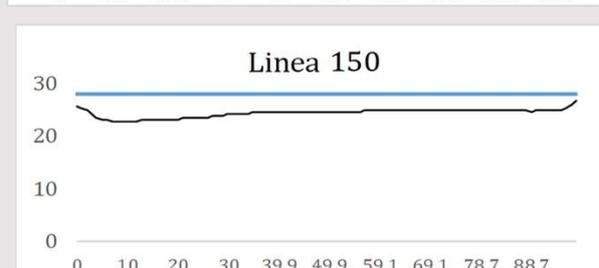
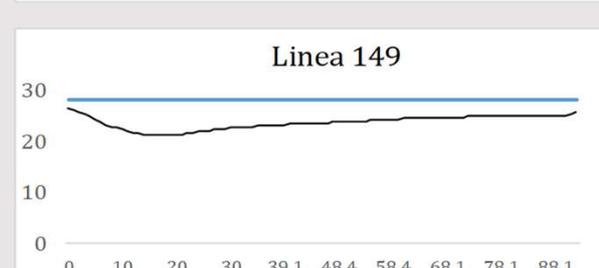
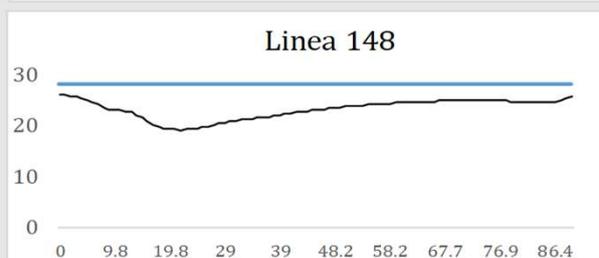
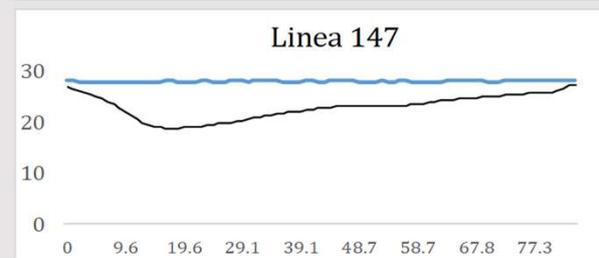
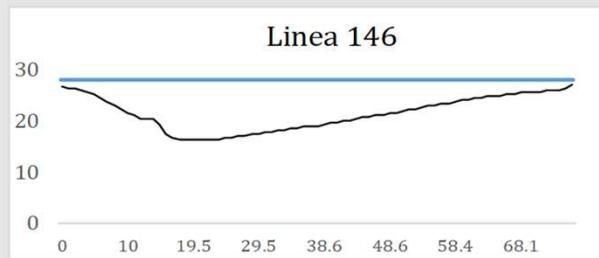
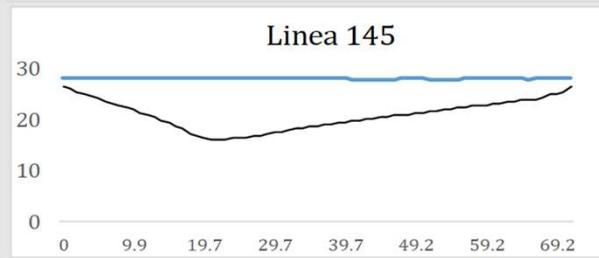
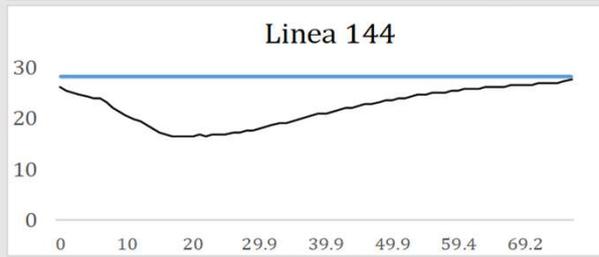
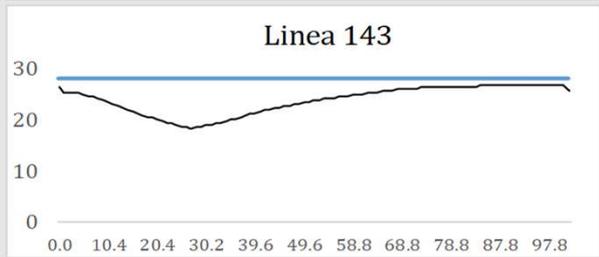
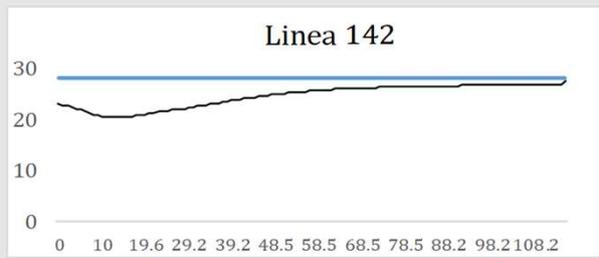
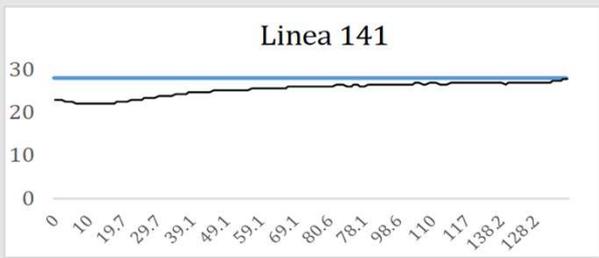


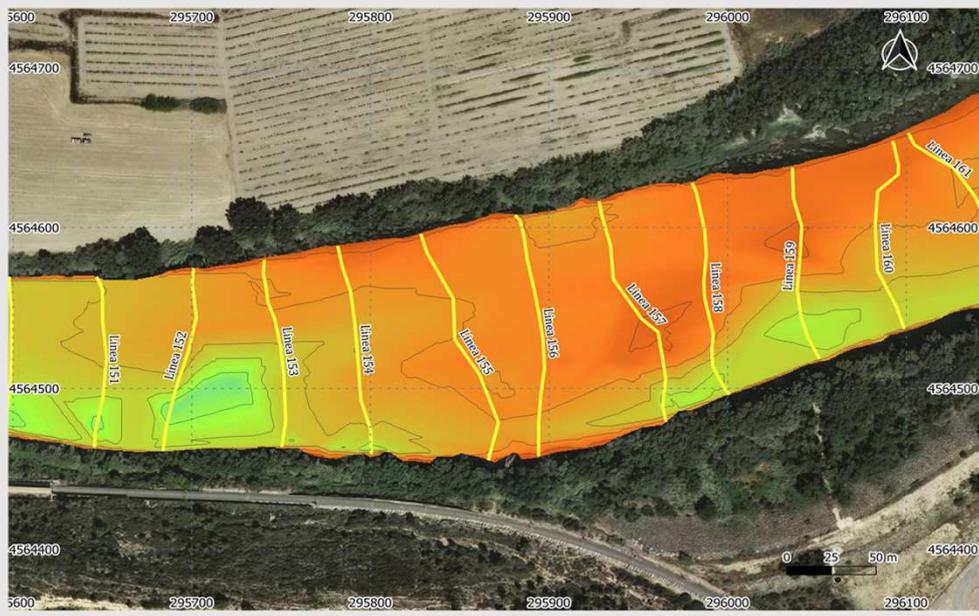
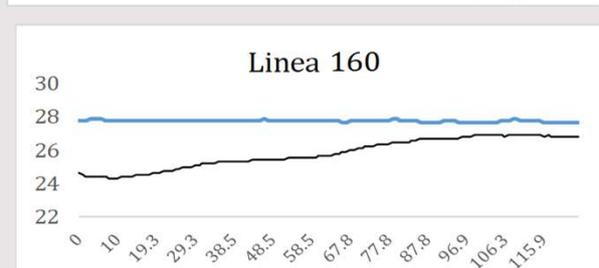
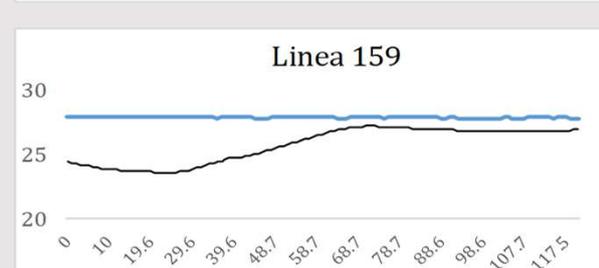
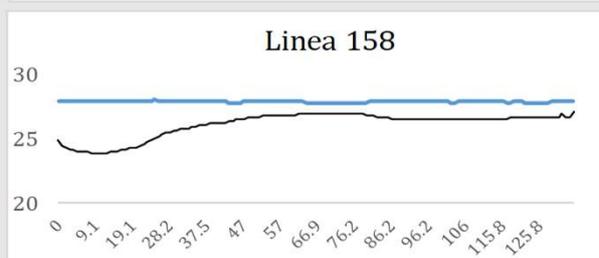
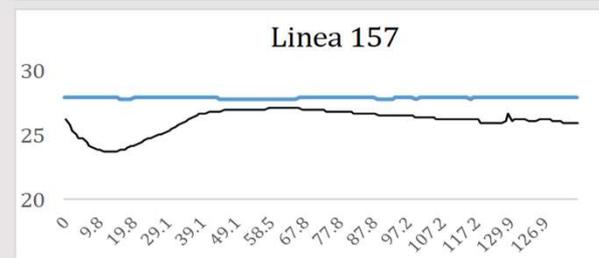
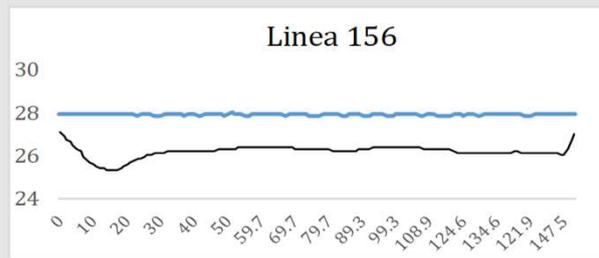
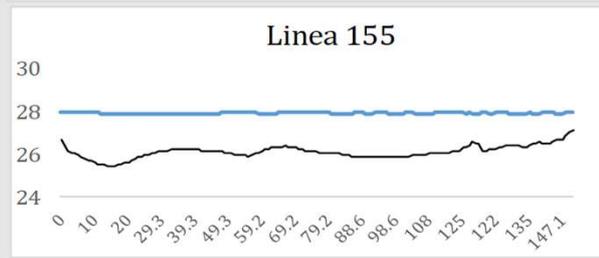
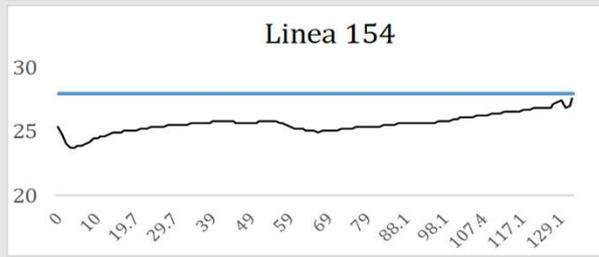
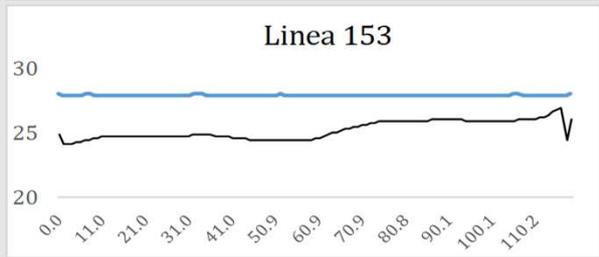
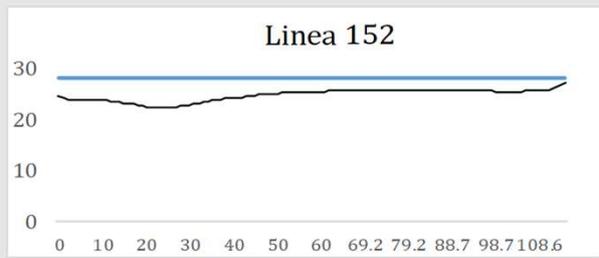
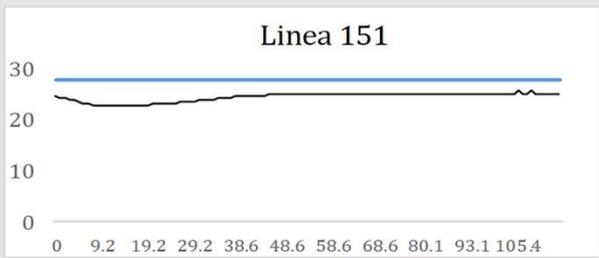


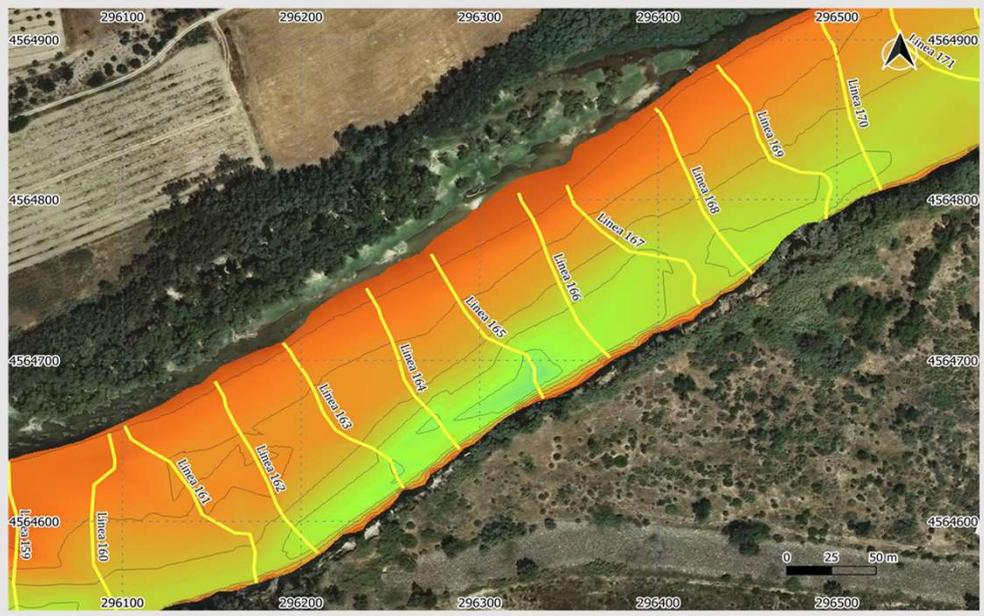
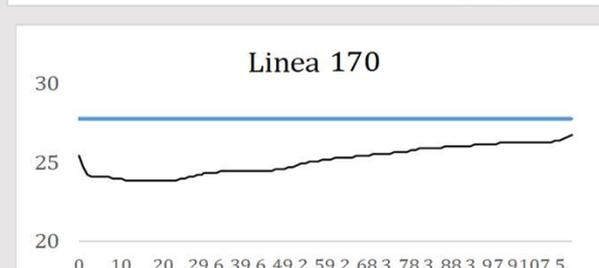
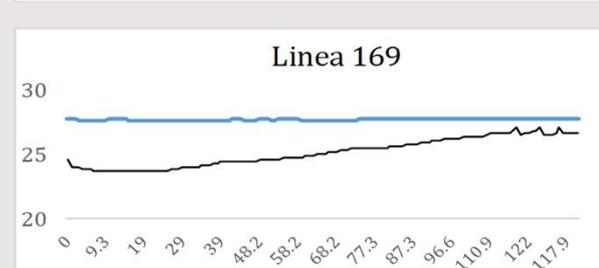
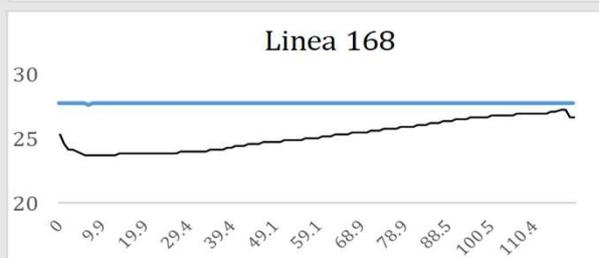
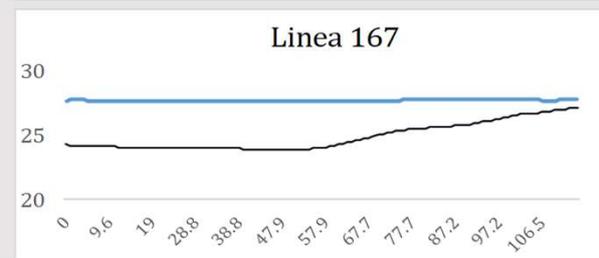
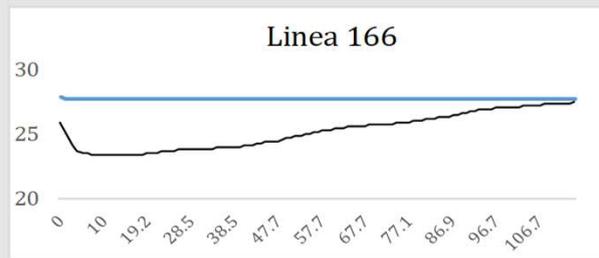
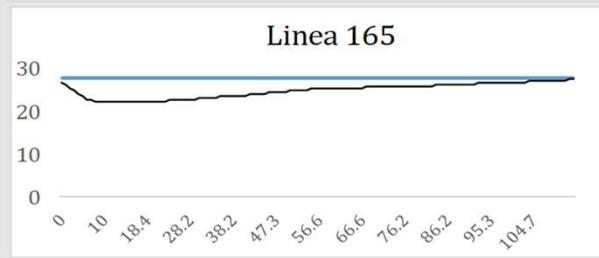
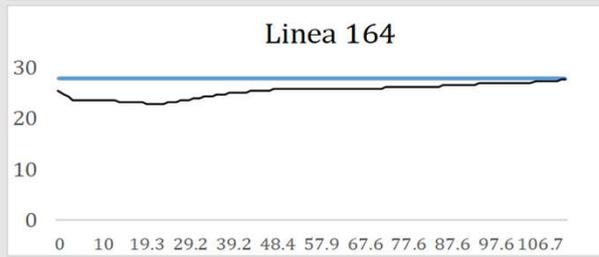
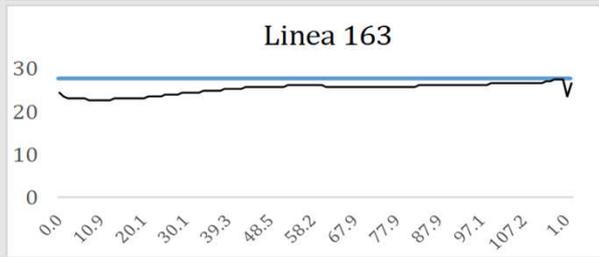
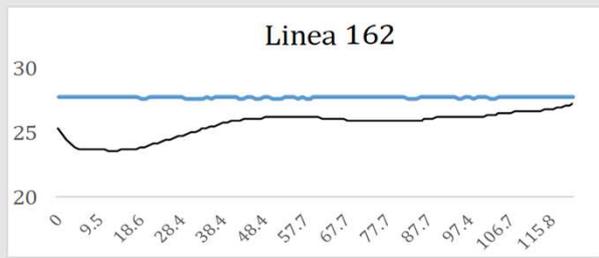
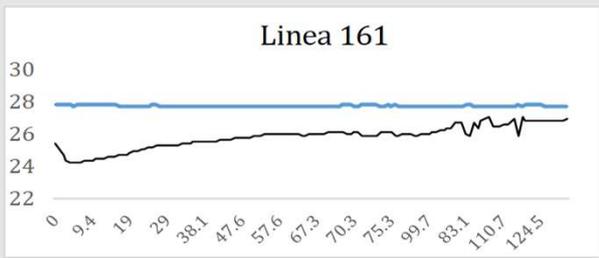


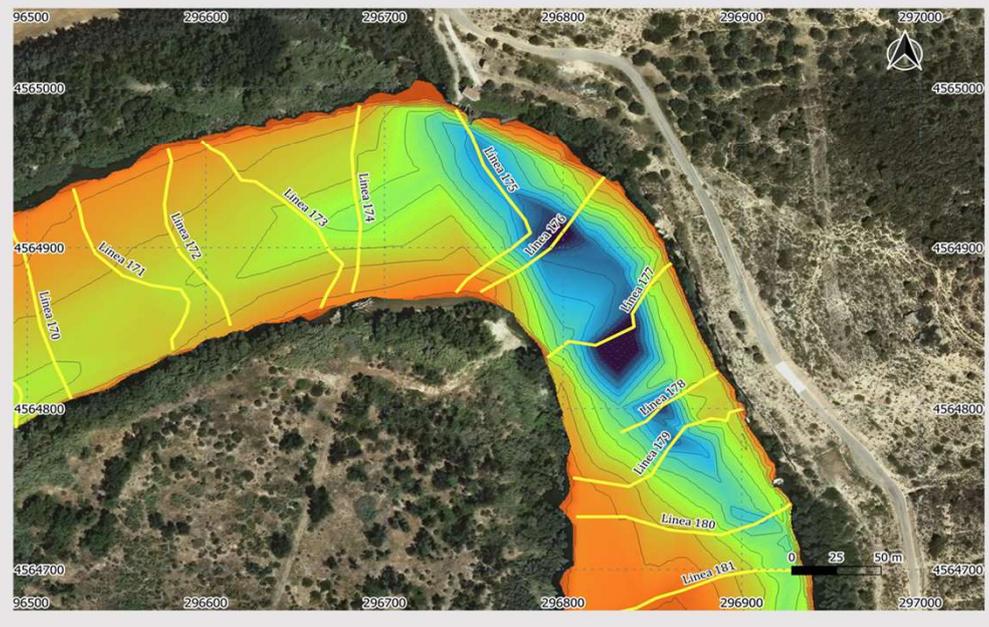
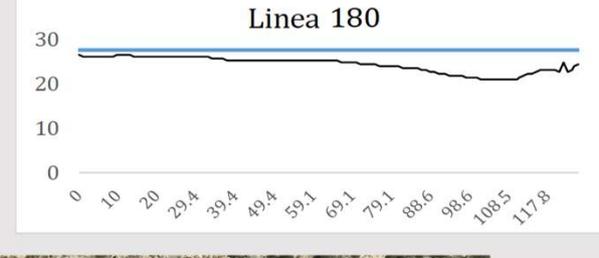
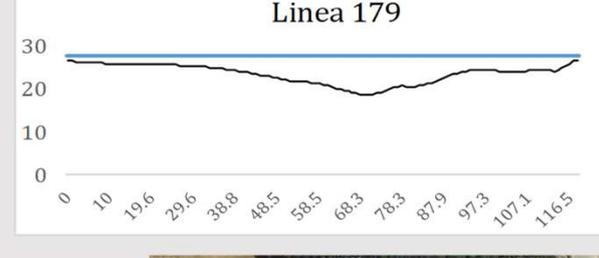
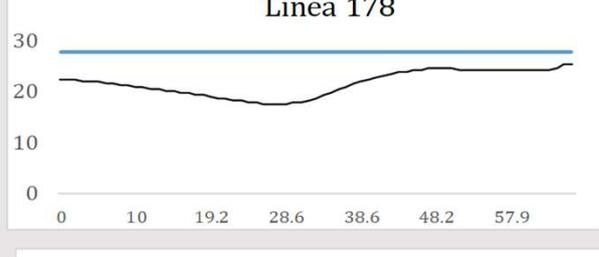
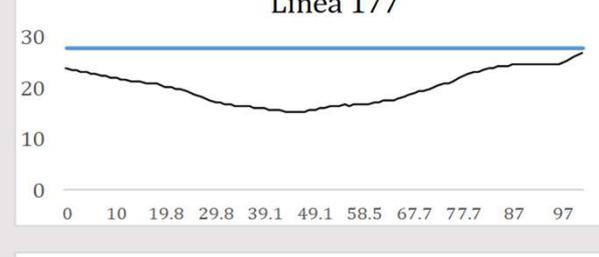
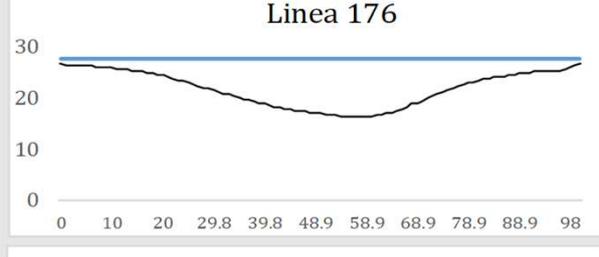
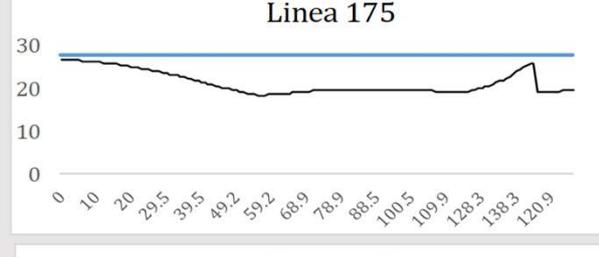
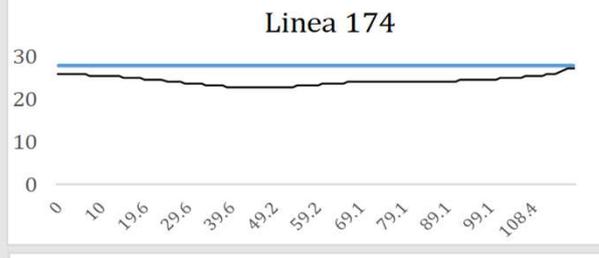
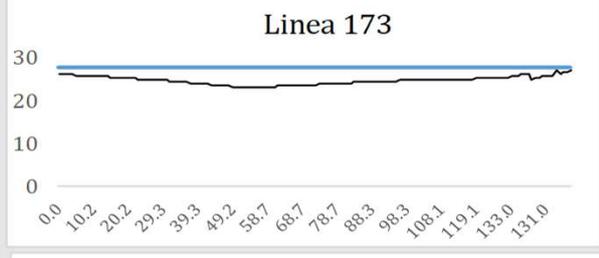
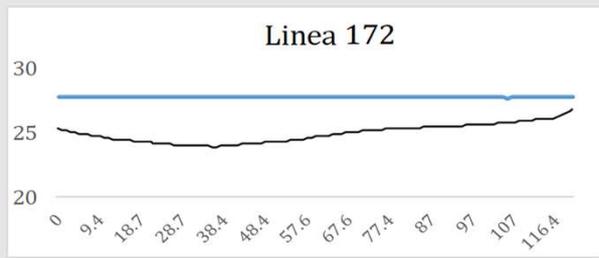
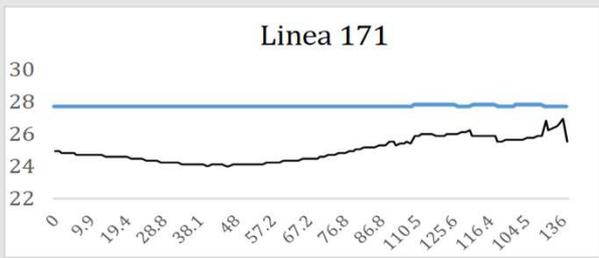


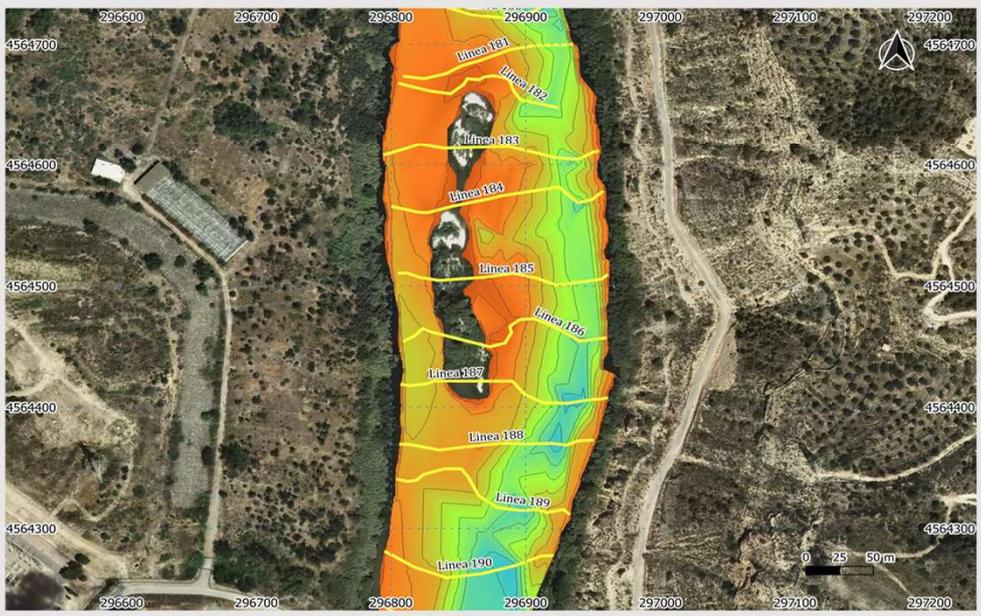
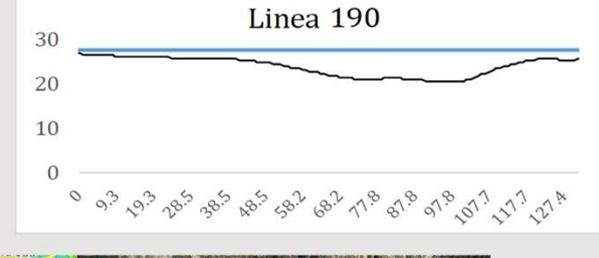
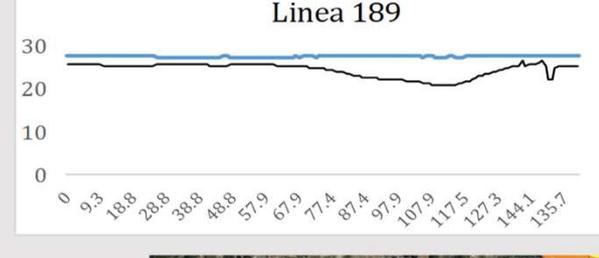
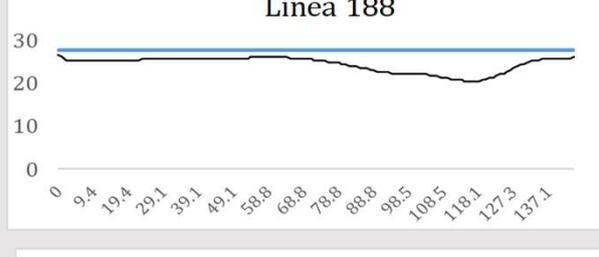
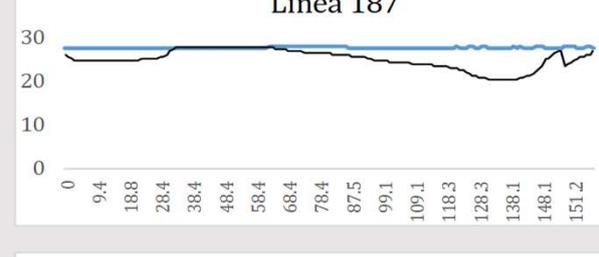
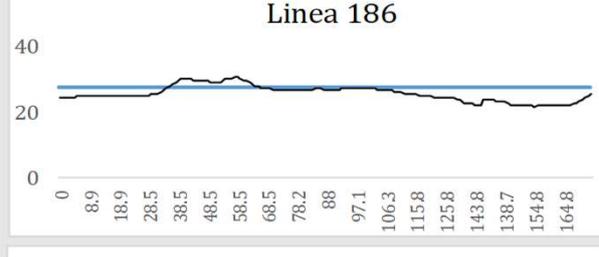
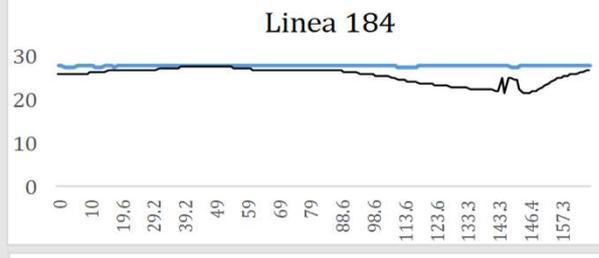
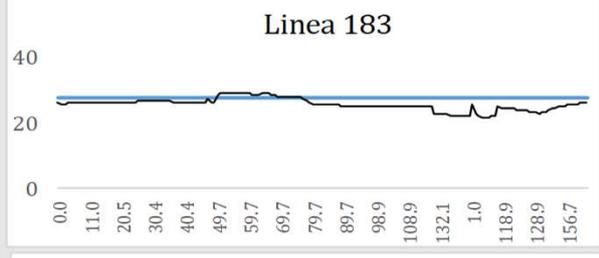
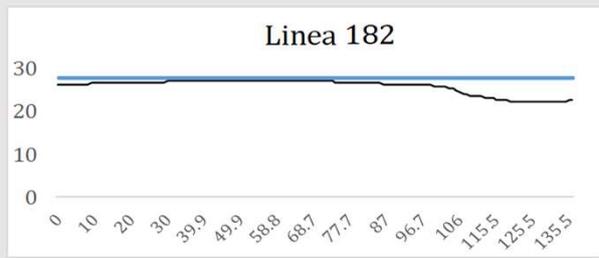
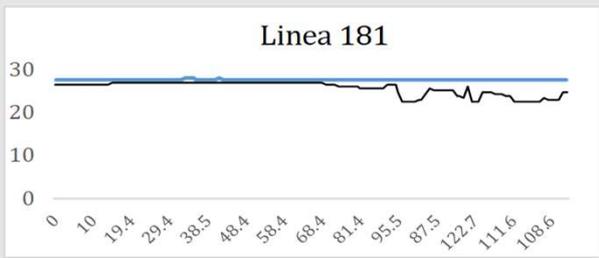


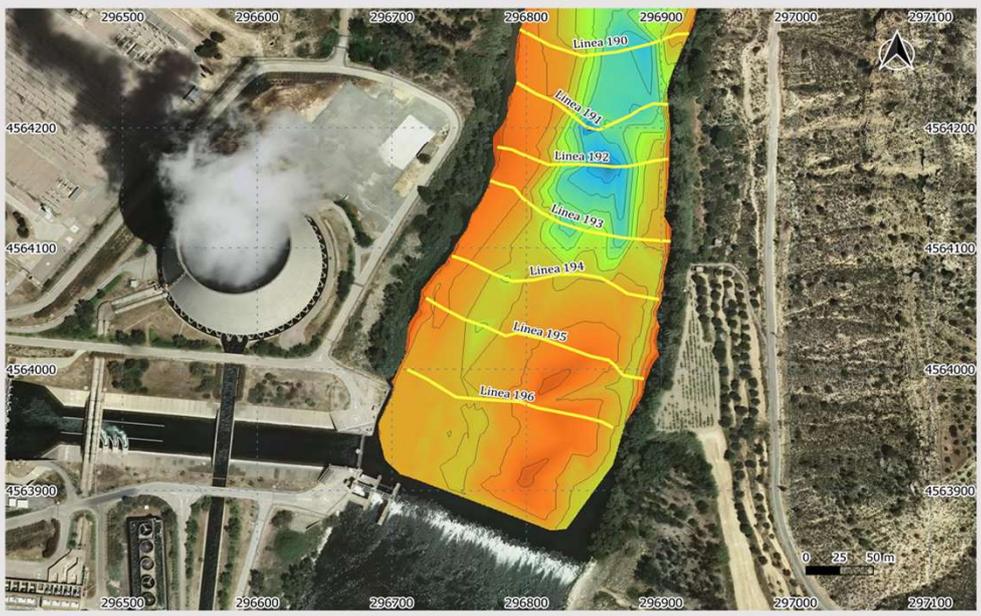
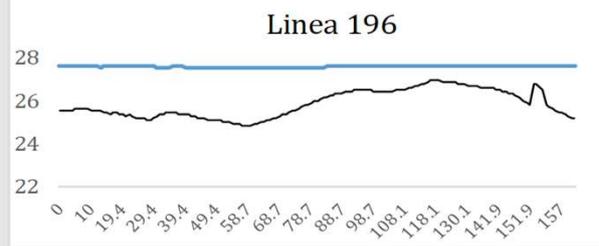
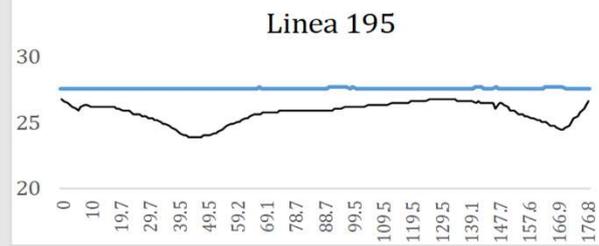
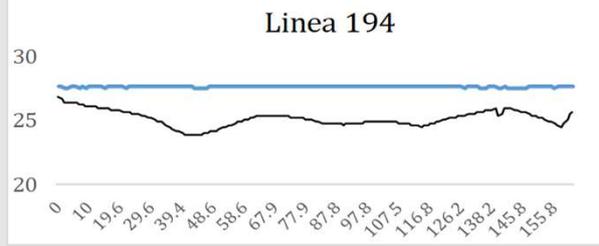
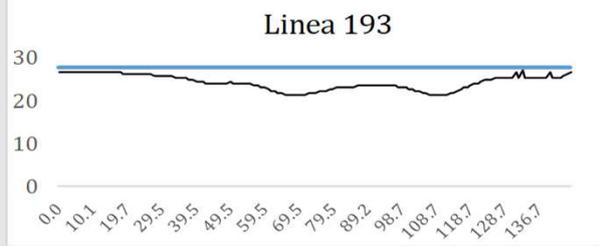
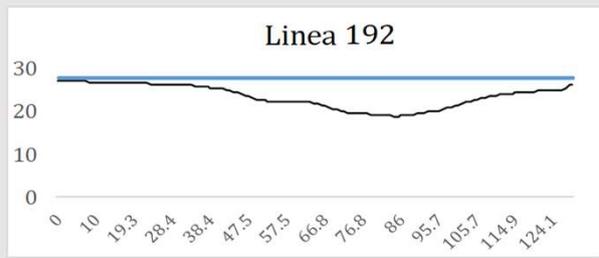
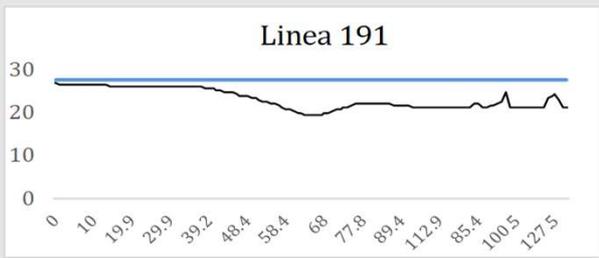












# APÉNDICE II: PERFILES TRANSVERSALES XERTA-TORTOSA

