



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio para la mejora de los tiempos de residencia del flujo
en el parcelario de arrozal. Aplicación en un caso práctico en
el Término Municipal de Sollana (Valencia)

Presentado por

Agüera Lidón, Cristina


Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2017/2018

Fecha: Septiembre 2018

Tutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel



ÍNDICE:

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	LOCALIZACIÓN	11
3.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
3.1.	La Albufera de Valencia	13
3.1.1.	Evolución del sistema de regadío	15
3.1.2.	Deterioro ambiental del sistema de la Albufera.....	16
3.1.3.	Infraestructuras de riego del entorno de La Albufera	19
3.2.	El arrozal de La Albufera	22
3.2.1.	Funcionamiento hidráulico y caracterización hidrológica	23
3.2.2.	Etapas del cultivo de arroz en La Albufera	24
4.	PROBLEMÁTICA	29
5.	INTRODUCCIÓN AL MODELO ÍBER	31
5.1.	Modelo numérico	31
5.2.	Condiciones de contorno	32
5.3.	Condiciones internas.....	32
5.4.	Malla de calculo	33
5.5.	Interfaz de preproceso y postproceso	33
6.	ELABORACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO	35
6.1.	Dimensiones del sistema	35
6.2.	Esquema de funcionamiento y conexión entre parcelas	36
6.3.	Descripción del modelo físico	36
6.4.	Datos geométricos	39
6.5.	Datos propios de la modelización.....	39
6.5.1.	Condiciones de contorno de entrada	39
6.5.2.	Condiciones de contorno de salida.....	40
6.5.3.	Condiciones de contorno internas.....	41
6.5.4.	Condiciones iniciales	43
6.5.5.	Rugosidad del suelo	44
6.6.	Elaboración del modelo nº1	44
6.7.	Elaboración del modelo nº2	48

6.7.1.	Descripción final del modelo actual.....	51
6.8.	Interpretación de resultados	55
6.8.1.	Antecedentes	56
6.8.2.	Procesado de los resultados	56
6.8.3.	Introducción de resultados	58
7.	SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN SITUACIÓN ACTUAL.....	61
7.1.	Interpretación de resultados	64
8.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	65
8.1.	Alternativa nº1: Aumentar tamaño de los vertederos internos actuales 65	
8.2.	Alternativa nº2: Cambiar condición de contorno de entrada	65
8.3.	Alternativa nº3: Cambiar condición de contorno de salida	65
8.4.	Alternativa nº4: Cambiar ubicación de vertederos internos.....	66
9.	DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS	67
9.1.	Modelo 1.1	67
9.2.	Modelo 2.1	68
9.3.	Modelo 3.1	69
9.4.	Modelo 4.1	70
10.	SIMULACIÓN HIDRÁULICA BAJO ESCENARIOS PROPUESTOS.....	71
10.1.	Simulación hidráulica modelo 1.1	71
10.2.	Simulación hidráulica modelo 2.1	75
10.3.	Simulación hidráulica del modelo 3.1	78
10.4.	Simulación hidráulica del modelo 4.1	81
11.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y MEJORAS OBTENIDAS.....	85
12.	CONCLUSIONES.....	91
13.	Bibliografía.....	93

Anejo nº1: Cálculos realizados por el programa Íber

Anejo nº2: Procesado de los resultados

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 2.1: Localización de la zona de estudio de las parcelas de arrozal. Fuente: Elaboración propia.....	11
Figura 2.2. Localización de la zona de estudio de las parcelas de arrozal. Fuente: Elaboración propia.....	11
Figura 2.3. Localización de las parcelas en el término municipal de Sollana. Fuente: Elaboración propia	12
Figura 3.1. Imagen desde satélite de regadío de La Albufera de Valencia. Fuente: Buscador Google Maps.....	13
Figura 3.2. Esquema de ubicación de las 3 golas. Fuente: Docavo (1979).....	15
Figura 3.3. Carga contaminante en acequias de La Albufera. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 3.4. Riego de campos con agua contaminada. Acequia de L'Alqueressia. Fuente: Elaboración propia	17
Figura 3.5. Mortalidad de peces en La Albufera. Fuente: Elaboración propia ...	18
Figura 3.6. Mortalidad de peces en La Albufera.....	18
Figura 3.7. Acequia Real del Júcar. Fuente:Elaboración propia	20
Figura 3.8. Esquema del ciclo temporal del cultivo del arroz en La Albufera de Valencia. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 5.1. Definición esquemática de las variables utilizadas en la imposición de condiciones internas. Compuerta sin vertedero (izquierda), vertedero sin compuerta (centro) y combinación compuerta-vertedero (derecha). Fuente: (Blandé, 2014)	32
Figura 6.1. Dimensiones principales del sistema.Fuente: Elaboración propia ...	35
Figura 6.2. esquema de funcionamiento y conexión entre parcelas. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 6.3. Numeración del parcelario. Fuente: Elaboración propia	37
Figura 6.4. Condiciones de contorno de entrada. Fuente: Íber	40
Figura 6.5. Condiciones de contorno de salida. Fuente: Íber	41
Figura 6.6. Condiciones de contorno internas. Fuente: Íber.....	42
Figura 6.7. Condición inicial. Fuente: Íber	43
Figura 6.8. Condiciones de uso del suelo: Fuente: Íber.....	44
Figura 6.9. Creación de parcelas en Íber. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 6.10. Creación de los muretes en Íber. Fuente: Elaboración propia	46
Figura 6.11. Conexión entre parcelas de distinta cota en Íber. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 6.12. Mallado del modelo. Fuente: Elaboración propia	47
Figura 6.13. Detalle mallado de las parcelas, número de Courant. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 6.14. Ventana de error del número de Courant. Fuente: Elaboración propia	48

Figura 6.15. Escalón brusco entre parcelas, modelo 1. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 6.16. Pendiente suave entre parcelas, modelo 2. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 6.17. Elaboración de muretes y solapamiento de superficies, modelo 1. Fuente : Elaboración propia	51
Figura 6.18. Elaboración de muretes mediante condición interna, modelo 2. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 6.19. Condiciones de entrada modelo 2. Fuente: Elaboración propia....	52
Figura 6.20. Condiciones de salida modelo 2. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 6.21. Condiciones internas modelo 2. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 6.22. Ventana exportación de resultados en Íber. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 6.23. Ruta de programación nº2: Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 6.24. Ruta de programación nº1. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 7.1. Numeración del parcelario. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 7.2. Velocidad en m/s, situación actual paso 500. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 7.3. Velocidad log10 en m/s, situación actual paso 500. Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 9.1. Modificaciones modelo 1.1. Fuente: Elaboración propia	67
Figura 9.2. Ubicación de los vertederos de entrada modificados modelo 2.1. Fuente: Elaboración propia	68
Figura 9.3. Ubicación de los vertederos de salida modificados, modelo 3.1. Fuente: Elaboración propia	69
Figura 9.4. Modificaciones realizadas en el modelo 4.1. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 10.1 Velocidad en m/s modelo 1.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia	73
Figura 10.2. Velocidad en log 10 modelo 1.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 10.3. Velocidad en m/s modelo 2.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia	76
Figura 10.4. Velocidad en log10 modelo 2.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 10.5. Velocidad en m/s modelo 3.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia	79
Figura 10.6.. Velocidad en log10 modelo 3.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 10.7. Velocidad en m/s modelo 4.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia	82

Figura 10.8.Velocidad en log10 modelo 4.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia	83
Figura 11.1. Análisis de resultados. COMPARACIÓN ENTRE MODELOS. Fuente: Elaboración propia.....	88

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 3.1. Cronología del cultivo del arroz en La Albufera y labores principales. Fuente: Elaboración propia	27
Tabla 5.1 Ecuaciones utilizadas en las condiciones internas, siempre y cuando se cumpla $Z_U - Z_D > h$. Fuente: (Blandé, 2014)	33
Tabla 6.1. Características del parcelario. Fuente: Elaboración propia	38
Tabla 6.2. Datos geométricos del sistema. Fuente: Elaboración propia	39
Tabla 6.3. Coordenadas parcelas para programa. Fuente: Elaboración propia.	59
Tabla 7.1. Análisis de resultados: SITUACIÓN ACTUAL. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 10.1. Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 1.1. Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 10.2 Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 2.1. Fuente: Elaboración propia.	75
Tabla 10.3. Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 3.1. Fuente: Elaboración propia	78

RESUMEN:

Este Trabajo Final de Grado tiene como objetivo realizar un estudio para mejorar los tiempos de residencia del flujo en un parcelario de arrozal del Término Municipal de Sollana, en la Comunidad Valenciana. Para ello, se ha realizado un estudio de las velocidades del flujo, mediante una simulación en el programa de cálculo Íber. Para mejorar el modelo, se han propuesto varios escenarios diferentes en los cuales se ha modificado la localización de los vertederos, tanto internos como externos, así como su anchura.

RESUM:

Aquest Treball Fi de Grau té com a objectiu realitzar un estudi per a millorar els temps de residència del flux en un parcel·lari de l'arrossal del Terme Municipal de Sollana, a la Comunitat Valenciana. Per tant, s'ha realitzat un estudi de les velocitats del flux, per mitjà d'una simulació en el programa de càlcul Íber. Per a millorar el model s'han proposat una sèrie d'escenaris diferents en els quals s'ha modificat la localització dels abocadors, tant interns com externs, així com la seua amplada.

ABSTRACT:

The following thesis has as an objective conducting a study to improve residence times of the flow in a parcel of rice field in the municipality of Sollana, in Comunidad Valenciana. For this, a study of the flow velocities has been carried out by simulation in the calculation program Íber. To improve the model, several different scenarios have been proposed in which the location of landfills, both internal and external, and their width have been modified.

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Final de Grado ha sido realizado en la modalidad de concierto directo para la obtención del Grado en Ingeniería Civil por la Universidad Politécnica de Valencia.

Dicho trabajo aborda la mejora de los tiempos de residencia del flujo en el parcelario de arrozal en el Término Municipal de Sollana en la Comunidad Valenciana, España. Para ello, se ha estudiado la situación actual del parcelario así como varios modelos alternativos que pretenden mejorar la situación actual del mismo, aumentando la velocidad del flujo en el parcelario y su distribución.

2. LOCALIZACIÓN

El conjunto de campos de arrozal objeto de estudio se encuentran en la zona sur de La Albufera, en el término municipal de Sollana, en la ciudad de Valencia (España). Concretamente, la zona seleccionada se encuentra a unos 39°18' latitud Norte, y a unos 0°23' longitud Oeste, cuya localización se expone en la figura adjunta. Las cotas de los campos son algo superior al nivel del mar, en torno a los 1,5 metros.

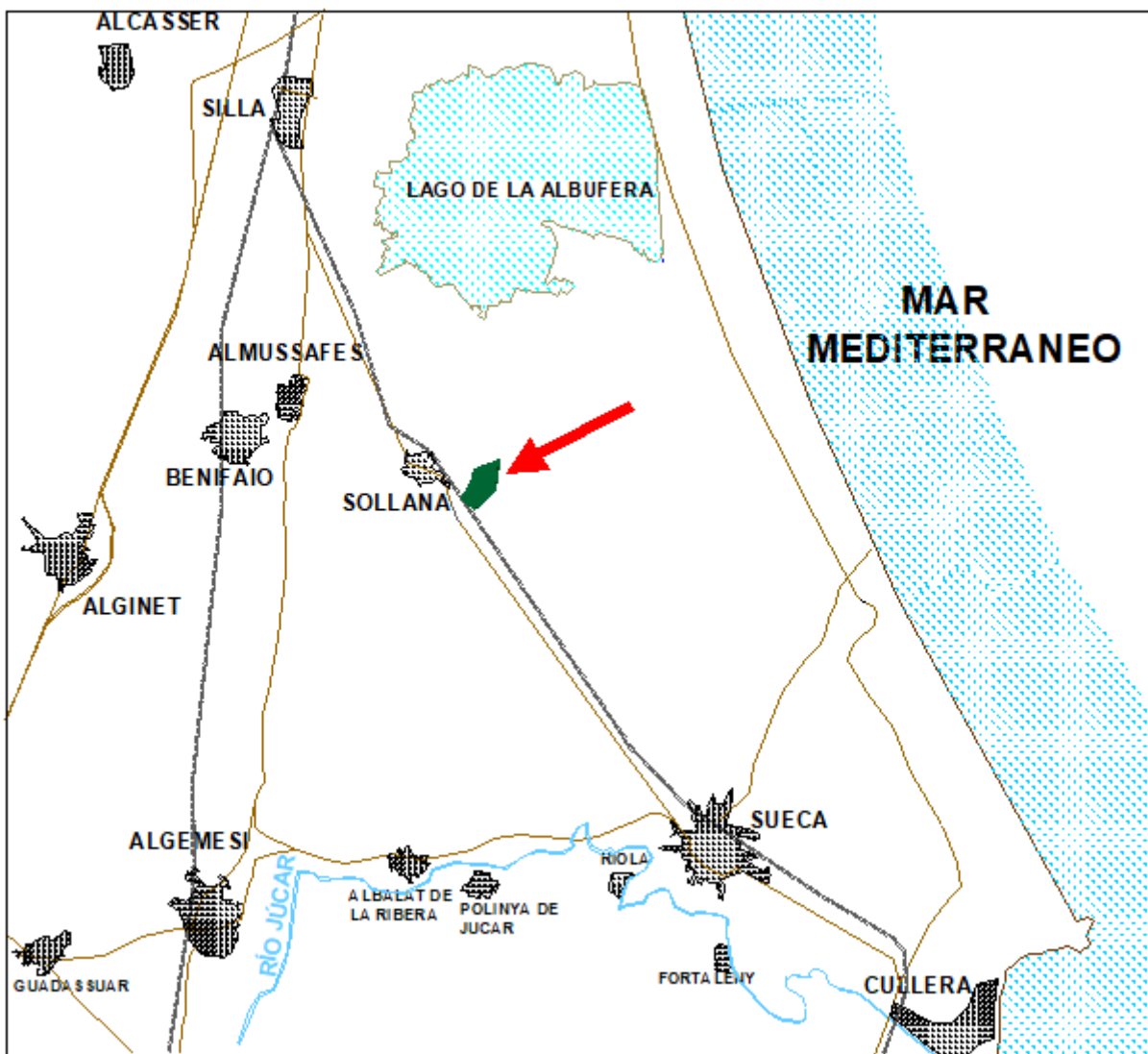


Figura 2.1: Localización de la zona de estudio de las parcelas de arrozal. Fuente: Elaboración propia

El sistema de parcelas se encuentra muy próximo al casco urbano de Sollana, situado a 500 metros de este. En la figura siguiente se muestra el término municipal de Sollana, sobre el que se ha destacado las parcelas de arrozal propuestas como zona de estudio

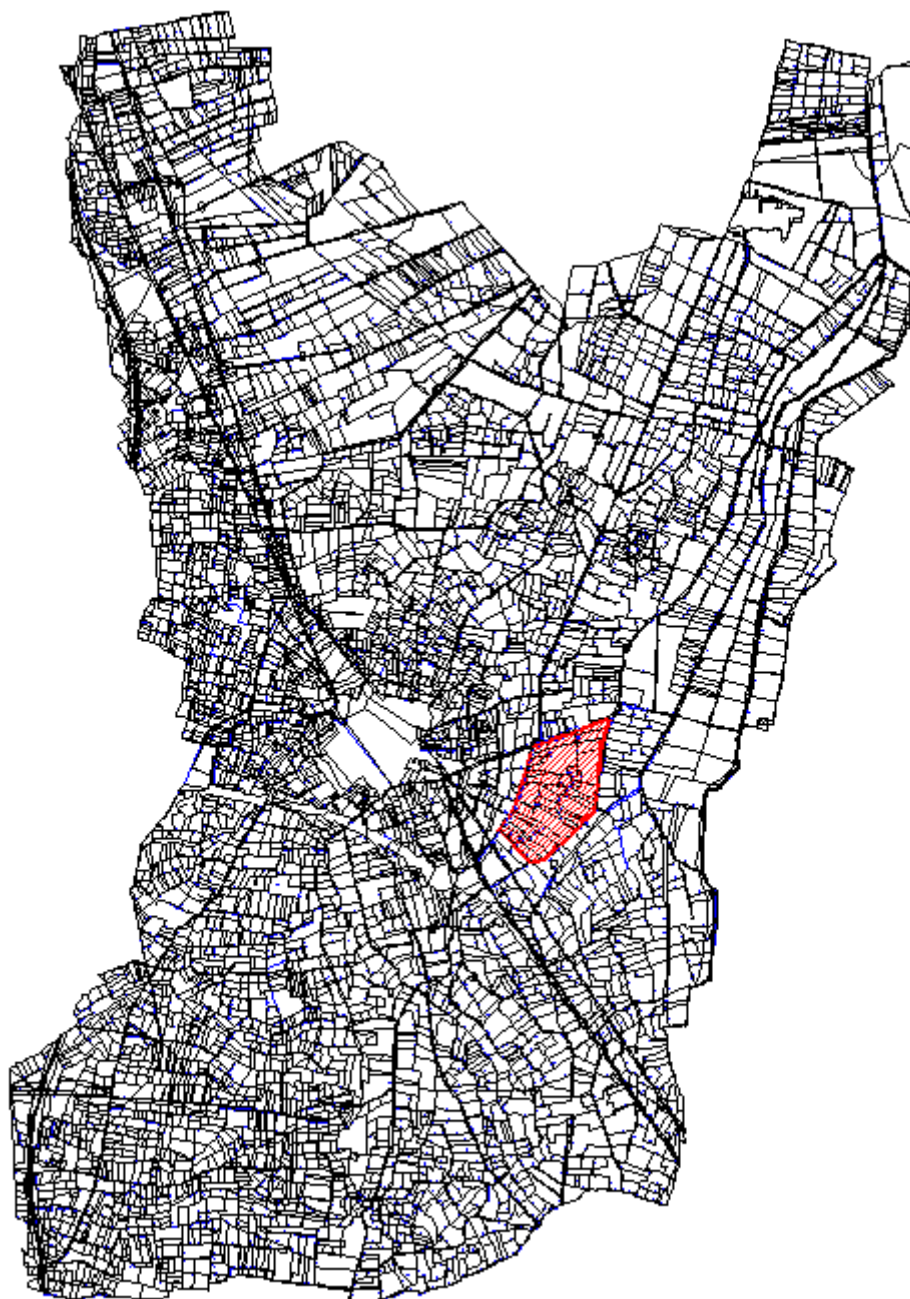


Figura 2.3. Localización de las parcelas en el término municipal de Sollana. Fuente: Elaboración propia

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. La Albufera de Valencia

El humedal conocido como La Albufera de Valencia constituye un entorno de elevado valor ecológico y paisajístico, que lo destaca como la zona húmeda más importante de la Comunidad Valenciana. Se localiza a sólo 15 Km al sur de la ciudad de Valencia (39º 20' N, 0º 21' W), en el sector costero del acuífero de la Plana de Valencia, correspondiente al sistema nº 51.

Este singular espacio fue declarado Parque Natural el 8 de julio de 1986 por el Consell de la Generalitat Valenciana, abarcando una extensión protegida de 21120 hectáreas. Este territorio protegido se reparte entre una laguna que lo caracteriza y le da nombre, los arrozales, que suponen la mayor extensión, y la restinga o cordón litoral, en donde se incluye la Dehesa de El Saler.



Figura 3.1. Imagen desde satélite de regadío de La Albufera de Valencia.
Fuente: Buscador Google Maps

La cuenca vertiente del humedal es de 917 km², confluyendo hacia este espacio numerosas ramblas, muchas de pequeño tamaño. Entre ellas destacan:

-El Barranco de Torrente o Barranco de Chiva, que alcanza el Parque por la zona norte. Su cuenca de aportación es de 367.6 km², lo cual supone el 40 % del total. También se le conoce como Barranco de Masanasa, o con su denominación más popular: la Rambla del Poyo

-El Barranco dels Algadins, con cuenca vertiente de 23 km ubicada mayoritariamente en el término municipal de Alginet, y con parte también en Algemesí. Tras cruzar este último municipio, el barranco pierde su definición de cauce, convirtiéndose en una acequia que desagua en la Albufera.

-El Barranco de Picasent, también conocido como barranco de Beniparrell.

Sin embargo, la cuenca hidrológica de La Albufera apenas proporciona una pequeña parte de las aportaciones de riego, puesto que la mayor parte del volumen de agua llega de los ríos Turia, y principalmente del Júcar.

La entrada de esta gran cuantía exterior de recursos hídricos, permite que la mayor parte del territorio que conforma este humedal esté ocupado por áreas agrícolas en regadío, excepto por la orilla oriental donde contacta con la Devesa. En esta vasta extensión predomina el cultivo del arroz y comprende parte de los municipios de Albal, Albalat de la Ribera, Alfafar, Algemesí, Beniparrell, Catarroja, Cullera, Masanasa, Sedaví, Silla, Sollana, Sueca y Valencia, abarcando así gran parte del territorio que se extiende entre los tramos finales de los ríos Júcar y Turia.

La superficie dedicada al cultivo del arroz en la región se estima en 223 km², lo cual supone que su extensión abarca más allá de los límites del propio Parque Natural (que incluyendo lago y Devesa alcanza sólo 211 km²). Por tanto, los arrozales no son exclusivos de la zona protegida, aunque sí mayoritariamente.

El agua en el sistema de arrozal se transmite a través de una enmarañada red de acequias de riego y drenaje, cuyo origen es más antrópico que natural, y que son resultado de un largo proceso evolutivo desde la época islámica hasta la actualidad. Las ampliaciones, intervenciones y mejoras en la red de riego se han sucedido durante siglos sin criterios estratégicos ni solución de continuidad; las obras se han ido superponiendo dando como resultado final el actual entramado de canales. Se trata de un paisaje cultural de un gran valor patrimonial y que ha supuesto un pilar económico en el desarrollo histórico del pueblo valenciano.

En el interior de la zona de regadíos existe una laguna de agua dulce de 2837 ha, lo que supone el mayor lago costero de España. De ellas, alrededor de 2500 están ocupadas por agua de carácter hipereutrófico con una profundidad media entre 0.5 y 2 metros.

La conexión entre el lago y arrozal es tal, que el ciclo hidrológico del primero está sujeto a dicha actividad agrícola, procurando que sus aguas tengan el nivel adecuado que en cada momento requiere el cultivo del arroz. Dicho nivel se encuentra regulado mediante compuertas situadas en tres canales que lo conectan con el Mar Mediterráneo. Estas tres conexiones al mar se conocen como golas del Perelló, Perellonet y Pujol, y su emplazamiento se ilustra en la figura siguiente.

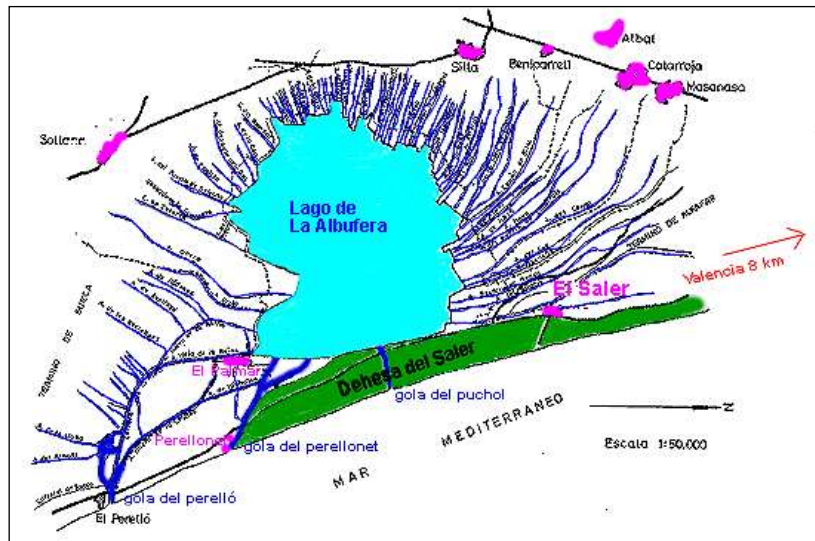


Figura 3.2. Esquema de ubicación de las 3 golas. Fuente: Docavo (1979).

En resumen, el funcionamiento actual de este complejo hidrosistema y sus implicaciones ambientales son consecuencia de los procesos naturales, pero también de la sucesión de intervenciones desarrolladas en su entorno, que han venido directamente vinculadas con la historia del cultivo del arroz.

3.1.1. Evolución del sistema de regadío

El cultivo de arroz comenzó durante el dominio islámico en la península ibérica, que con su sabiduría agraria comenzaron a transformar tierras pantanosas estériles en zonas de cultivo.

Hasta el siglo XIX, no se produjo un incremento de las tierras donde se cultivaba arroz. Este crecimiento se fomentó cuando se comenzó a legislar sobre los cotos arroceros; entre otras reales órdenes se puede destacar la de mayo de 1860, en la que quedaban establecidos los acotamientos y los terrenos aptos para el cultivo. Se especificaban varias condiciones que limitaban el cultivo, como la no existencia de bosques y de ningún obstáculo que impidiese la libre circulación de los vientos, tampoco se podía cultivar en campos que no distaran un mínimo de 1500 metros de una población. Asimismo, debía existir agua en abundancia y ésta no debía filtrarse en exceso poniendo en peligro las cosechas vecinas.

Como consecuencia de este crecimiento tan repentino de los regadíos en el entorno de la Albufera, comenzaron a surgir problemas asociados al mismo. Por ejemplo, faltaba agua para regar los campos de arroz en verano y primavera, y sobraba para secarlos en otoño e invierno. Esta situación limitó las posibilidades expansivas del regadío sobre el humedal y obligó a maximizar los recursos locales.

Por lo que el incremento del rendimiento de la agricultura durante el siglo XIX, estimuló la inversión en el regadío valenciano que se mantuvo hasta comienzos del XX, lo cual supuso la definitiva colonización agraria de la Albufera. No fue un hecho puntual, sino que en todo el país se incrementó la superficie regada y se efectuaron inversiones en infraestructuras hidráulicas.

Esta expansión del arrozal de finales del siglo XIX tuvo nefastas consecuencias para el lago, que pasó de 8130 hectáreas en 1873, a menos de 3000 a principios del siglo XX.

3.1.2. Deterioro ambiental del sistema de la Albufera

Desde la época islámica hasta el comienzo del siglo XX los regadíos del entorno de La Albufera de Valencia siguieron un comportamiento expansivo, con diferentes ritmos según la voluntad histórica de cada época, pero con una tendencia incesante debida a la importancia económica de la producción del arroz frente otras actividades tradicionales, como la producción salina, caza y pesca.

Sin embargo, esta tendencia histórica se frenó y comenzó a invertirse durante la segunda mitad del siglo XX, como consecuencia del desarrollo urbano e industrial experimentado en el área metropolitana de la ciudad de Valencia.

Con este desarrollo industrial de los municipios limítrofes al lago, comienza una reducción acelerada del espacio cultivado, hasta el momento desconocida, que vino acompañada de un crecimiento de los núcleos urbanos, que a su vez iban eliminando áreas cultivadas. De este modo, la agricultura de regadío se ve confinada incluso en recintos marginales incomunicados, espacios de escasa calidad ambiental conectados por canales cubiertos.

Las redes históricas de riego y drenaje fueron utilizadas como canales de evacuación de aguas residuales de las áreas urbanas, carentes de redes saneamiento. Además, las industrias aprovecharon igualmente dichas canalizaciones para realizar vertidos de los efluentes generados en sus procesos manufactureros, algunos de ellos de elevada toxicidad.

El sistema pasó así a compartir en el mismo entramado las redes de saneamiento y los regadíos, tal y como se ilustra en las imágenes adjuntas.



Figura 3.3. Carga contaminante en acequias de La Albufera. Fuente: Elaboración propia

La principal consecuencia de estos procesos fue el comienzo de un acelerado proceso de degradación ambiental de todo el sistema del Parque Natural de la Albufera, al estar en la cola del sistema de todo este entramado de la red de riego. Por lo que el lago pasó a ser el receptor final de dicha carga contaminante.

Del mismo modo que el desarrollo del sistema de arrozal había contribuido a generar la fisonomía de este espacio natural, ahora contribuía a contaminarlo a través de su propia red de riego.

Pero no se trataba sólo de un problema ecológico, sino de un problema de salubridad para la población, pues muchos campos se regaban habitualmente con aguas con elevada carga contaminante, especialmente los situados hacia el oeste del lago.



Figura 3.4. Riego de campos con agua contaminada. Acequia de L'Alqueressia. Fuente: Elaboración propia

Tras ir aprobándose las diferentes figuras de protección de La Albufera a finales del siglo XX, la concienciación ambiental fue yendo en aumento. Con el paso del tiempo, esta creciente sensibilidad ha traído consigo un desarrollo normativo asociado a figuras legales de protección.

Sin embargo, hoy en día no se puede decir que los vertidos estén interceptados, ni siquiera que estén controlados. La contaminación se genera en general fuera del Parque, salvo por los pequeños reductos urbanos de su interior. Las poblaciones de los municipios que circundan el Parque y sus zonas industriales han aprovechado durante mucho tiempo la circunstancia de que la red de riego del arrozal requiere de un caudal continuo de agua. Eso permite realizar vertidos directos en las acequias que a menudo atraviesan bajo casas e industrias de los cascos urbanos, consecuencia a su vez del crecimiento urbano solapado al entramado agrícola.

El control sobre estos vertidos en la red de riego, en algunos casos milenaria y de gran complejidad, resulta casi imposible, al menos con los medios actuales. Aunque la contaminación llega al lago por unos determinados puntos, resulta complicado conocer el origen exacto de muchos de los vertidos, pues estos a menudo se realizan de forma puntual en el espacio y en el tiempo, sobre este complejo entramado. Esto permite ocultarse en el anonimato a quienes no desean cumplir las normas; el problema resulta tan complejo como la caótica estructura de su propia red.

La red de riego trasiega todos estos vertidos puntuales hasta el lago, por lo que durante el último medio siglo se han ido acumulando en él una importante carga de nutrientes y contaminantes, que en gran parte han quedado adheridos a los fangos depositados en el fondo del estanque y cuya disolución genera un estado eutrófico.

Actualmente el aporte de contaminantes continúa, aunque en menor medida de como lo hacía años atrás. Sin embargo, las noticias que denuncian algún episodio de vertido suelen ser periódicas, o los titulares de prensa que constatan mortandad masiva de peces. A menudo, el proceso se agudiza por la falta de oxígeno en el agua cuando llegan las altas temperaturas veraniegas.



Figura 3.5. Mortalidad de peces en La Albufera. Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Infraestructuras de riego del entorno de La Albufera

El sistema de riego de La Albufera se divide en tres Comunidades de Regantes:

-En el sector noreste del parque, las aguas del río Turia se distribuyen a través de la Acequia del Oro o Canal del Turia.

-También con aguas del Turia, la acequia de Favara domina el sector noroeste del lago. Esta comunidad, tiene unas zonas de extremales no integradas que son los francos y marjales de Valencia o de Sedaví.

-Los sectores oeste y suroeste de la Albufera, integrados en las comarcas de L'Horta y de la Ribera Alta, los cubren el la Acequia Real del Júcar en sus tramos medio y final.

La mayor parte de la extensión de regadío que rodea al lago está monopolizada por el cultivo del arroz.

A continuación, se hace principal hincapié en la zona objeto de estudio: la Acequia real del Júcar.

Seguidamente, se muestra en color anaranjado la extensa zona de arrozal dominada por la Acequia Real del Júcar y sus correspondientes brazales. En todos estos gráficos que vienen presentándose, se ha de tener en cuenta que las zonas de marjal más próximas al lago configuran los denominados tancats. Los arrozales situados en estos tancats reciben agua de la propia Albufera y no de las distintas redes de riego que se están describiendo, a pesar de que por los gráficos así pudiera parecerlo.

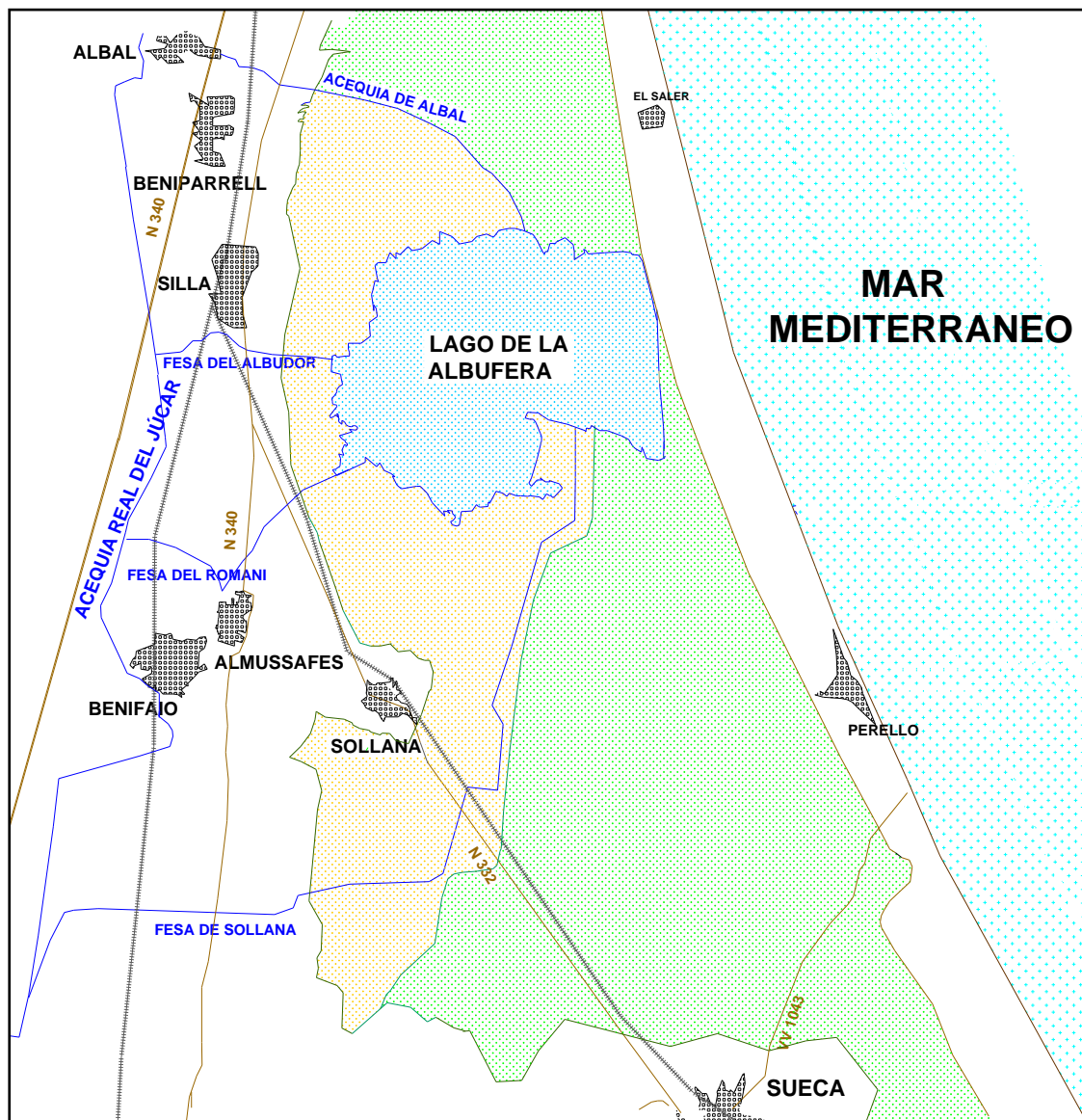


Figura 3.7. Acequia Real del Júcar. Fuente:Elaboración propia

La Acequia Real, deriva sus aguas del Júcar en Antella. La zona de arrozal abastecida por la Acequia Real recibe caudal de sus tramos medio y final. Se puede considerar la Fesa Real de Algemesí (situada tras el histórico cano de Guadassuar) como el límite a partir del cual, el agua derivada de la Acequia Real riega el arrozal. En efecto, los retornos de Algemesí se dirigen hacia el área del arrozal. A su vez, los arrozales de Algemesí, junto con los arrozales de Albalat, escurren hacia la Albufera, al Este de Sollana.

Poco después, la Acequia Real sirve a la Acequia de Albalat, que comienza regando la parte alta del término de Albalat y, a continuación, algunos arrozales.

La Fesa de Sollana es la antigua toma construida para el riego de Sollana a mediados del siglo XVIII. Se conocen como fesas el inicio de los brazales regulados por compuertas que parten de un canal principal hacia sus secundarios, y que se sitúan normalmente en el interior de caseta.

La acequia de Sollana riega el sureste del término municipal y después los arrozales al este del casco urbano. Es una fesa problemática porque su capacidad es escasa. No obstante, Sollana recibe el drenaje de Algemesí y de Alginet, a través de la Acequia Viviana. La circulación del agua por la marjal es desigual. Se dan aquí las mismas diferencias que se observan en Sueca, en cuanto a duración del recorrido del agua y número de usos. La parte oriental de Sollana es más rápida que la contigua al pueblo.

Al llegar a los cerros de Espioca, que la Acequia Real atraviesa con una serie de túneles, se inicia el tramo final de este sistema. Este punto puede considerarse como el límite natural que separa las comarcas de la Ribera y l'Horta. A la entrada al primer túnel, deriva la Fesa del Romaní. Se trata del último brazal importante de la Acequia Real. El canal pierde mucha capacidad a partir de los túneles, alguno de ellos a contrapendiente, de modo que este brazal casi lleva tanta agua como el resto. Por esta razón el tramo final de la Acequia Real tiene frecuentes problemas de escasez de agua y se auxilia con pozos.

A partir del cementerio de Almussafes, la Fesa del Romaní se divide en varios ramales que llevan agua al Romaní y al arrozal al norte del azarbe de Sollana, también conocido como de La Salut. Este drena todos los efluentes urbanos e industriales de Benifayó, Alginet, Almussafes y Sollana, es decir el sistema Albufera sur, cuya depuradora se terminó de construir en 2005, con lo cual pasó a controlarse la segunda fuente de contaminación del lago.

Tras atravesar la autopista del Mediterráneo, el brazal del Romaní reparte el agua por el arrozal gracias a una serie de acequias paralelas a la orilla del lago, que al carecer de pendiente son reversibles y equilibran los caudales. Esto es característico no sólo del brazal del Romaní, sino de todo el sistema, desde Sollana hasta Catarroja. Aquí la distancia entre el lago y la huerta (que riega por turnos) es muy corta. El arrozal requiere caudal continuo y éste no se podría mantener así, aprovechando los sobrantes de muchas acequias independientes funcionando intermitentemente, salvo que se intercalen estas acequias de compensación. En cualquier caso, la extensión regada por el brazal del Romaní es muy importante.

Tras el segundo túnel, deriva la Fesa del Albudor, que alimenta el sector sur de Silla. Más adelante una nueva estructura de reparto distribuye el agua en acequias que alimentan el marjal, muchas de ellas provenientes de antiguas fuentes, y algunos pozos.

Finalmente, la Acequia Real, en los términos de Alcásser, Beniparrell y Albal, sirve a unos pocos riegos que se auxilian de motores. El Braç del Vicari, riega la zona sur de Albal y es la última derivación de la Acequia Real, antes de que confluya con la de Favara. Tras cruzar la Pista de Silla, conecta con el sistema de riego de la Font de Mariano. Esta acequia al igual que la prolongación de la Acequia de Albal, riegan el arrozal de Albal y llegan hasta la Albufera.

3.2. El arrozal de La Albufera

En el presente apartado se realiza un análisis particular de las particularidades y características propias del cultivo del arroz en La Albufera.

el cultivo del arroz ha experimentado sucesivos períodos de crisis a lo largo de su historia, alternados con etapas de expansión. El último de estos ciclos expansivos se produjo entre finales del siglo XIX y la década de los años 30, y durante el mismo se realizaron los últimos aterramientos del lago hasta dejarlo con su extensión actual, con poco más de 2000 ha. Estas labores de ganar terrenos al lago para cultivar arroz, se realizaban de la forma siguiente: se levantaba un caballón de tierra que sobresalía del agua para delimitar la parcela, y en el interior del perímetro delimitado se iba rellenando con barro del fondo del lago y de los canales que desembocan en él, a veces con ayuda de barcas. De este modo se iba elevando el terreno hasta hacerlo apto para el cultivo.

A partir de los años cuarenta el arrozal entró de nuevo en crisis. Esto se debió en gran medida por la mayor rentabilidad económica de los cultivos hortícolas, así como por la aparición de máquinas que permitían reducir el esfuerzo para cultivar una huerta. Esto motivó la transformación de campos de arroz en huertos de hortalizas, lo cual supuso la reducción de superficie inundada.

Aunque este proceso hoy en día casi se ha detenido, actualmente persiste, con el consiguiente riesgo de pérdida de valores ambientales. Sin embargo, el área de arrozal puede considerarse bastante estable hoy en día.

Continuando con la evolución del cultivo, se observa una disminución de la superficie de arrozales a finales de los años ochenta, mientras que, en la década de los noventa, se estabilizó en torno a las 15500 hectáreas.

Sueca es, con cerca de 6500 ha, el municipio más importante respecto al cultivo, ya que concentra casi la mitad de la producción. El resto de la superficie arroceras se

reparte entre los términos municipales de Albal, Albalat, Alfafar, Algemesí, Catarroja, Cullera, Massanassa, Silla, Sollana y Valencia.

Sin embargo, el sector arrocero del entorno de La Albufera presenta problemas asociados a la fragmentación del terreno en parcelas muy pequeñas, por la cual se dificulta una racionalización de los medios, como uso de máquinas, procesos de abonado, riego, etc. Además, esta fragmentación, unida a la manera en que se ha ganado terreno al lago para el cultivo durante siglos, provoca un sistema de riego muy complejo con una densa red de acequias de trazado irregular, provista de múltiples conexiones y derivaciones.

Por lo que, el cultivo del arroz en La Albufera es imprescindible como valor socioeconómico en la región, pero también para el mantenimiento de calidad ecológica de este entorno.

Pero para que el arrozal sobreviva y se siga cultivando es necesario que mantenga una rentabilidad razonable. Para ello no sólo deben adoptarse medidas que faciliten su producción y comercialización, sino también habilitar posibles sistemas de ayuda recogidos en la legislación estatal y comunitaria, por su contribución al mantenimiento de un espacio natural de interés internacional.

3.2.1. Funcionamiento hidráulico y caracterización hidrológica

En cuanto a su funcionamiento hidráulico y caracterización hidrológica, se distinguen dos tipos de zonas de arrozal según el modo de riego:

Los "tancats", o campos que riegan con aguas procedentes del lago de la Albufera, en general de mala calidad por estar mezcladas con aguas urbanas. Son terrenos próximos al estanque, que coinciden con la superficie ganada al mismo para uso agrícola en las últimas etapas de su historia, y están aislados de él por motas de tierra, a veces de cierta entidad. Son de fácil inundación, pero de desagüe natural imposible, por lo que requieren el uso de motores o bombas hidráulicas. Están muy expuestos a cualquier variación del nivel del lago.

El riego y el desagüe lo resuelven conjuntamente, y a menudo utilizan acequias que funcionan de forma reversible. La inundación invernal se produce al cerrar las golas, y subir el nivel del agua en el lago y canales, entrando ésta por las boqueras de las motas.

Estos terrenos no tienen un reglamento escrito, al menos hasta hace poco, pero se organizan mediante una Junta que se ocupa del aspecto administrativo, contratando personal: criadors, celadors, regadors, motoristes y maquinistes. El regador debe cuidar los niveles del agua en función de la temperatura y el grado de madurez del arroz.

Las "tierras altas". Su riego se realiza mediante caudales procedentes de fuentes, pozos, y principalmente, de acequias derivadas de los ríos Turia y Júcar. El desagüe se realiza de manera natural, por gravedad. Los arroceros de esta zona se agrupan en Comunidades de Regantes, con una Junta General, un Jurado de Riego y un Sindicato.

El riego es también colectivo, y en el caso de que utilicen aguas del lago, que algunos pueden aprovechar bombeando hacia aguas arriba, queda regulado por la Junta de Desagüe de la Albufera constituida por los "propietarios de tierras enclavadas en las antiguas lindes del lago", cuyos terrenos vienen delimitados por los mojones de 1761.

Las aguas que riegan este sistema de arrozal poseen calidades y características físico-químicas muy heterogéneas, dependiendo del punto de suministro y si atraviesa algunas de las zonas urbanas o industriales conflictivas.

3.2.2. Etapas del cultivo de arroz en La Albufera

En la Albufera de Valencia se practica el monocultivo del arroz, abarcando un año completo y realizando una única cosecha, a diferencia de otras zonas del planeta donde se pueden llegar a obtener varias.

Las tierras permanecen sin explotar durante la estación fría y, además, permanecen cubiertas de agua durante una parte de este período.

A finales de invierno se inician las labores preparatorias mediante el nivelado de campos, que resulta vital para conseguir una distribución uniforme del agua y la pendiente necesaria para su rápida evacuación, operación requerida en ciertas fases del cultivo.

Entre enero y marzo, se suelen incorporar al suelo los rastrojos y restos del cultivo de la campaña anterior. A esta operación se le denomina fanguero. Hay zonas de La Albufera en las que este proceso incluso se realiza en seco, pero lo habitual es hacerlo con el terreno inundado, o con el freático casi superficial. El fanguero es necesario para dejar el suelo fangoso en buenas condiciones, y poder clavar con facilidad las plantas jóvenes del arroz. A veces también se aprovecha para aportar fertilizantes de fondo.

Aunque el arroz se planta en mayo, el primer proceso comienza en pleno invierno con la siembra de forraje en un campo de cultivo. Las raíces de este forraje son ricas en nitrógeno, lo cual favorecerá el crecimiento del arroz en su primera etapa. Este forraje, también conocido como ferratja o fabó, crece durante el invierno para meses después convertirse en el 'planter'.

Llegado el mes de marzo, este forraje se moltura conjuntamente con la tierra sobre la que se había sembrado, con el fin de enriquecerla. Los agricultores hacen motas

de barro en los márgenes del 'planter', para que el agua quede retenida dentro de ellas. Antiguamente utilizaban un caballo para 'patearlas', compactándolo para que el agua no se filtrase a través de dichas motas. En la actualidad algunos de estos diques se realizan de bloques y permanecen fijos.

Una vez hechos los márgenes, las balsas que conformaban el 'planter' se cubren de agua. Tras todo este proceso, el 'planter' queda preparado para la siembra del arroz.

A continuación, se resume la secuencia temporal del cultivo del arroz en La Albufera. En primer lugar, en forma de tabla, en donde se explican los procesos más relevantes en cada mes, y a continuación en forma gráfica, en donde se representa un esquema de las fases temporales del cultivo.

Meses	Situación del terreno	Labores del terreno
Enero	Agua retirándose de los campos, hasta quedar seco	Fanguejar (arar e incorporar rastrojo al terreno)
Febrero	Campos libres de agua	Preparación de la simiente Distribución de fertilizantes y laboreo
Marzo	Campos libres de agua	Descanso del terreno Laborde volteo del terreno. Distribución de insecticida
Abril	Campos libres de agua hasta final de mes	Preparación del terreno para la siembra
Mayo	Los campos se llenan a principio de mes	Pregerminación de la semilla Siembra a voleo a principio de mes
Junio	Sobre el 20 de junio, secado de los campos. A final de mes o principio de julio, nuevo llenado de los campos.	Salida de la planta embrionaria. Escarda del arroz salvaje.
Julio	Subida del nivel del agua unos 5-6 cm	Fertilización
Agosto	Nivel de agua bajo Se ralentiza el flujo de agua	Drenaje de los terrenos compactos Preparación para la recolección

Septiembre	Secado de los campos No drenaje	Recolección del grano, con los campos secos. Se puede prolongar a primeros de octubre
Octubre Noviembre Diciembre	Cierre de las compuertas de la Albufera, pasando el agua sobrante a los campos a través de las acequias	

Tabla 3.1. Cronología del cultivo del arroz en La Albufera y labores principales. Fuente: Elaboración propia

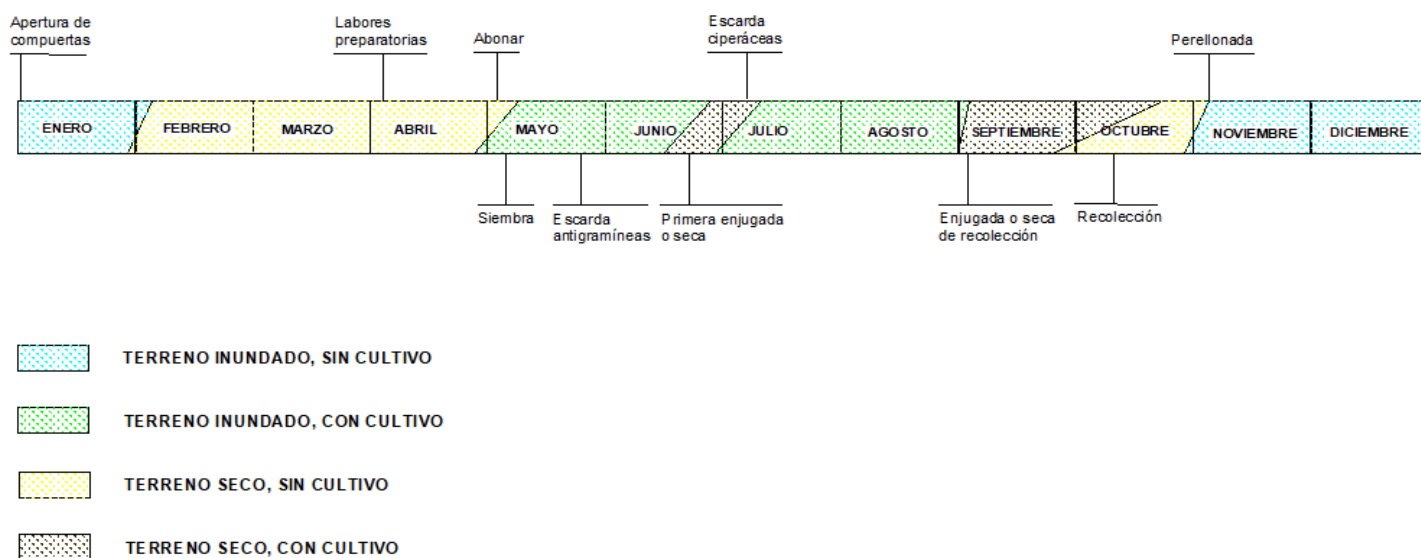


Figura 3.8. Esquema del ciclo temporal del cultivo del arroz en La Albufera de Valencia. Fuente: Elaboración propia

4. PROBLEMÁTICA

El principal problema que se presenta con esta forma de riego son los tiempos de residencia del flujo en el parcelario. Existen parcelas donde la renovación del flujo es constante y otras parcelas donde el agua queda estancada.

Todo ello es debido a la localización de los vertederos, ya que debemos recordar que el regadío se realiza de manera artesanal, a través de una acequia que aporta el agua necesaria a las parcelas de arrozal.

5. INTRODUCCIÓN AL MODELO ÍBER

Íber es un software hidrodinámico bidimensional para la simulación del flujo en lámina libre en ríos y estuarios.

Es un modelo matemático bidimensional desarrollado a partir de la colaboración del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de Coruña), del Grupo de Ingeniería Matemática (Universidad de Santiago de Compostela), del Instituto Flumen (Universitat Politècnica de Catalunya y Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria) y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Este modelo es desarrollado directamente desde la administración pública española, en colaboración con las universidades mencionadas y diseñado para ser especialmente útil a las necesidades técnicas específicas de las confederaciones hidrográficas en la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas. Es diseñado, fundamentalmente, para el estudio de calados y velocidades. Algunos de los campos de aplicación de la versión actual de Iber son (Fonseca, 2018):

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables. Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.
- Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.

Es un software gratuito que se puede descargar en su página web: www.iberaula.es.

5.1. Modelo numérico

El modelo hidrodinámico de Íber resuelve las ecuaciones de St.Venant bidimensionales, incluyendo los efectos de la turbulencia y el rozamiento superficial del viento. Además, emplea el método de volumen finito de alta resolución, utilizado en dinámica de fluidos computacional.

5.2. Condiciones de contorno

Iber distingue entre contornos cerrados (tipo pared) y contornos abiertos por los cuales entra y sale el agua del dominio de cálculo. En los contornos cerrados se puede imponer o una condición de deslizamiento libre o una condición de fricción de pared. Con la condición de deslizamiento libre se desprecia el rozamiento generado por los contornos sobre el fluido. Si se considera relevante el efecto del rozamiento generado por el contorno se debe utilizar una condición de contorno tipo fricción

Respecto a los contornos abiertos, se consideran diferentes alternativas en función del régimen hidráulico en el contorno. En los contornos de entrada se fija el caudal de agua y se asume que la dirección del flujo es perpendicular al contorno. En caso de que el flujo entre en régimen supercrítico, se impone adicionalmente el calado.

En los contornos de salida se impone el nivel de la lámina de agua en caso de que se produzca un régimen subcrítico, mientras que no es necesario imponer ninguna condición en el caso de que el régimen sea supercrítico.

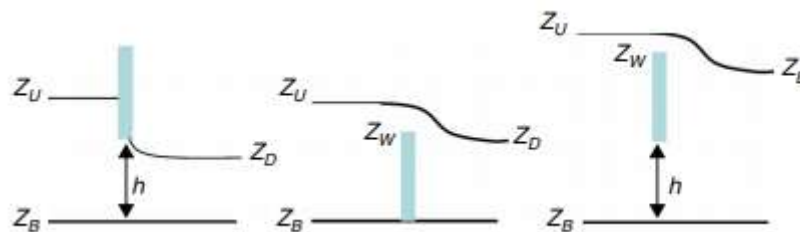


Figura 5.1. Definición esquemática de las variables utilizadas en la imposición de condiciones internas. Compuerta sin vertedero (izquierda), vertedero sin compuerta (centro) y combinación compuerta-vertedero (derecha). Fuente: (Blandé, 2014)

5.3. Condiciones internas

Las condiciones internas se utilizan para modelar estructuras hidráulicas tipo compuertas, vertederos o puentes que entran en carga. En estos casos las ecuaciones de St. Venant dejan de ser válidas por incumplirse las hipótesis de presión hidrostática y velocidad uniforme en profundidad, y por lo tanto es más adecuado calcular la relación entre el caudal y la pérdida de carga a través de dichas estructuras mediante ecuaciones de descarga específicas. En Iber se consideran condiciones internas de flujo bajo compuerta y de flujo sobre vertedero en lámina libre.

Compuerta - Libre	$(Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B) < 0,67$	$Q = C_{dg} B h \sqrt{2g(Z_U - Z_B)}$
Compuerta - Transición	$0,67 < (Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B) < 0,80$	$Q = C_{dg} B h \sqrt{6g(Z_U - Z_D)}$
Compuerta - Anegada	$(Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B) > 0,80$	$Q = C'_{dg} B h \sqrt{2g(Z_U - Z_D)}$
Vertedero - Libre	$(Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B) < 0,67$	$Q = C_{dw} B (Z_U - Z_w)^{1,5}$
Vertedero - Anegado	$(Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B) > 0,67$	$Q = 2,6 C_{dw} B (Z_D - Z_w)(Z_U - Z_w)^{0,5}$

Tabla 5.1 Ecuaciones utilizadas en las condiciones internas, siempre y cuando se cumpla $Z_U - Z_U > h$. Fuente: (Blandé, 2014)

5.4. Malla de calculo

Para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una discretización espacial del dominio a estudiar, para lo cual se divide en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo).

Iber trabaja con mallas tanto estructuradas como no estructuradas formadas por elementos que pueden tener 3 o 4 lados, combinados incluso dentro de la misma malla. La principal ventaja de trabajar con mallas no estructuradas es su facilidad de adaptación a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace especialmente indicadas para su utilización en hidráulica fluvial. (Polo)

5.5. Interfaz de preproceso y postproceso

La interfaz de Iber está realizada en base al programa GiD, desarrollado por el Centre Internacional de Mètods Numèrics en Enginyeria (CIMNE). GiD es un programa de preproceso y post proceso para simulaciones numéricas que está diseñado para ser adaptado y personalizado según los requisitos del modelo numérico.

Iber incorpora las capacidades estándar de mallado de GiD, como la creación de mallas estructuradas y no estructuradas, de triángulos y de cuadriláteros, mediante el uso de diversos algoritmos de mallado. Iber considera las superficies como entidades NURBS (Non Uniform Rational B-Splines). Este método puede proporcionar mallas de gran calidad cuando la superficie resultante está bien condicionada. Por el contrario, si el terreno tiene irregularidades importantes, como por ejemplo edificios, es posible que no se pueda representar como una superficie NURBS, o que su aproximación no sea adecuada y la superficie se pliegue sobre sí misma, produciéndose por lo tanto errores en el mallado. Para topografías que presentan irregularidades o complejidades se implementó la metodología de creación de geometrías en formato RTIN (Regular Triangular Irregular Network) (Blandé, 2014).

6. ELABORACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

6.1. Dimensiones del sistema

A continuación, se exponen las dimensiones generales del sistema, así como la localización de la acequia la cual aporta agua al parcelario.

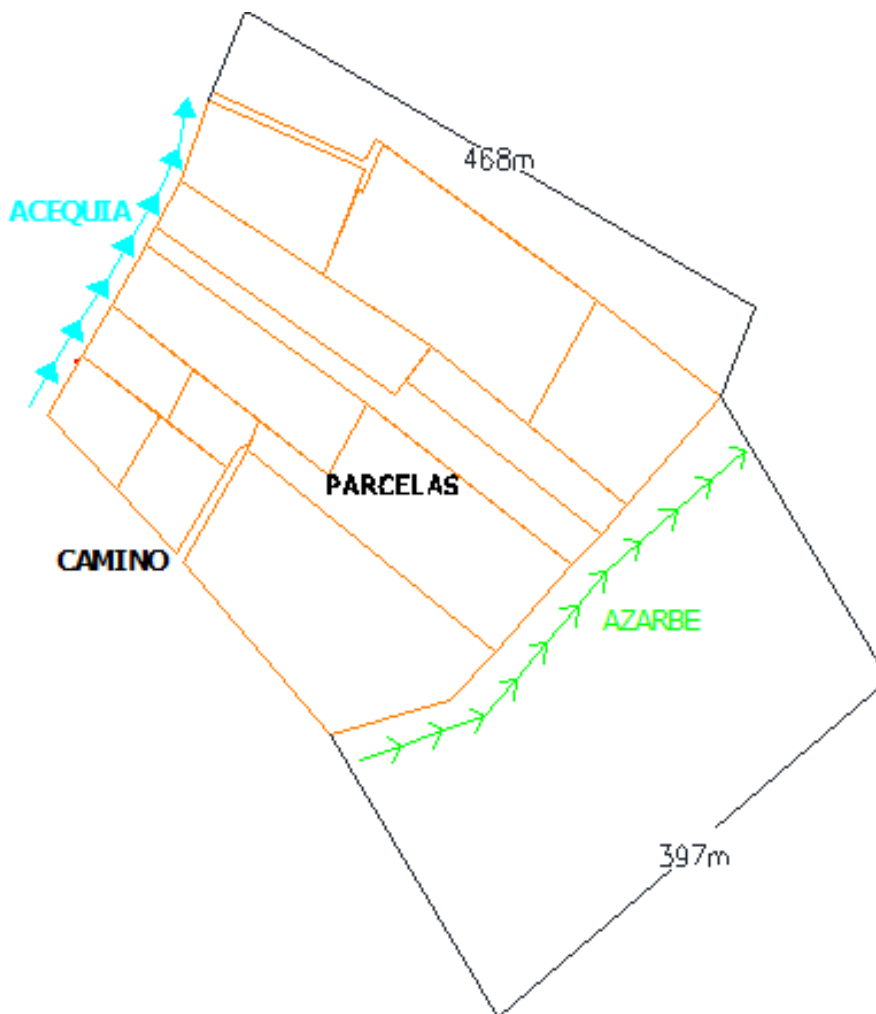


Figura 6.1. Dimensiones principales del sistema. Fuente: Elaboración propia

6.2. Esquema de funcionamiento y conexión entre parcelas

En la siguiente figura se adjunta un esquema donde se detalla el funcionamiento y la conexión entre parcelas.

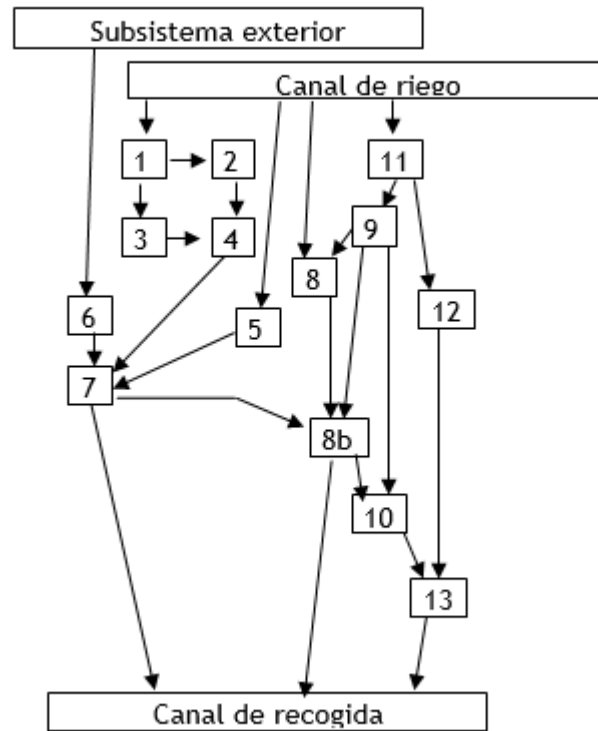


Figura 6.2. esquema de funcionamiento y conexión entre parcelas. Fuente: Elaboración propia

6.3. Descripción del modelo físico

Este apartado tiene como objetivo determinar qué parcelas componen la zona de arrozal seleccionada, su superficie, cómo se distribuyen, y establecer una numeración de las mismas.

El conjunto de parcelas escogido se encuentra bordeado al oeste y norte por acequias. La situada al norte, de mayor anchura, recoge el agua procedente de la del oeste. Las entradas de caudal a los campos de arrozal se producen desde el canal situado al oeste. El canal que discurre pegado al este del sistema es un azarbe encargado de recoger el agua que retorna de los campos. En cuanto al límite situado al sur, está constituido por un camino

En la siguiente figura, se adjunta el criterio de numeración de las parcelas:

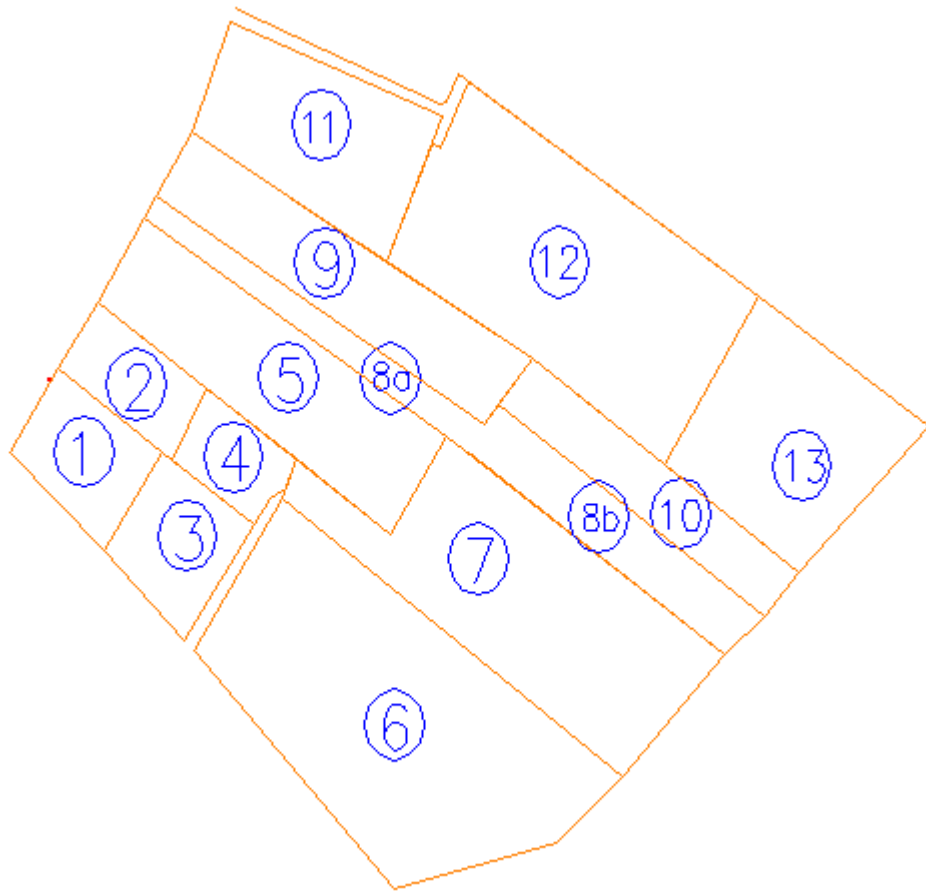


Figura 6.3. Numeración del parcelario. Fuente: Elaboración propia

Para confirmar la idoneidad del sistema de parcela seleccionado se realizó una visita a campo. Además, se corrigieron imprecisiones detectadas en los planos y se realizaron todo tipo de mediciones con el objetivo de obtener la información necesaria para alimentar el modelo.

De la visita a campo se concluyó que las parcelas seguían, en la mayoría de los casos, el esquema del plano del término municipal de Sollana. Sin embargo, en algunos casos las parcelas no coincidían con el plano del término municipal.

Estos cambios es normal que se produzcan a menudo, debido a que los límites entre parcelas no son rígidos la mayoría de veces, ya que los límites entre parcelas suelen estar constituidos por motas de tierra ligeramente elevadas para cerrar el paso del agua. Estas motas pueden colocarse allí donde se quiera materializar una separación entre parcelas, y a su vez, pueden excavar y hacer que desaparezcan fácilmente, si se pretende unir dos campos previamente separados. Dada esta movilidad, es lógico que

no coincidieran del todo los límites presentados en el plano con los límites en el momento en que se realizó la visita de campo.

Con las parcelas actuales, se calculó su área así como la cota a la que se encuentra cada una de ellas y su perímetro:

Nº PARCELA	ÁREA (m²)	COTA PARCELA (m)	PERÍMETRO(m)
1	4220.32	1.84	263.18
2	3330.15	1.78	244.08
3	4373.68	1.80	265.05
4	2633.77	1.75	209.67
5	11669.55	1.72	534.90
6	24367.06	1.77	664.37
7	17515.73	1.67	686.08
8a	3417.04	1.68	463.54
8b	5760.82	1.65	430.47
9	9446.59	1.72	546.45
10	5791.24	1.60	447.50
11	9490.50	1.76	411.87
12	20230.00	1.58	611.53
13	11306.58	1.49	428.56

Tabla 6.1. Características del parcelario. Fuente: Elaboración propia

La parcela nº 8 se ha dividido en dos parcelas 8a y 8b debido a que tienen cotas diferentes, aun así en el modelo se le ha dado continuidad como una única parcela, tal y como se encuentra en la realidad.

6.4. Datos geométricos

Los datos geométricos constituyen la base para un correcto conocimiento del sistema.

Se debe medir la anchura de los vertederos, a partir de estos, se producirán las entradas y salidas de caudal en la acequia. Además, se debe conocer la cota de cada una de las parcelas.

También se debe medir la altura de las motas de tierra, que tienen como función impedir el rebose de agua y actúan como barrera al paso del agua. Por otro lado, se debe conocer el caudal que aporta la acequia a los vertederos para el regadío del arroz.

Tras las mediciones de campo se han obtenido los siguientes valores:

Anchura de los vertederos	0.3 m
Altura de las motas de tierra	0.5-0.6 m
Caudal de entrada	10 l/s

Tabla 6.2. Datos geométricos del sistema. Fuente: Elaboración propia

6.5. Datos propios de la modelización

Además de los datos procedentes de la medición directa en campo, el modelo requiere información adicional necesaria para su ejecución, que se comentará en este subapartado. Para ello, se identificarán todos los condicionantes hidráulicos del sistema así como sus variables.

6.5.1. Condiciones de contorno de entrada

Las condiciones de contorno de entrada son aquellas que se han establecido para establecer el caudal que aporta la acequia al vertedero.

Para establecer esta condición de contorno Íber necesita los siguientes datos:

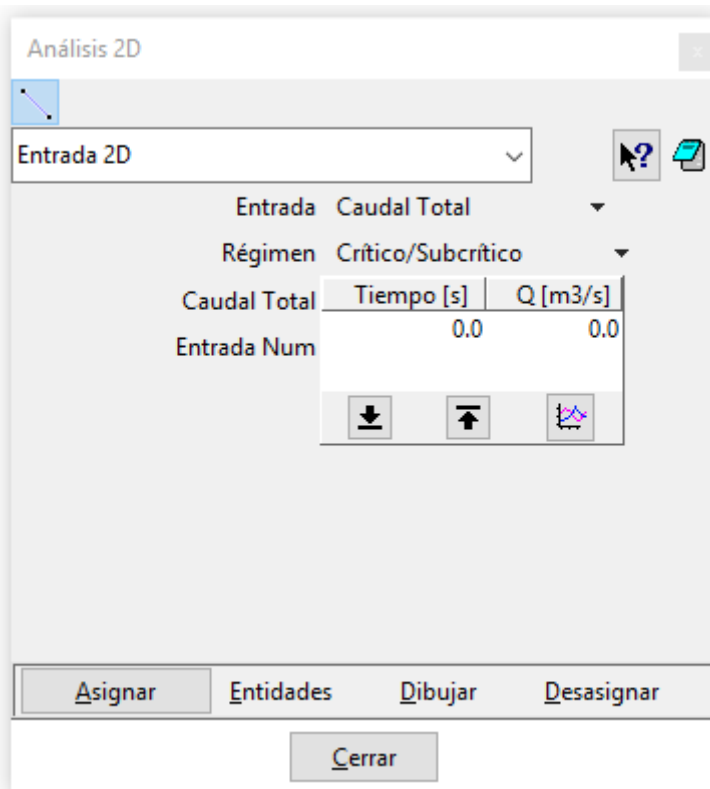


Figura 6.4. Condiciones de contorno de entrada. Fuente: Íber

Para ello, se ha asignado a todos los vertederos de entrada un caudal igual a $Q_{\text{entrada}} = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$, un régimen subcrítico y entrada de caudal total, puesto que se está simulando con un tipo de caudal constante.

6.5.2. Condiciones de contorno de salida

Las condiciones de contorno de salida son aquellas que se han establecido para transportar todo el agua de regadío sobrante al azarbe.

Para establecer esta condición Íber necesita los siguientes datos:

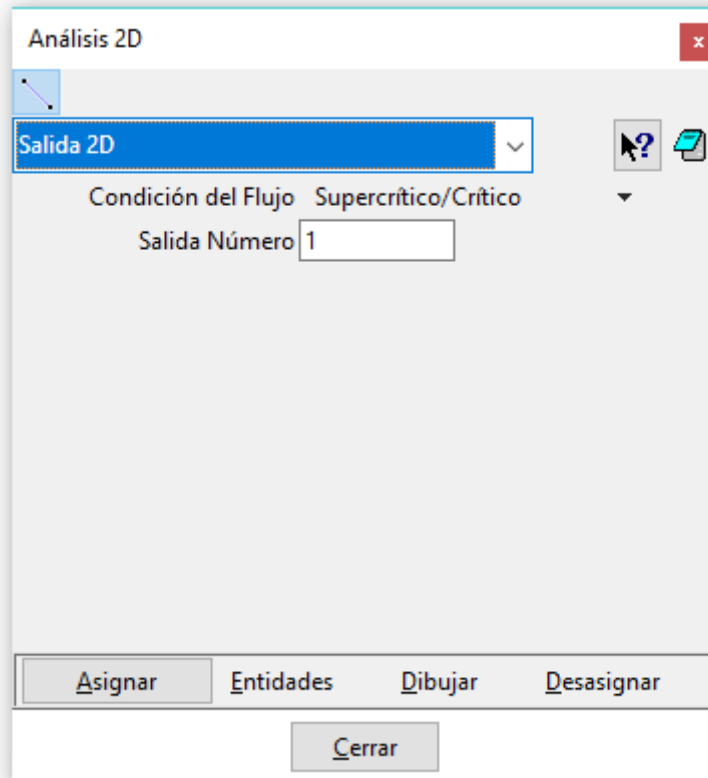


Figura 6.5. Condiciones de contorno de salida. Fuente: Íber

Para la condición de salida el único dato necesario para su modelización es la condición de **régimen subcrítico**.

6.5.3. Condiciones de contorno internas.

Con esta condición de contorno se ha establecido el paso del agua entre los vertederos internos así como los muretes entre parcelas.

Para ello, se ha escogido la condición de contorno interna tipo vertedero, con esta condición Íber considera una ecuación de desagüe para vertedero rectangular, que puede funcionar libre o anegado. Íber entiende que entre dos líneas con condiciones internas existe un vertedero por el que circula el agua.

Para establecer esta condición se le han introducido al programa los siguientes datos:

Tipo c Vertedero	
Cota vertedero	2
Porcentaje longitud vertedero	100
Cd vertedero	1.7

Figura 6.6. Condiciones de contorno internas. Fuente: Íber

Los datos requeridos para la simulación de las condiciones internas son los siguientes:

- Cota vertedero: Cota que ha de alcanzar la lámina de agua para que exista vertido. En este caso, se ha adoptado una **cota de vertedero igual a 2 m**, de esta manera a la hora de la simulación nunca existirá vertido.
- Porcentaje longitud vertedero: Longitud del vertedero como un porcentaje del lado, no como longitud absoluta. En este caso, se ha optado por un **porcentaje de longitud de vertedero de 100**, ya que la línea designada ocupará al 100% la longitud del muro designado para impedir el paso de agua.
- Cd vertedero: Por defecto se toma un **coeficiente de descarga de 1.7**.

6.5.4. Condiciones iniciales

Para que el programa pueda simular es necesario fijar unas condiciones de contorno iniciales, ya sea el calado o la cota del agua. En este caso se ha asignado un **calado inicial de 0,08 m.**

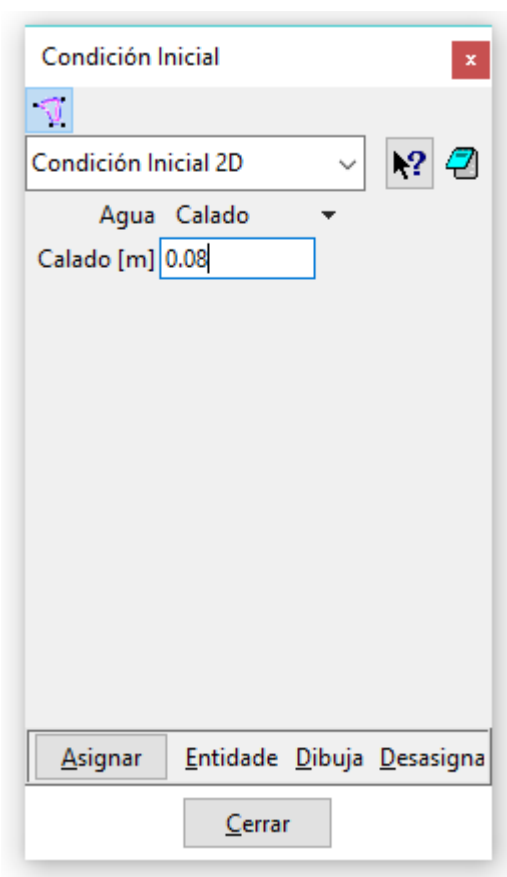


Figura 6.7. Condición inicial. Fuente: Íber

6.5.5. Rugosidad del suelo

Para poder realizar la simulación es necesario establecer un uso del suelo, para esta modelización se ha implementado un coeficiente de **Rugosidad de Manning igual a 0,025**, valor mínimo que se asocia a cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica en áreas sembradas.

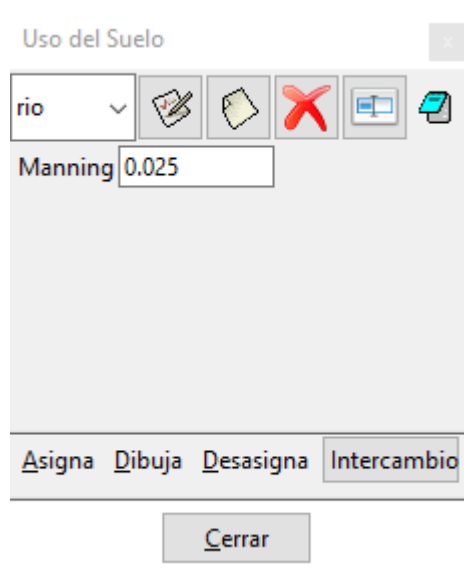


Figura 6.8. Condiciones de uso del suelo: Fuente: Íber

6.6. Elaboración del modelo nº1

Para crear el modelo en primer lugar, se importó el parcelario desde un archivo dwg. Al importarlo, Íber no detectaba las líneas que delimitaban las parcelas como un contorno cerrado para poder crear, en dicho contorno, una superficie. Tras este primer inconveniente, se decidió introducir las coordenadas de los vértices de las parcelas, y sus puntos más relevantes, así como la posición de los vertederos existentes.

Respecto al sistema de coordenadas, durante todo el proyecto se trabaja en coordenadas locales y no en coordenadas UTM, puesto que lo que se pretende es estudiar y optimizar el comportamiento del parcelario, independientemente de su localización.

Todos los puntos se crearon a cota 0, una vez creada cada superficie correspondiente a un parcelario, se elevó a su cota correspondiente.

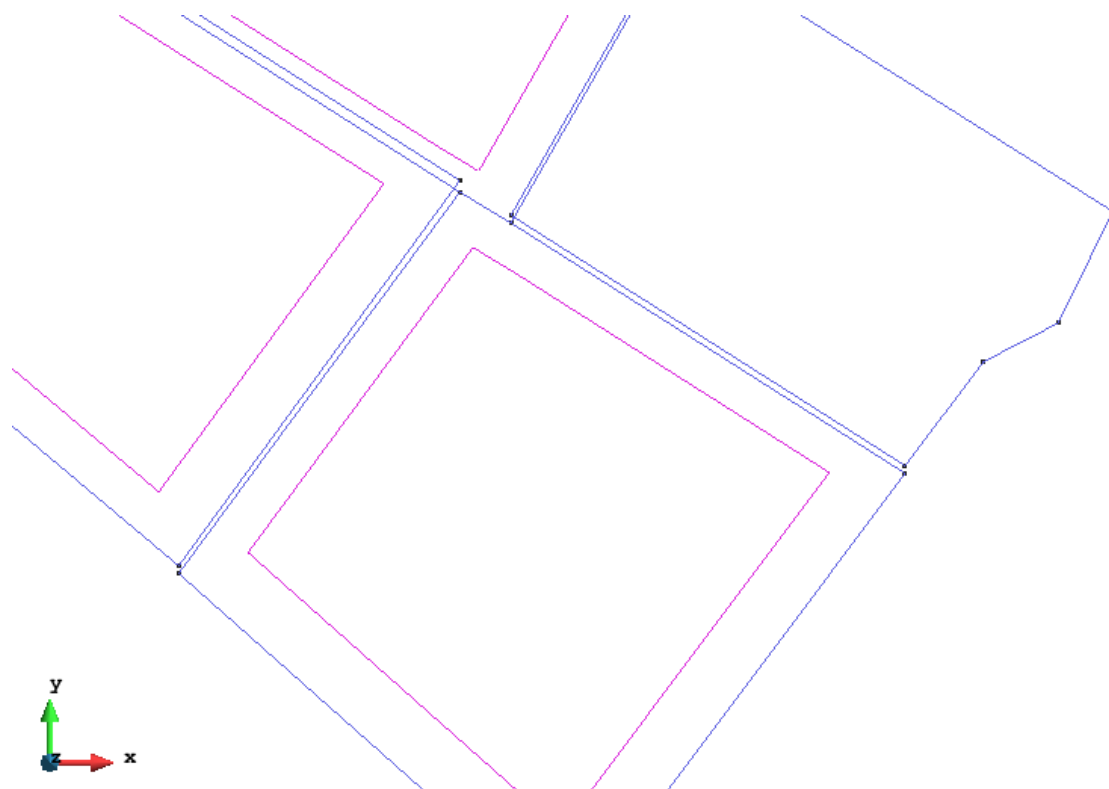


Figura 6.9. Creación de parcelas en Íber. Fuente: Elaboración propia

Una vez creadas todas las parcelas y todos los vertederos existentes, el siguiente paso fue la creación de los muretes. Para ello, se crearon muretes de 0,5 m de ancho y 1 m de altura.

Para crear los muretes, se han realizado paralelas a los lados de las parcelas una vez realizados, se crearon superficies en todas las caras de los muretes, puesto que por ahí está impedido el paso del agua. También, se unió de manera vertical el salto entre parcelas.

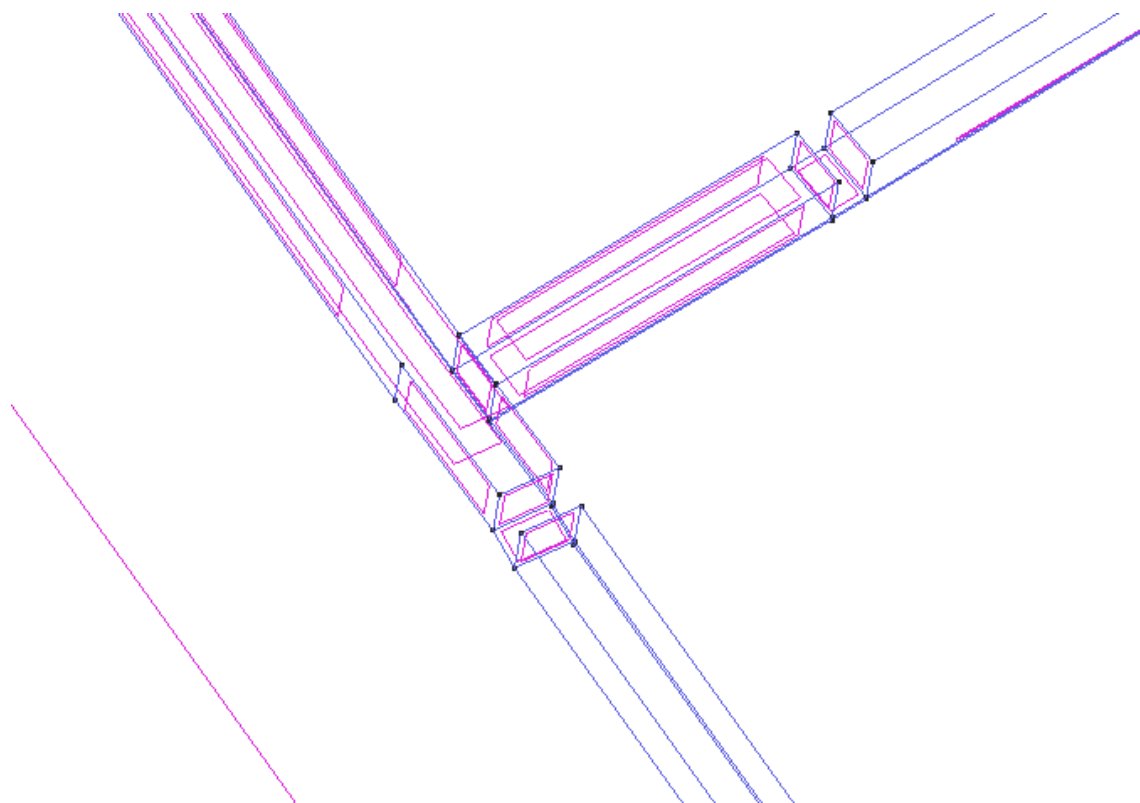


Figura 6.10. Creación de los muretes en Íber. Fuente: Elaboración propia

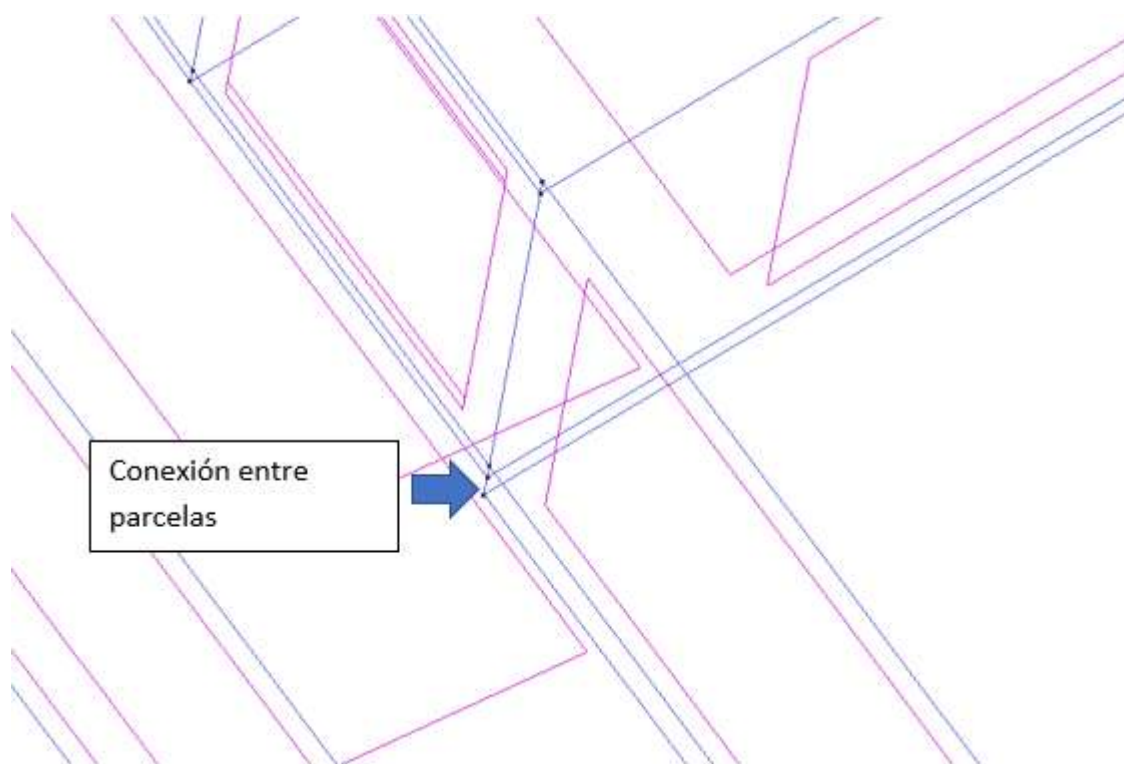


Figura 6.11. Conexión entre parcelas de distinta cota en Íber. Fuente: Elaboración propia

Una vez creado el modelo, el siguiente paso fue el mallado de este. En la creación del mallado aparecieron varios errores como el número de Courant, cociente entre el intervalo de tiempo y el tiempo de residencia en un volumen finito.

Esto es debido a que el modelo no converge, ya que genera “minitriángulos” o triángulos excesivamente alargados, donde un lado es claramente más grande que los otros dos. Esto proporcionaba un error en el mallado y, en consecuencia, impedía el cálculo del modelo.

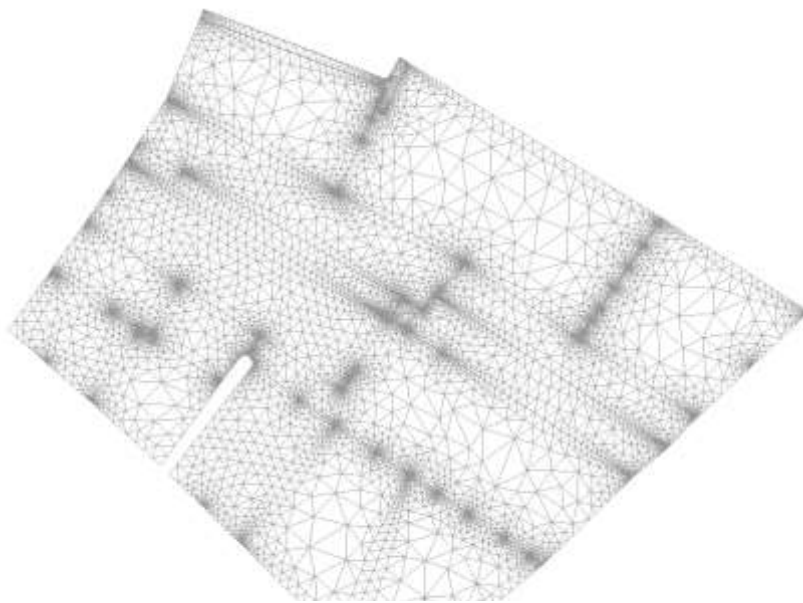


Figura 6.12. Mallado del modelo. Fuente: Elaboración propia

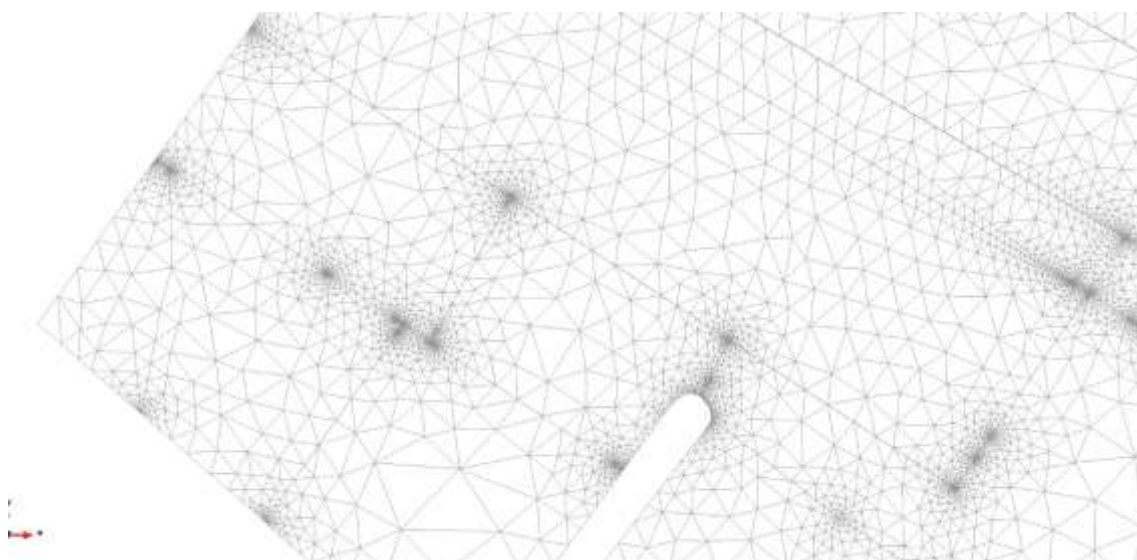


Figura 6.13. Detalle mallado de las parcelas, número de Courant. Fuente: Elaboración propia

El error en el número de Courant es advertido por el programa en el proceso de cálculo de la siguiente manera:

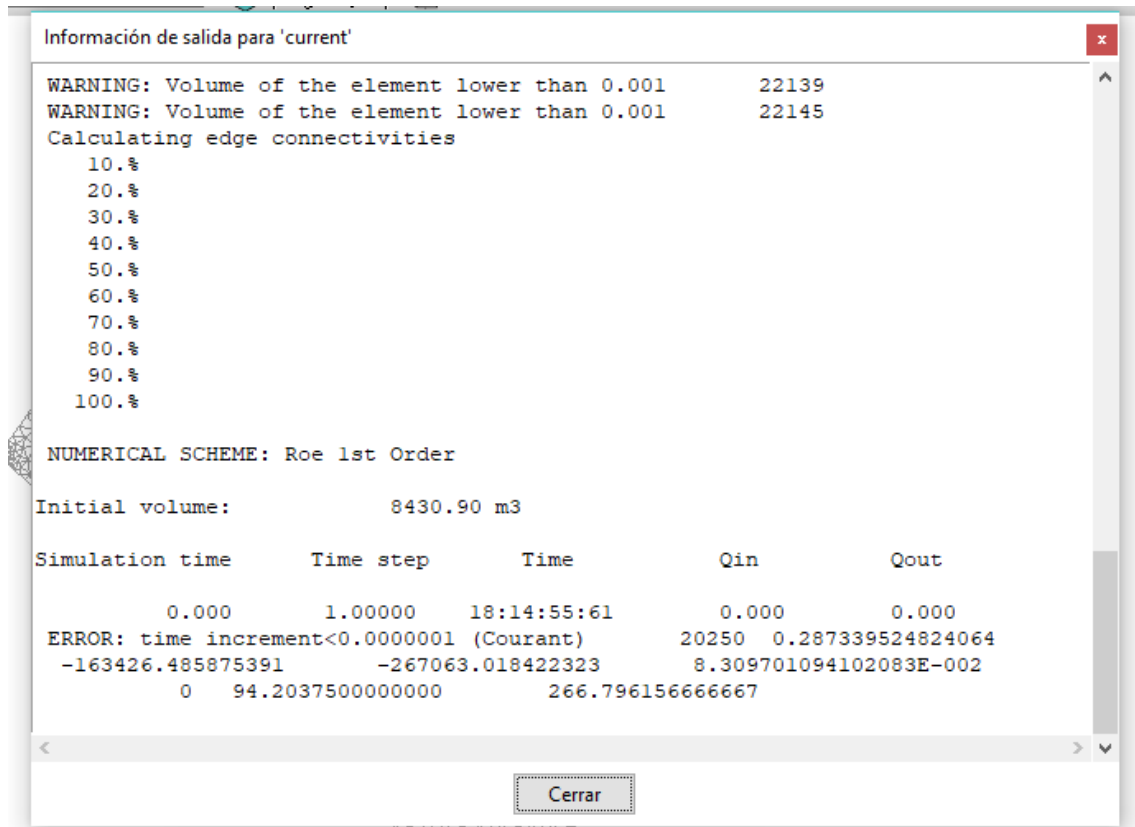


Figura 6.14. Ventana de error del número de Courant. Fuente: Elaboración propia

Una vez que aparece este error el programa deja de calcular, por lo que es necesario crear una nueva malla donde todos los triángulos converjan o, probablemente, se trate de un error en la geometría del modelo que debe de ser subsanado. En este caso particular, el programa no calculaba debido al solapamiento de áreas y líneas en la creación de los muretes.

6.7. Elaboración del modelo nº2

Debido a la problemática explicada en el apartado anterior y a la no ejecución del programa, se optó por la creación de un nuevo modelo. En este nuevo modelo, se crearon las parcelas como en el modelo anterior, es decir, todos los puntos se crearon a cota 0, una vez creada cada superficie correspondiente a un parcelario, se elevó a su cota correspondiente.

La primera diferencia con el modelo anterior es que la transición entre la diferencia de cota de las parcelas colindantes no se realiza de manera vertical y brusca, sino que se realiza mediante una leve pendiente. Para evitar la problemática de los

muretes verticales entre parcelas, se realizó la conectividad de las parcelas con una suave inclinación. De esta manera, se eliminó una de las problemáticas del modelo anterior que era el escalón brusco entre parcelas creando una rampa de pendiente suave, ya que tener dos puntos sobre la misma vertical generaba problemas.

A continuación, se adjunta la diferencia entre ambos modelos, comparados en el mismo punto:

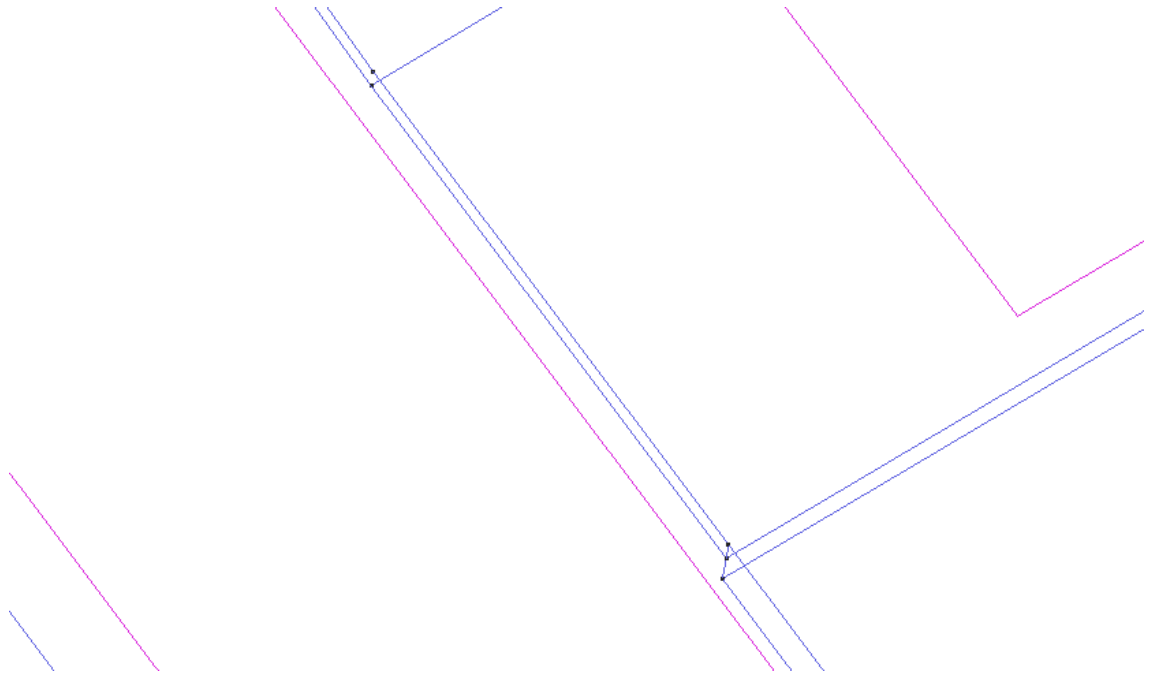


Figura 6.15. Escalón brusco entre parcelas, modelo 1. Fuente: Elaboración propia

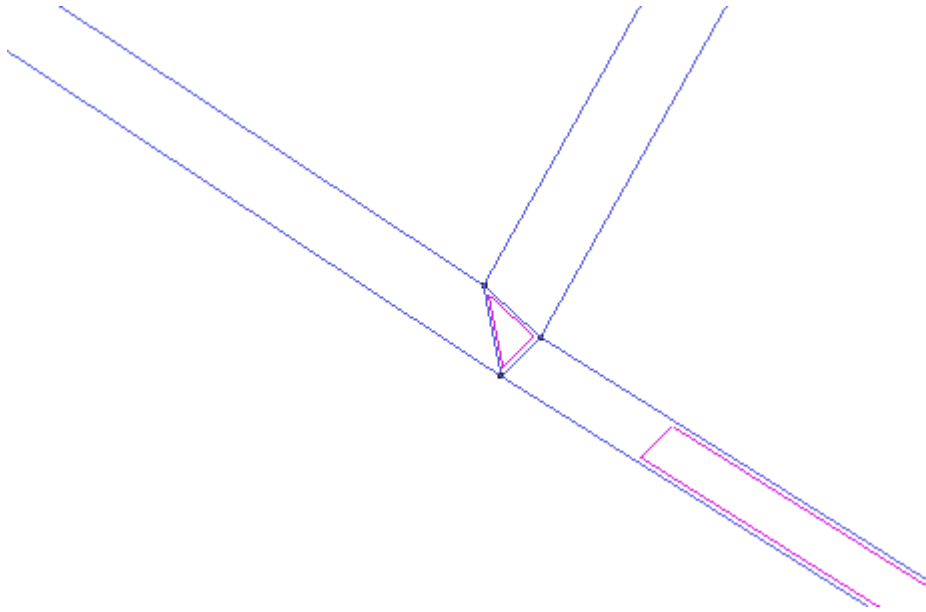


Figura 6.16. Pendiente suave entre parcelas, modelo 2. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, mientras que la conexión entre 3 parcelas en el modelo 1 se realiza mediante la creación de dos muros verticales que conecten entre sí, en el modelo 2 se resuelve la conexión entre dichas parcelas mediante un triángulo cuyos lados están formados por unas pendientes suaves.

Con esta solución se consigue simplificar el modelo, ya que el sistema cuenta con menos líneas y superficies por lo que el procesado del mismo resulta más sencillo para Íber.

Otro problema que se detectó fue el solapamiento de superficies en la creación de los muretes, de manera que Íber era incapaz de procesar la información que se le estaba dando.

Para ello, se establecieron las condiciones internas. Dicha condición interna, cumple la misma función que el murete, ya que la línea en la cual se establece la condición impide el paso del agua.

De esta manera, además de evitar los problemas de solapamiento de áreas también se evitaron los problemas de mallado. Estableciendo la condición interna, Íber no realiza un sistema de mallado, sino que al establecer la cota de la altura de vertedero Íber entiende que en esa línea hay una pared a la cota establecida, en este caso en particular, se crea una pared de altura 2 m.

Al establecer esta condición interna, el programa entiende que hasta el agua no supure el umbral establecido no lo conecta con la celda de abajo, evitando de esta manera el mallado y dándole la función de murete que se pretende.

En las figuras siguientes se muestran las diferencias entre la creación de muretes del modelo 1 y el modelo 2:

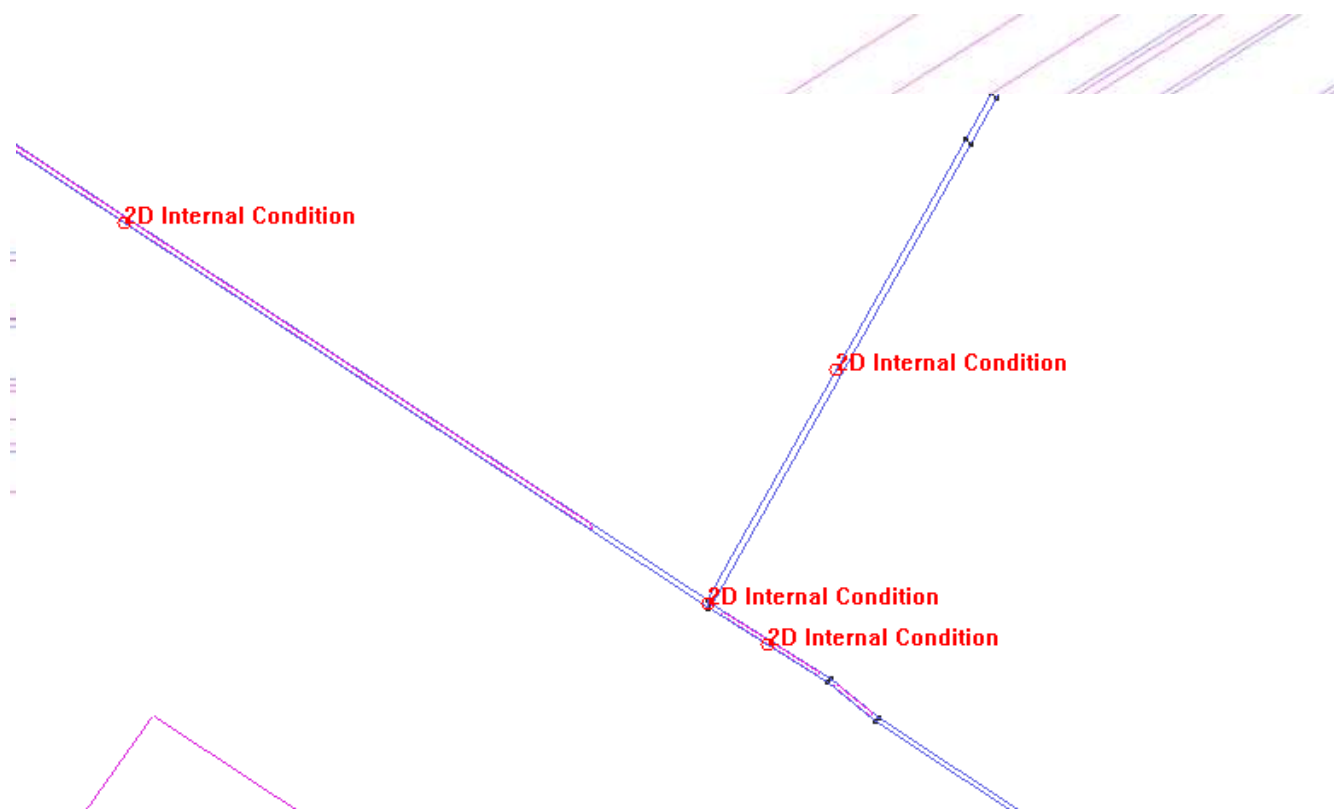


Figura 6.18. Elaboración de muretes mediante condición interna, modelo 2. Fuente: Elaboración propia

De este modo se consigue simplificar el modelo al no crear el mallado y disminuir la cantidad de puntos, líneas y superficies del modelo.

6.7.1. Descripción final del modelo actual

Una vez creado el modelo como se ha especificado en este apartado queda conformado de la manera que a continuación se detalla:

Condiciones de entrada:

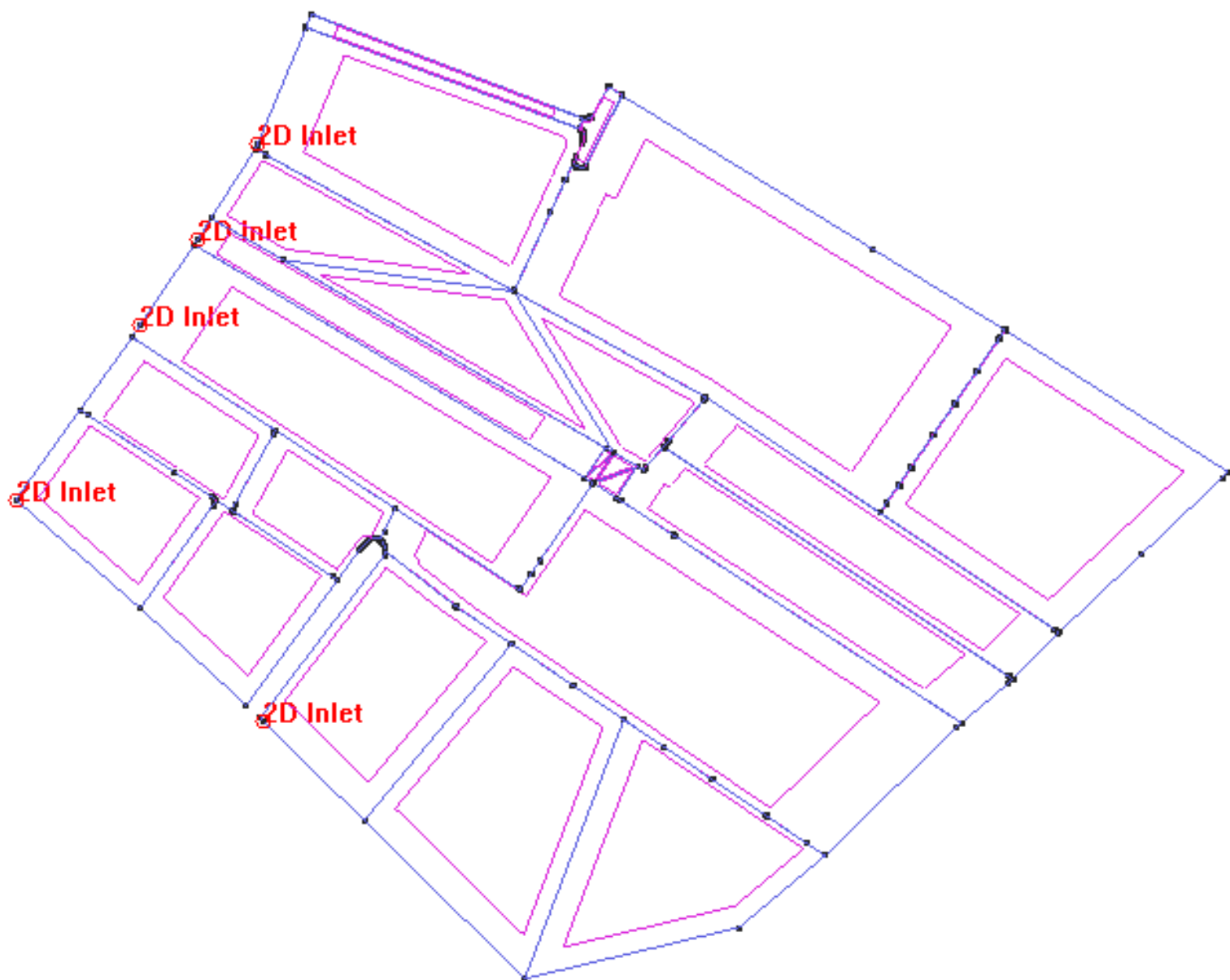


Figura 6.19. Condiciones de entrada modelo 2. Fuente: Elaboración propia

Condiciones de salida:

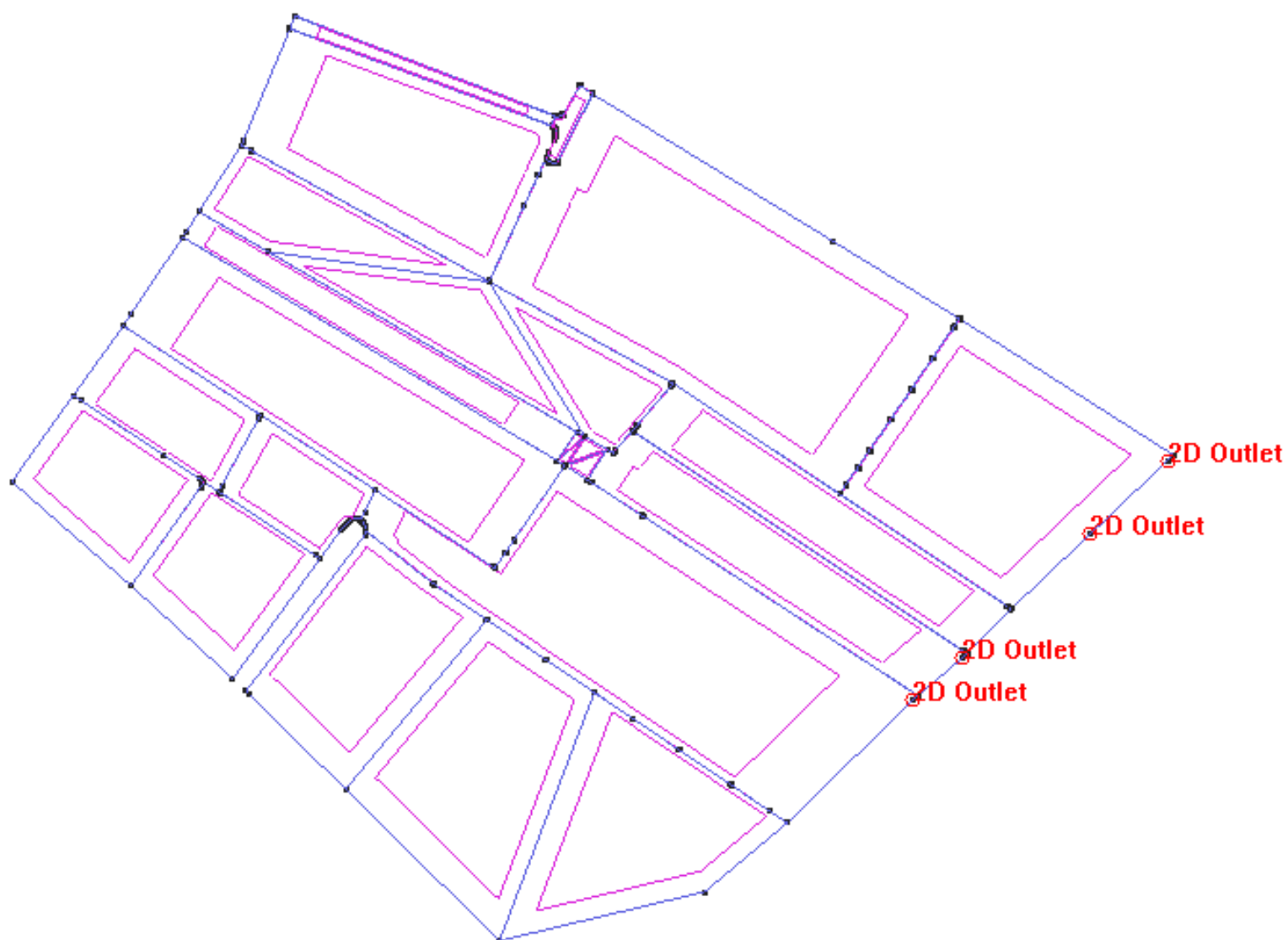


Figura 6.20. Condiciones de salida modelo 2. Fuente: Elaboración propia

Condiciones internas:

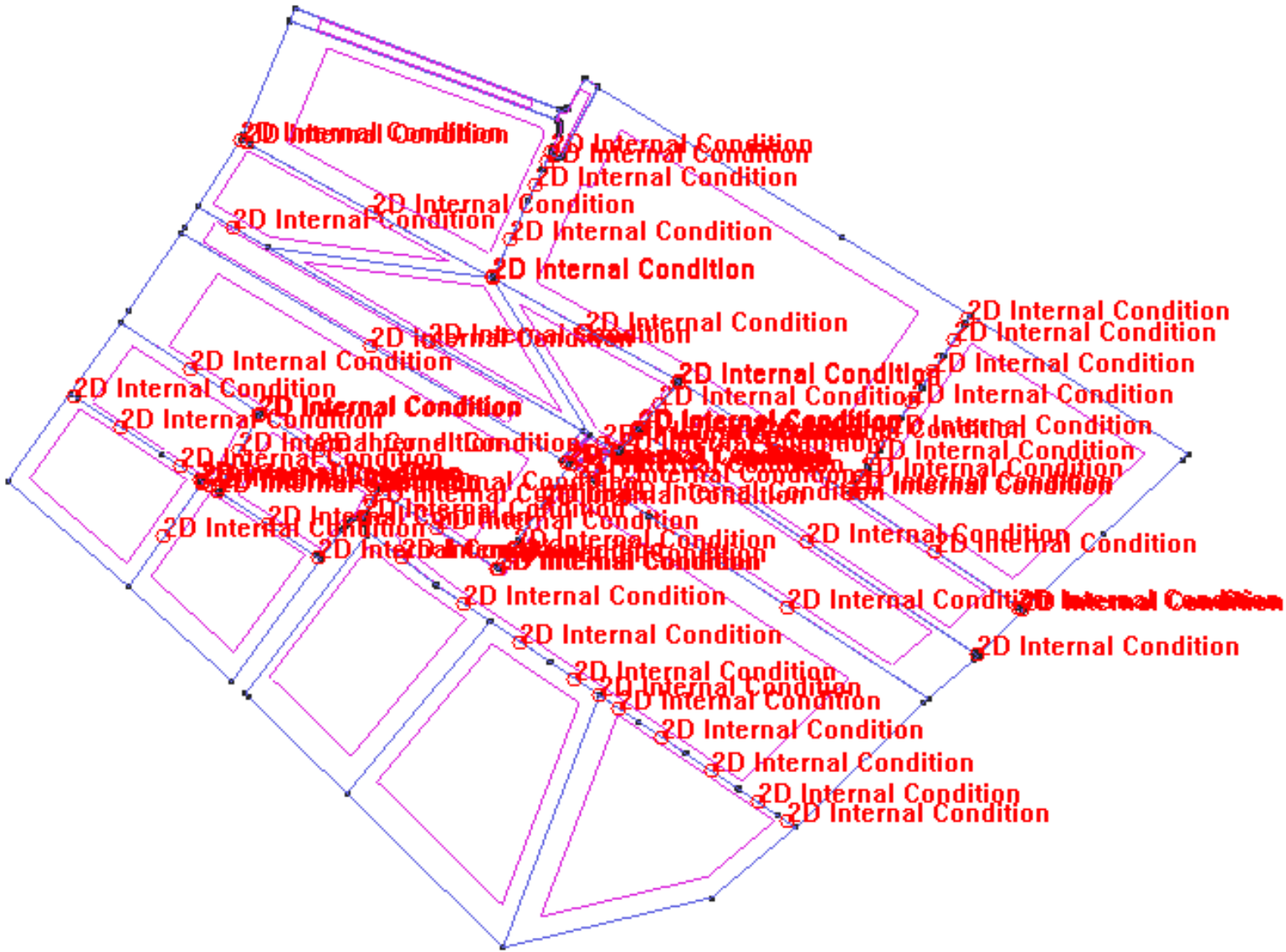


Figura 6.21. Condiciones internas modelo 2. Fuente: Elaboración propia

6.8. Interpretación de resultados

El programa Íber muestra los resultados a través de un fichero txt, mediante un fichero ráster. En Íber aparece la siguiente ventana para poder realizar la exportación y análisis de resultados:

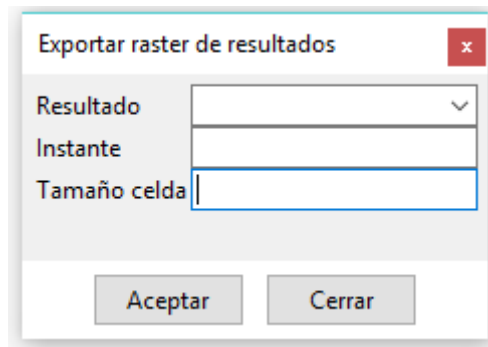


Figura 6.22. Ventana exportación de resultados en Íber. Fuente: Elaboración propia

En Íber se pueden exportar varios resultados como son: calado, cota del agua, velocidad, velocidad x, velocidad y, descarga, caudal específico x, caudal específico y, Froude, diámetro crítico, peligrosidad, Manning, terreno, lluvia, erosión, cota de fondo, transporte de fondo, arrastre fondo x, arrastre fondo y, k, Epsilon, viscosidad turbulenta, sedimentos suspensión y máximos.

En este caso, se exportan los resultados de la velocidad, resultados que vienen dados en m/s.

Además, se puede elegir el instante de exportación de los resultados, en este caso es el paso 500 puesto que es un sistema de riego continuo. Por otro lado, se debe elegir el tamaño de celda que en este caso es de 1x1 m.

Una vez generado el archivo ráster con todos los condicionantes expuestos se genera un archivo txt con un tamaño de celda de 1 (CELLSIZE 1.000), un número de columnas igual a 555 (NCOLS 555) y un número de filas igual a 441 (NROWS 441).

Este txt tiene su origen en la esquina inferior izquierda del fichero, así lo indican los valores: XLLCENTER 28.620470, YLLCENTER 30.877520.

Además, existen celdas donde no existe ningún valor dichas celdas vienen definidas por: NODATA_VALUE -9999.

6.8.1. Antecedentes

Como se observará posteriormente, el programa Íber colorea el parcelario según los resultados de velocidad obtenidos. Por lo que, en primer lugar, se exportaron los resultados obtenidos al programa ArcGIS donde se encontraron varias problemáticas.

En primer lugar, el programa de georreferenciación no reconocía las parcelas como polígonos cerrados por lo que fue necesario superponer el parcelario de resultados del programa Íber, archivo txt, al parcelario creado en AutoCad mediante polilínea, contorno cerrado.

Una vez subsanada esta problemática, al programa ArcGIS le costaba mucho obtener con exactitud los intervalos de velocidades y el área que ocupaban cada una de estas velocidades puesto que la diferencia entre ellas oscila en la mayoría de los casos en un valor inferior a 0,1m.

Dada la robustez que supondría utilizar este programa para el análisis de resultados, puesto que existen varias alternativas y su procesado sería muy lento, se optó por la creación de un programa en el cual se obtiene la media de las velocidades a nivel de parcela, así como a nivel de parcelario.

6.8.2. Procesado de los resultados

Dada la extensión del fichero txt generado se ha programado un programa para el análisis de resultados. Para su programación se han seguido los siguientes pasos:

En primer lugar, se pide al usuario que nos dé el fichero ráster generado por el programa Íber, así como el número de filas de la matriz y los ocho números que representan las coordenadas de las cuatro esquinas de la parcela. Dichas coordenadas deben ser introducidas en el siguiente orden: esquina superior izquierda, esquina superior derecha, esquina inferior izquierda y esquina inferior derecha.

Una vez introducidos estos datos, se obvian las primeras seis líneas del archivo, puesto que estas líneas no introducen ningún resultado simplemente nos proporcionan las características des txt generado.

A continuación, se calculan las cuatro coordenadas anteriormente citadas que representan las cuatro esquinas de la parcela. Con estos cuatro puntos se realizan las comprobaciones que se encuentran programadas entre la línea 40 y 59 de las siguientes figuras:

```
1 package paquete;
2
3 import java.io.BufferedReader;
4
5 public class Main {
6
7     private static BufferedReader br;
8     private static String linea;
9
10    public static void main(String[] args) throws IOException {
11        // TODO Auto-generated method stub
12        String[] argumentos = new String[4];
13        InputStreamReader isr = new InputStreamReader(System.in);
14        br = new BufferedReader(isr);
15        System.out.println("Introduzca la ruta del fichero de entrada(C:\\ruta\\carpeta\\ejemplo.extension):");
16        argumentos[0] = br.readLine();
17        String respuesta="S";
18        System.out.println("Introduzca el numero de filas de la matriz de coordenadas:");
19        int filas=Integer.parseInt(br.readLine());
20        while(respuesta.equals("S")){
21            System.out.println("Introduzca los puntos (1 2 3 4 5 6 7 8):");
22            argumentos[1] = br.readLine();
23            File archivo = new File(argumentos[0]);
24            String coordenadas = argumentos[1];
25            String[] puntos = coordenadas.split(" ");
26            int[] esquinas = new int[8];
27            for (int i = 0; i < 8; i++) {
28                esquinas[i] = Integer.parseInt(puntos[i]);
29            }
30            FileReader fr = new FileReader(archivo);
31            br = new BufferedReader(fr);
32            for (int i = 0; i < 6; i++) {
33                br.readLine();
34            }
35            int FS,FI,CI,CD;
36            if(esquinas[0]<=esquinas[2]){
37                FI=esquinas[0];
38            }
39        }
40    }
41 }
```

Figura 6.24. Ruta de programación nº1. Fuente: Elaboración propia

```
42     }else{
43         FI=esquinas[2];
44     }
45     if(esquinas[4]>=esquinas[6]){
46         FS=esquinas[4];
47     }else{
48         FS=esquinas[6];
49     }
50     if(esquinas[1]<=esquinas[5]){
51         CI=esquinas[1];
52     }else{
53         CI=esquinas[5];
54     }
55     if(esquinas[3]>=esquinas[7]){
56         CD=esquinas[3];
57     }else{
58         CD=esquinas[7];
59     }
60     double area = 0;
61     double contador=0;
62     int a=28+filas-1;
63     while ((linea = br.readLine())!=null) {
64         String[] splitlinea = linea.split(" ");
65         if((a<=FS && a>=FI)){
66             for(int i=CI;i<CD;i++){
67                 if(!splitlinea[i].equals("-9999.00")){
68                     System.out.print(splitlinea[i]+" ");
69                     area=area+(Double.parseDouble(splitlinea[i]));
70                     contador++;
71                 }
72             }
73         }
74     }
```

Figura 6.23. Ruta de programación nº2. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las comprobaciones, se han guardado en las variables FI, FS, CI y CD, correspondientes a las cuatro coordenadas de las esquinas. Con estas cuatro variables se crea una superficie rectangular, muy aproximada al área de la parcela, que es el área que se va a calcular.

Una vez definida la superficie a calcular se va leyendo el fichero línea por línea, los puntos que estén dentro de esta área que no contengan el valor -9999 se añaden el número al conteo del área, se suma su valor has leer todos los valores contenidos en dichos valores.

Todos los valores encontrados en la celdas distintos a -9999 se han ido guardando en la variable área, estos valores han sido sumados y divididos por la variable contador, la cual ha ido contando todos los valores distintos a -9999 encerrados en el área.

Por último, se muestra la media de la velocidad a través de la división entre las variables área/ contador. Una vez mostrada la media, se le pregunta al usuario si desea continuar o no calculando otro valor en el mismo fichero ráster introduciendo la letra S (si) o N (no).

6.8.3. Introducción de resultados

Para la obtención de resultados en el programa, se han obtenido las siguientes coordenadas, las cuales serán introducidas en todos los modelos para obtener de esta manera una comparación exhaustiva de la diferencia de velocidad tanto a nivel de parcela como a nivel de parcelario:

Nº de parcela	Coordenadas (X, Y)			
	<i>Esq. Sup. izquierda</i>	<i>Esq. Sup. derecha</i>	<i>Esq. Inf. izquierda</i>	<i>Esq. Inf. derecha</i>
1	(29, 250)	(58, 291)	(86, 200)	(120, 250)
2	(58, 291)	(82, 324)	(127, 245)	(147,281)
3	(86, 200)	(120, 250)	(134, 156)	(176, 213)
4	(127, 245)	(147, 281)	(176, 213)	(202, 246)
5	(82, 324)	(110, 366)	(259, 208)	(292, 257)
6	(140, 150)	(198, 226)	(261, 31)	(398, 87)

7	(195, 231)	(293, 257)	(398, 87)	(461, 148)
8a	(110, 366)	(118, 378)	(305, 249)	(315, 263)
8b	(305, 249)	(325, 274)	(461, 148)	(484, 168)
9	(118, 378)	(138, 410)	(315, 263)	(344, 296)
10	(325, 274)	(345, 296)	(484, 167)	(505, 189)
11	(138, 410)	(161, 465)	(256, 345)	(288,417)
12	(256, 345)	(306, 434)	(423, 244)	(481, 327)
13	(423,244)	(481, 327)	(505, 189)	(583, 262)
Parcelario	(29, 250)	(161, 465)	(261, 31)	(583, 262)

Tabla 6.3. Coordinadas parcelas para programa. Fuente: Elaboración propia.

Con todo ello y dada la extensión que supone la interpretación de resultados, en el Anejo nº2 se expone a modo de ejemplo la ruta seguida en la obtención de las velocidades del modelo actual.

7. SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN SITUACIÓN ACTUAL

Una vez elaborado el sistema actual con todos los antecedentes anteriormente expuestos, así como sus dimensiones, se procede a su simulación. Para ello, se procederá a estudiar la velocidad del sistema en m/s, ya que el objetivo del presente estudio es mejorar los tiempos de residencia del flujo en el parcelario.

En primer lugar, se recuerda la numeración del parcelario objeto de estudio ya que la optimización del modelo se pretende tanto a nivel global como a nivel de parcela.

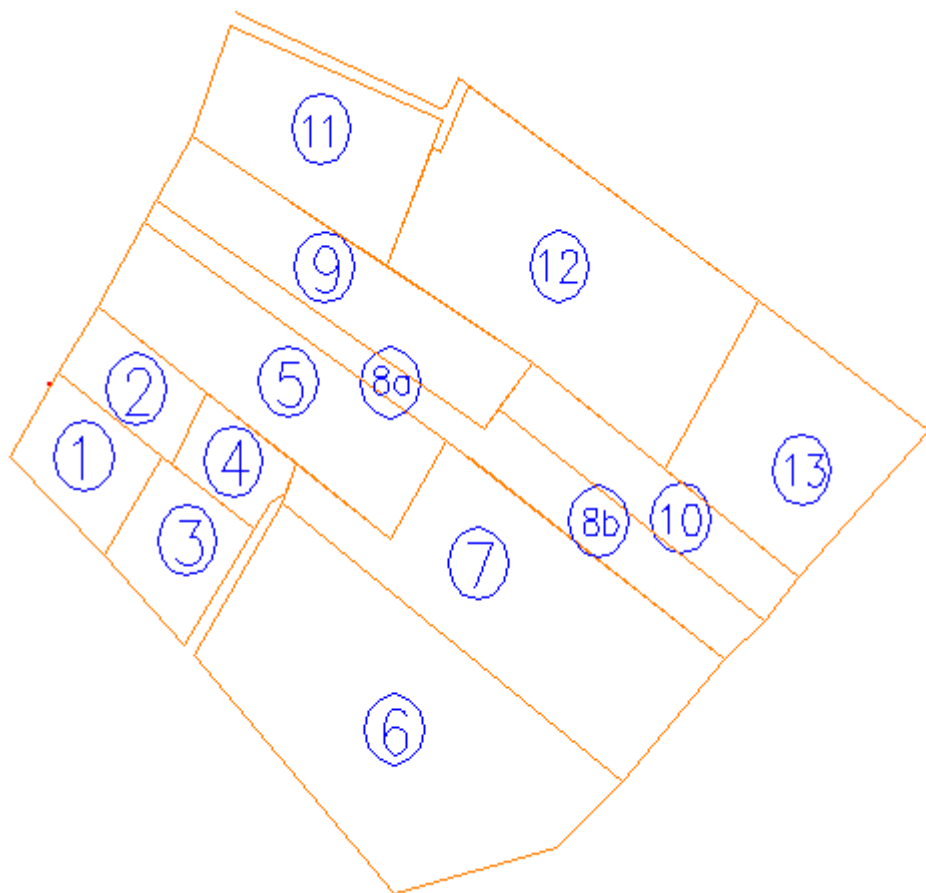


Figura 7.1. Numeración del parcelario. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se adjunta la simulación hidráulica del parcelario en situación actual. Puesto que la velocidad del flujo es muy pequeña para poder apreciar los cambios que se producen en el modelo se adjunta una figura con la velocidad del flujo en escala logarítmica decimal, para que visualmente sea apreciable dicha variación.

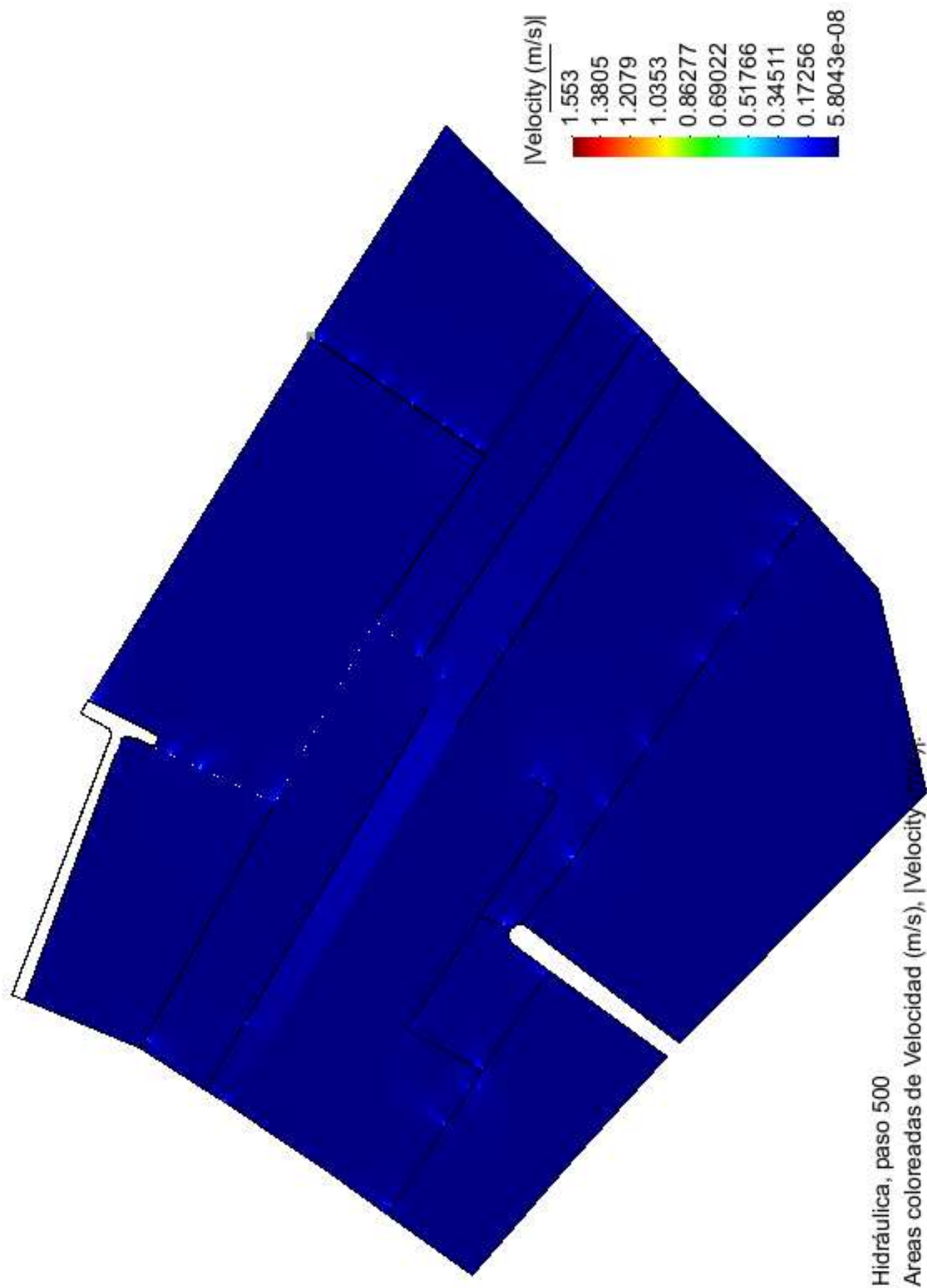


Figura 7.2. Velocidad en m/s, situación actual paso 500. Fuente: Elaboración propia

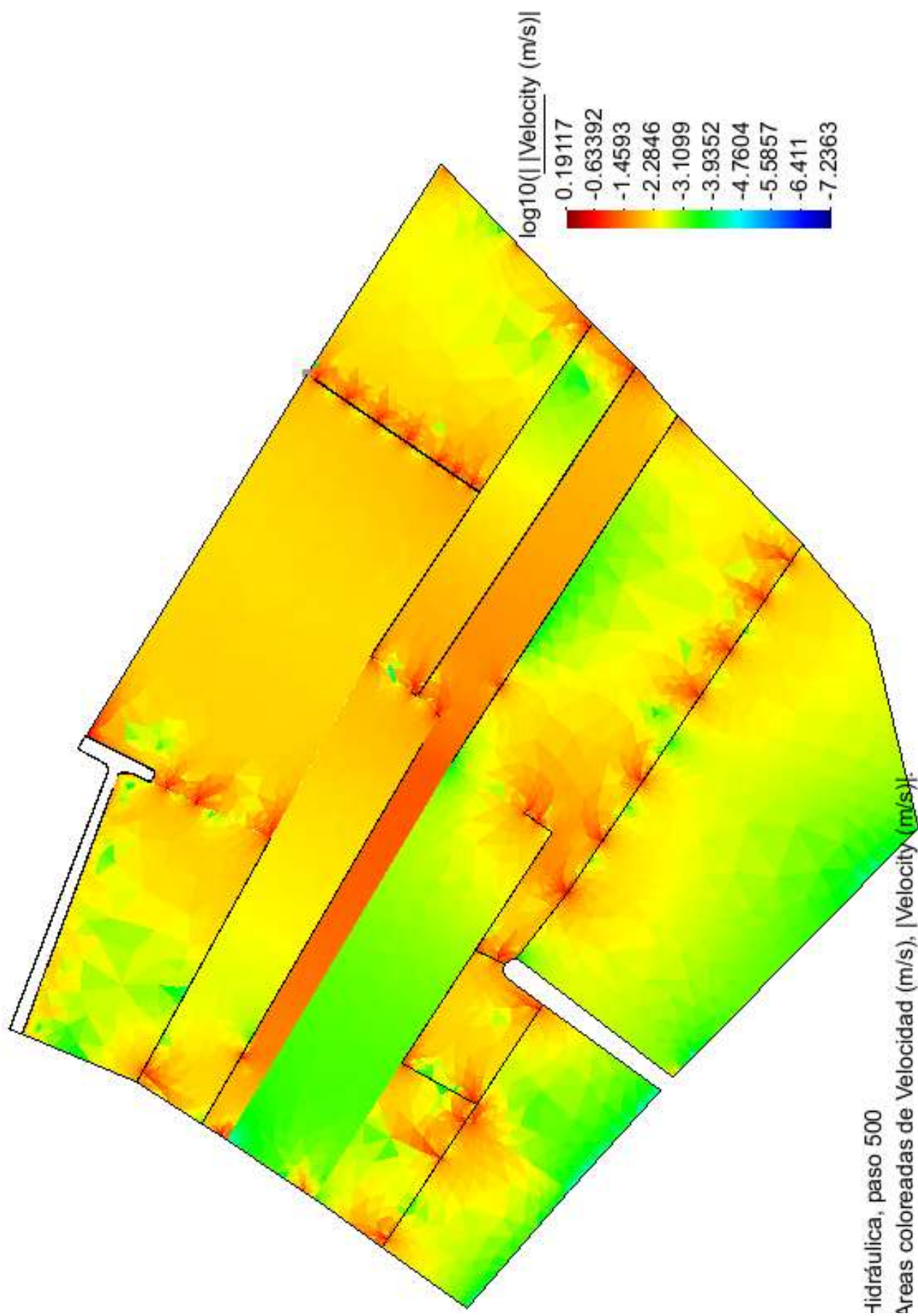


Figura 7.3. Velocidad log10 en m/s, situación actual paso 500. Fuente: Elaboración propia.

7.1. Interpretación de resultados

Tras la simulación hidráulica se han obtenido los siguientes resultados de velocidad:

Análisis de resultados: SITUACIÓN ACTUAL	
Nº de parcela	Velocidad (m/s)
1	2.409316021951546E-5
2	0.0034430379746836774
3	9.006322318978747E-4
4	0.008099845201238482
5	0.010192872997778464
6	0.0065110941086446794
7	0.00886647983184699
8a	0.01057349288778378
8b	0.008667324169389765
9	0.009850092942374038
10	0.008364472123370175
11	0.008716961618018788
12	0.012920392326778047
13	0.012603648424543938
Parcelario	0.00784880888682586

Tabla 7.1. Análisis de resultados: SITUACIÓN ACTUAL. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las parcelas que presentan una menor velocidad de flujo y, por tanto, un mayor tiempo de residencia del mismo son las parcelas nº1 y nº3.

En contraposición las parcelas que mejor regeneración del flujo tienen son las parcelas nº12, 13 y 5.

8. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Para la optimización del parcelario se plantean varias alternativas que pretenden mejorar el funcionamiento del sistema.

8.1. Alternativa nº1: Aumentar tamaño de los vertederos internos actuales

Con el aumento de tamaño de los vertederos internos actuales se pretende mejorar los tiempos de residencia del flujo. Para ello, se plantea aumentar la anchura de los vertederos en la ubicación actual.

Con esta alternativa se intuye que el sistema mejorará levemente.

8.2. Alternativa nº2: Cambiar condición de contorno de entrada

Con esta alternativa se pretende mejorar el funcionamiento del sistema a través de los vertederos de entrada, es decir, esta solución pretende cambiar únicamente la ubicación de los vertederos de entrada sin modificar el caudal entrante, se recuerda que este caudal es de 20 l/s.

Con esta alternativa se intuye que el sistema mejorara escasamente, ya que lo único que se ha cambiado es la ubicación de los vertederos.

8.3. Alternativa nº3: Cambiar condición de contorno de salida

Cambiando la condición de contorno de salida se pretende mejorar el funcionamiento del sistema mediante un sistema de desagüe más eficaz. Para ello, se plantea mejorar esta condición aumentando la anchura de los vertederos de desagüe en su misma ubicación.

Con esta alternativa se intuye que el sistema mejorara levemente, ya que lo único que se mejora es el ancho de los vertederos de desagüe siendo la interacción entre parcelas la misma.

8.4. Alternativa nº4: Cambiar ubicación de vertederos internos

Con esta alternativa se pretende mejorar el funcionamiento del parcelario, para ello se pretende cambiar la ubicación de los vertederos internos, mejorando de esta manera los tiempos de residencia del flujo entre las parcelas.

Por otro lado, en esta alternativa también se plantea el incremento de vertederos, opción que mejorará de manera eficaz el funcionamiento del sistema.

Como se puede intuir, esta alternativa resultará la más efectiva para mejorar el funcionamiento del sistema, puesto que se mejoran las conexiones internas del parcelario.

9. DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

En este apartado se describen todos los escenarios propuestos para la mejora del sistema, especificando las modificaciones realizadas en cada escenario propuesto con respecto al estado actual del parcelario.

Dichos modelos se han numerado con dos números, el primero de ellos indica el tipo de alternativa, es decir, aumento de tamaño de los vertederos internos, cambio en las condiciones de contorno de entrada, cambio de condiciones de contorno de salida o cambio de ubicación de los vertederos internos.

9.1. Modelo 1.1

En este modelo se ha ampliado la anchura de los vertederos que a continuación se indican al doble:

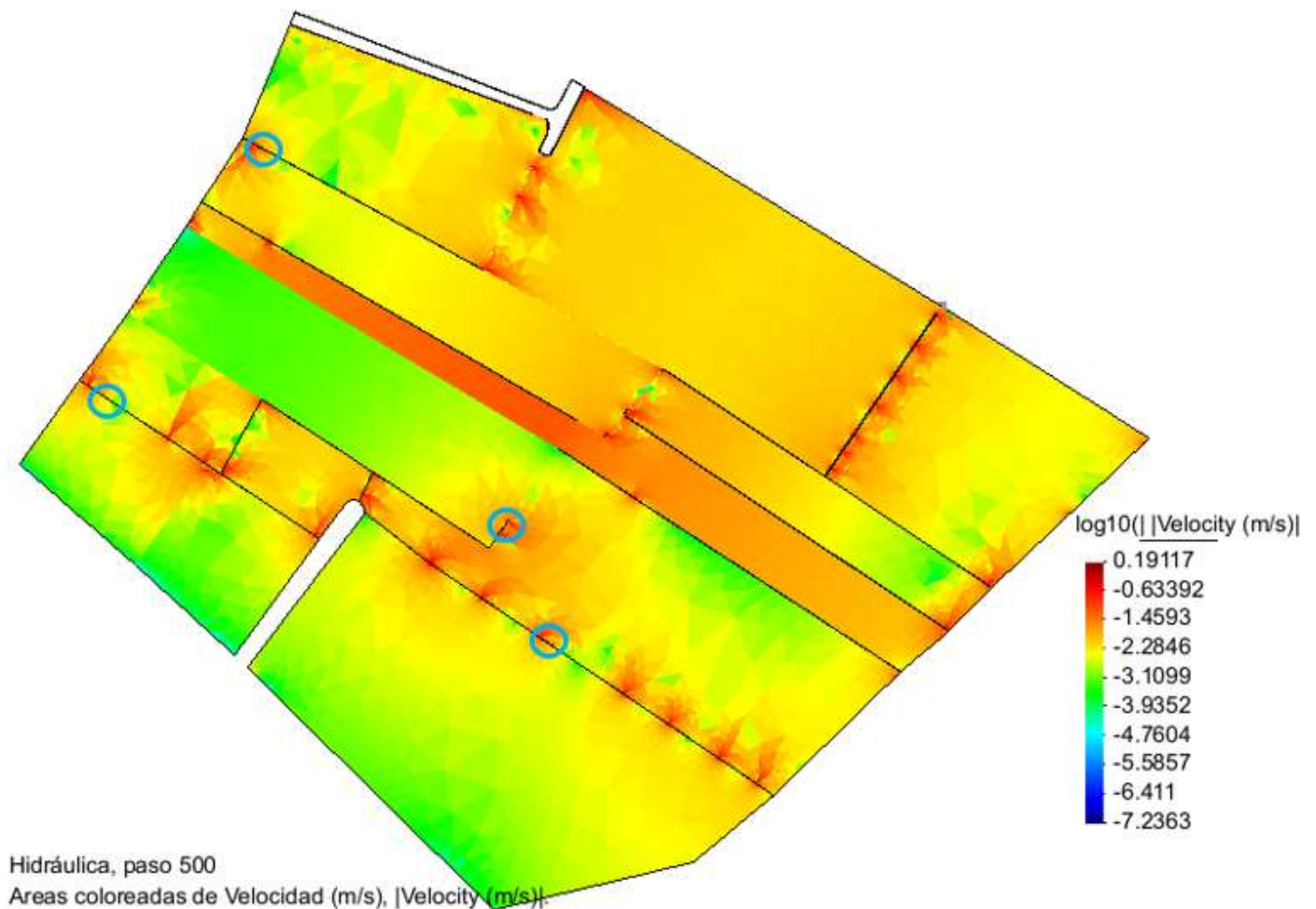


Figura 9.1. Modificaciones modelo 1.1. Fuente: Elaboración propia

Con esta modificación, los vertederos pasan de tener una anchura de 0,3 m a tener el doble, es decir, los vertederos indicados tienen ahora una anchura de 0,6m. Puesto que el ancho de los vertederos es mayor la interconexión entre parcelas será mejor.

9.2. Modelo 2.1

En este modelo se han modificado la ubicación de los vertederos de entrada. A continuación, se indican los vertederos modificados así como su nueva ubicación. En la figura siguiente aparece en granate y en discontinuo la ubicación actual de los vertederos y en azul la nueva ubicación de los mismos, tomada en cuenta para la elaboración del nuevo modelo:

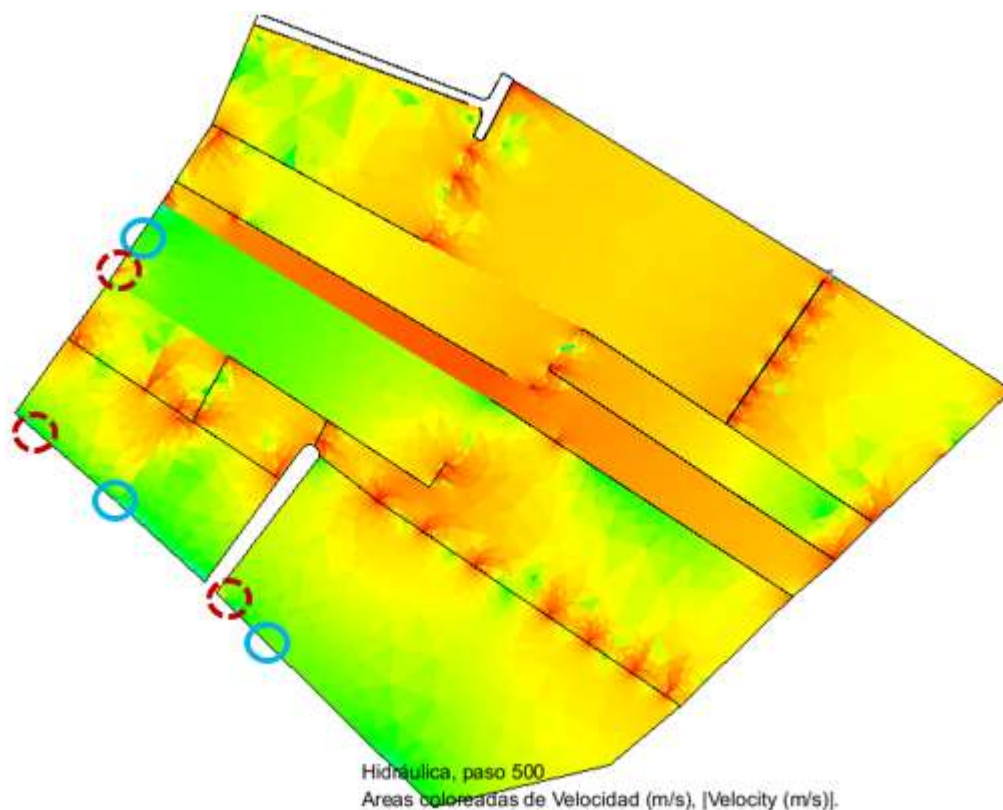


Figura 9.2. Ubicación de los vertederos de entrada modificados modelo 2.1. Fuente: Elaboración propia

Con esta modificación, se pretende optimizar la entrada de flujo con el mismo caudal entrante y el mismo ancho, simplemente cambiando la ubicación de los vertederos de entrada.

9.3. Modelo 3.1

En este modelo se ha modificado la ubicación de los verteros de salida, en la figura siguiente se indican los vertederos modificados, y su nueva ubicación. En granate y en discontinuo aparece la ubicación actual de los vertederos y en azul la nueva ubicación de los mismos, tomada en cuenta para la elaboración del nuevo modelo.

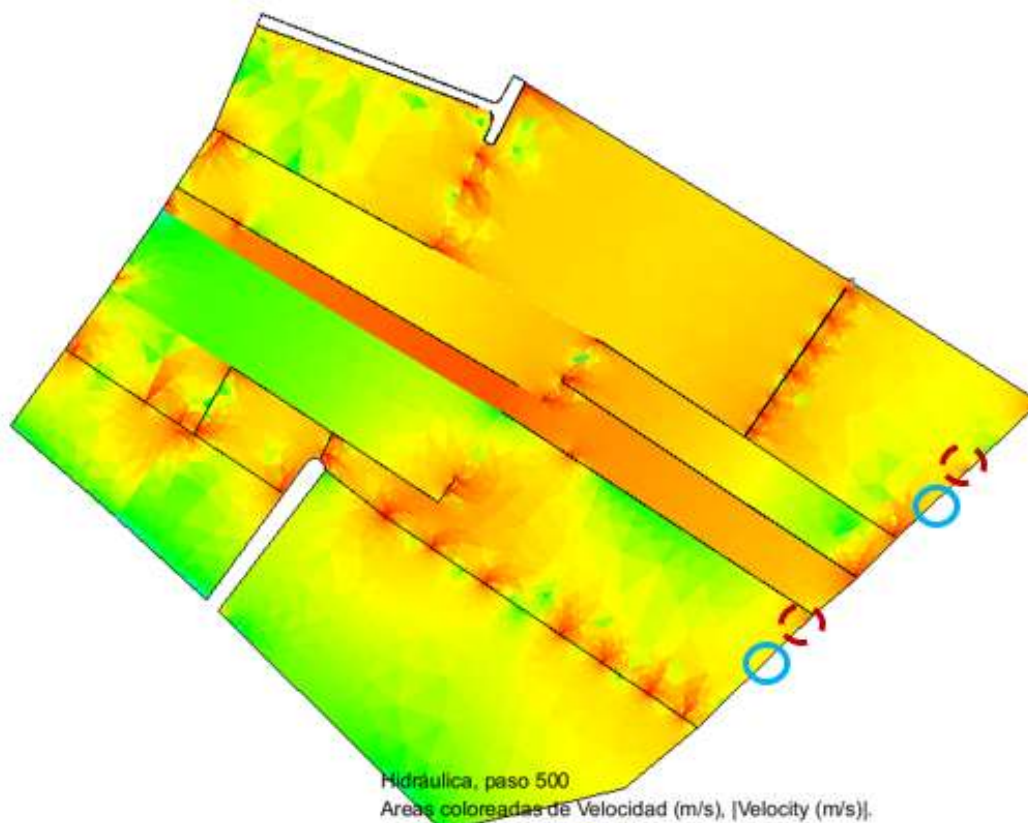


Figura 9.3. Ubicación de los vertederos de salida modificados, modelo 3.1. Fuente: Elaboración propia

Con esta modificación, en la que únicamente se ha cambiado la ubicación de los vertederos de salida, se pretende una mejor evacuación del flujo creando corrientes internas entre las parcelas que permitan mejorar los tiempos de residencia del flujo.

9.4. Modelo 4.1

En este modelo se ha modificado la localización de un vertedero y creado dos nuevos vertederos con la intención mejorar los tiempos de residencia de las primeras parcelas del sistema, es decir, las parcelas nº 1, 2, 3, 4 y 5 puesto que son las más desfavorables.

Por ello, en la figura siguiente se adjuntan las modificaciones realizadas, en granate y en discontinuo aparece la ubicación actual de los vertederos y en azul la nueva ubicación de los mismos, por otro lado, en negro aparece la creación de los nuevos vertederos:

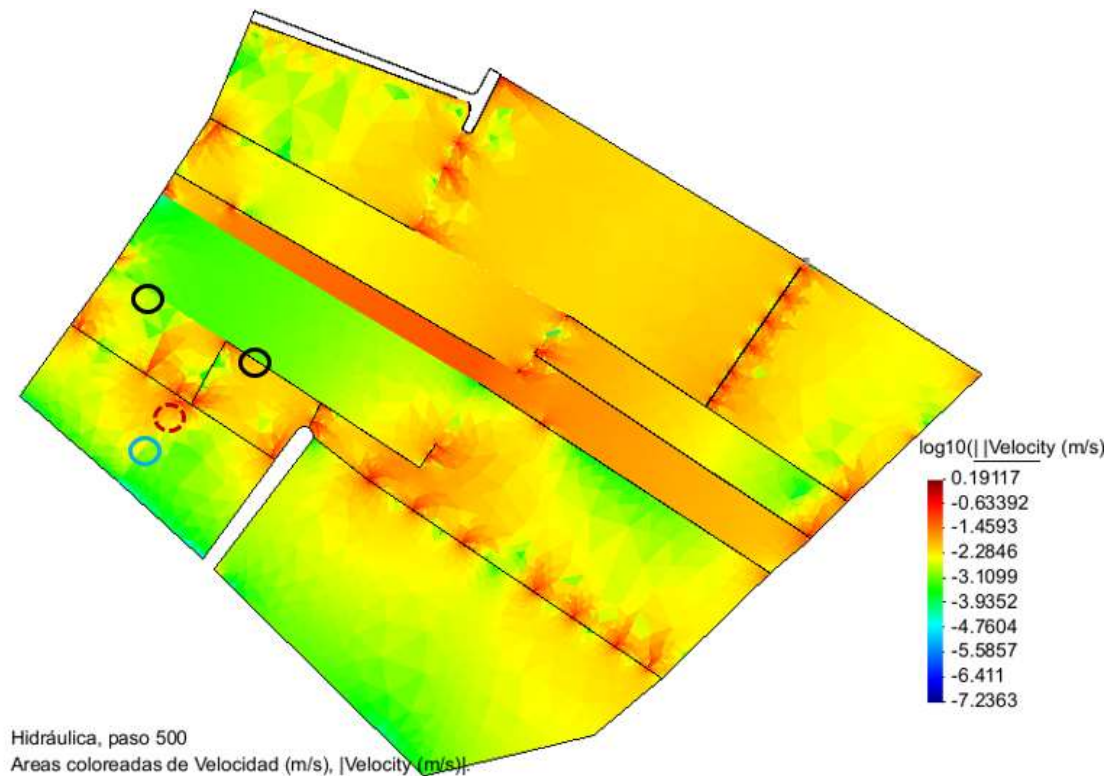


Figura 9.4. Modificaciones realizadas en el modelo 4.1. Fuente: Elaboración propia

Con este modelo se pretende mejorar notable la velocidad del agua del sistema ya que se han modificado y creado vertederos en las zonas más desfavorables del sistema.

10. SIMULACIÓN HIDRÁULICA BAJO ESCENARIOS PROPUESTOS

En este apartado se va a llevar a cabo la simulación hidráulica de los escenarios propuestos. En el Anejo nº1 se adjuntan todos los cálculos realizados por el programa Íber para la simulación.

10.1. Simulación hidráulica modelo 1.1

En este apartado se lleva a cabo la simulación hidráulica del modelo 1.1, en el que se han obtenido las siguientes velocidades:

Análisis de resultados: MODELO 1.1	
Nº de parcela	Velocidad (m/s)
1	5.3540356043367714E-5
2	0.0040337552742617765
3	0.0020529643325778234
4	0.011712461300309247
5	0.011388205651205989
6	0.007576271996937975
7	0.009874139872386384
8a	0.01156205313464104
8b	0.009322566726253166
9	0.010407747196735763
10	0.008702550415185186
11	0.009051367501723459
12	0.01287666916137852
13	0.012288557213930337

Parcelario	0.008551349624655516
------------	----------------------

Tabla 10.1. Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 1.1. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, las parcelas en las que la renovación del flujo es menor es en las parcelas nº1, 2 y 3. En contraposición, las parcelas que mayor regeneración de flujo reciben son las parcelas nº 4, 5, 12 y 13.

A continuación, se adjuntan las figuras donde se observa la distribución del flujo tras las modificaciones realizadas en este modelo.

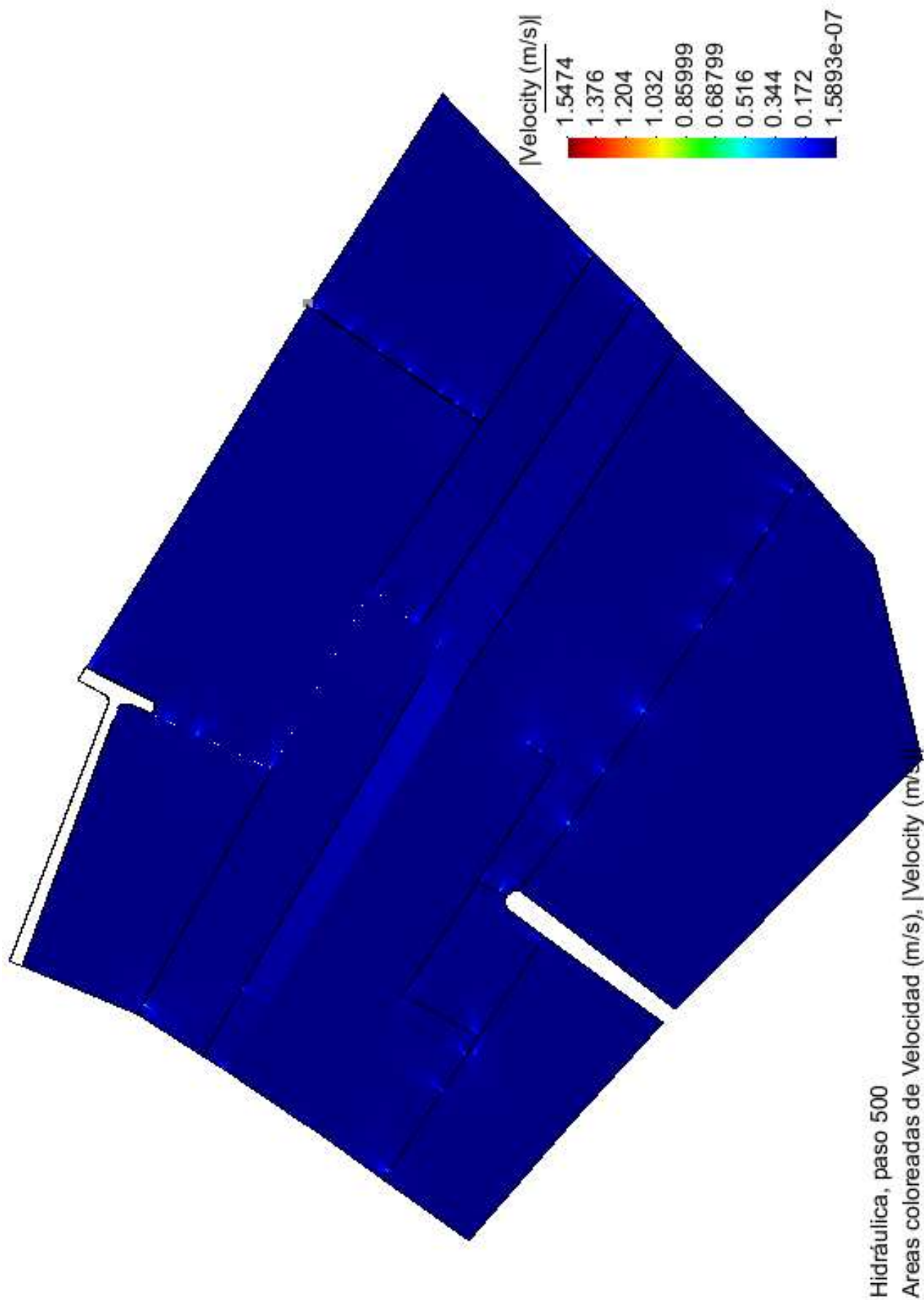


Figura 10.1 Velocidad en m/s modelo 1.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

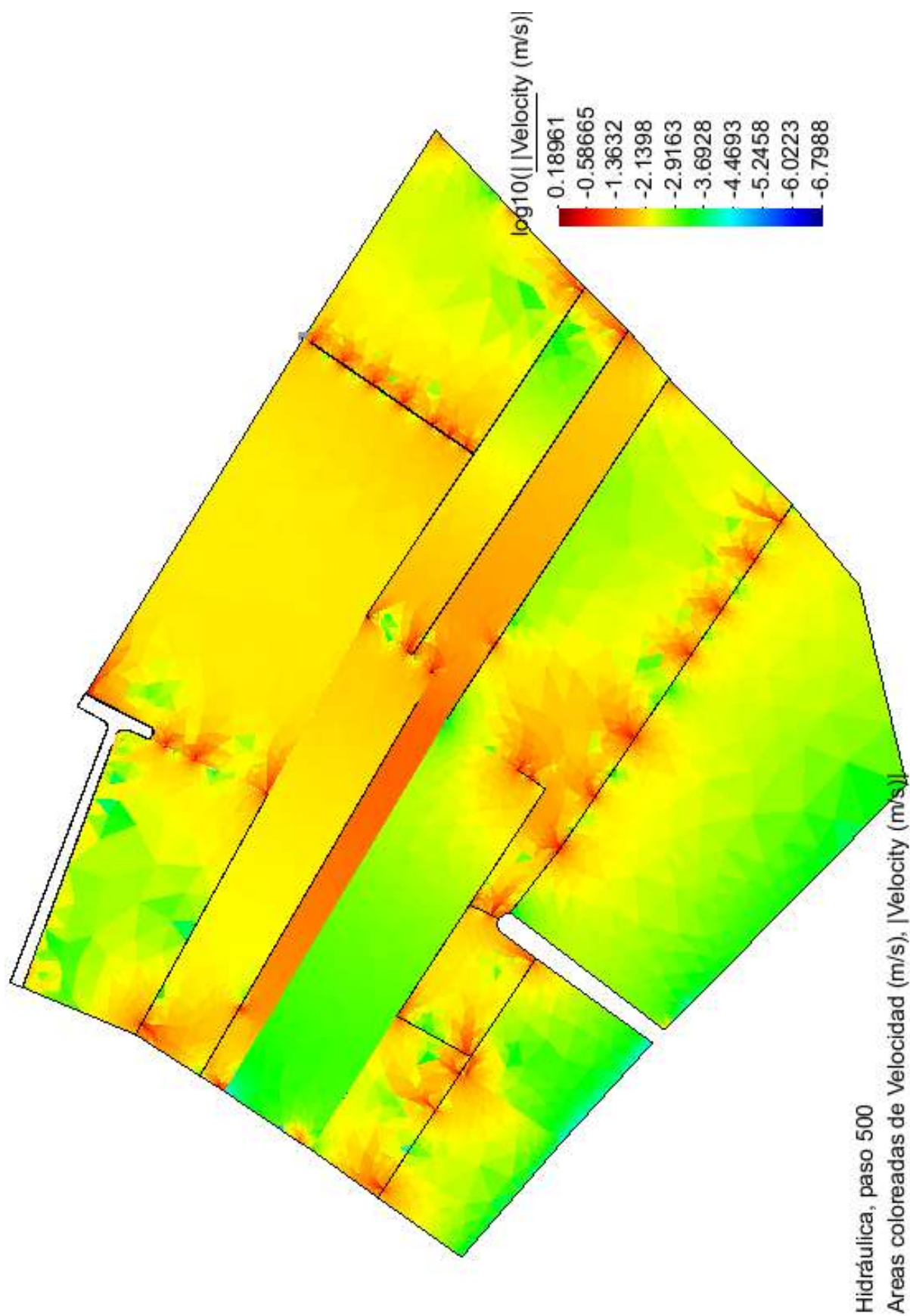


Figura 10.2. Velocidad en log 10 modelo 1.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

10.2. Simulación hidráulica modelo 2.1

En este apartado se lleva a cabo la simulación hidráulica del modelo 2.1, en el que se han obtenido las siguientes velocidades:

Análisis de resultados: MODELO 2.1	
Nº de parcela	Velocidad (m/s)
1	3.747824923035739E-5
2	0.0036005625879045105
3	8.469521650960149E-4
4	0.008119195046439712
5	0.010349451076847193
6	0.006763665056667633
7	0.009331915425995853
8a	0.010718371340406565
8b	0.00936267258382703
9	0.009957426395632928
10	0.009299429164505997
11	0.008610664215122871
12	0.0131638240044081
13	0.01599337748344369
Parcelario	0.008030634573299777

Tabla 10.2 Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 2.1. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la parcela nº1 y nº3 tienen una velocidad de flujo muy por debajo del resto de parcelas. Las parcelas nº5, nº2 y nº13 siguen siendo las que mejor renovación del flujo tienen.

A continuación, se adjuntan las figuras donde se observa la distribución del flujo tras las modificaciones realizadas en este modelo.

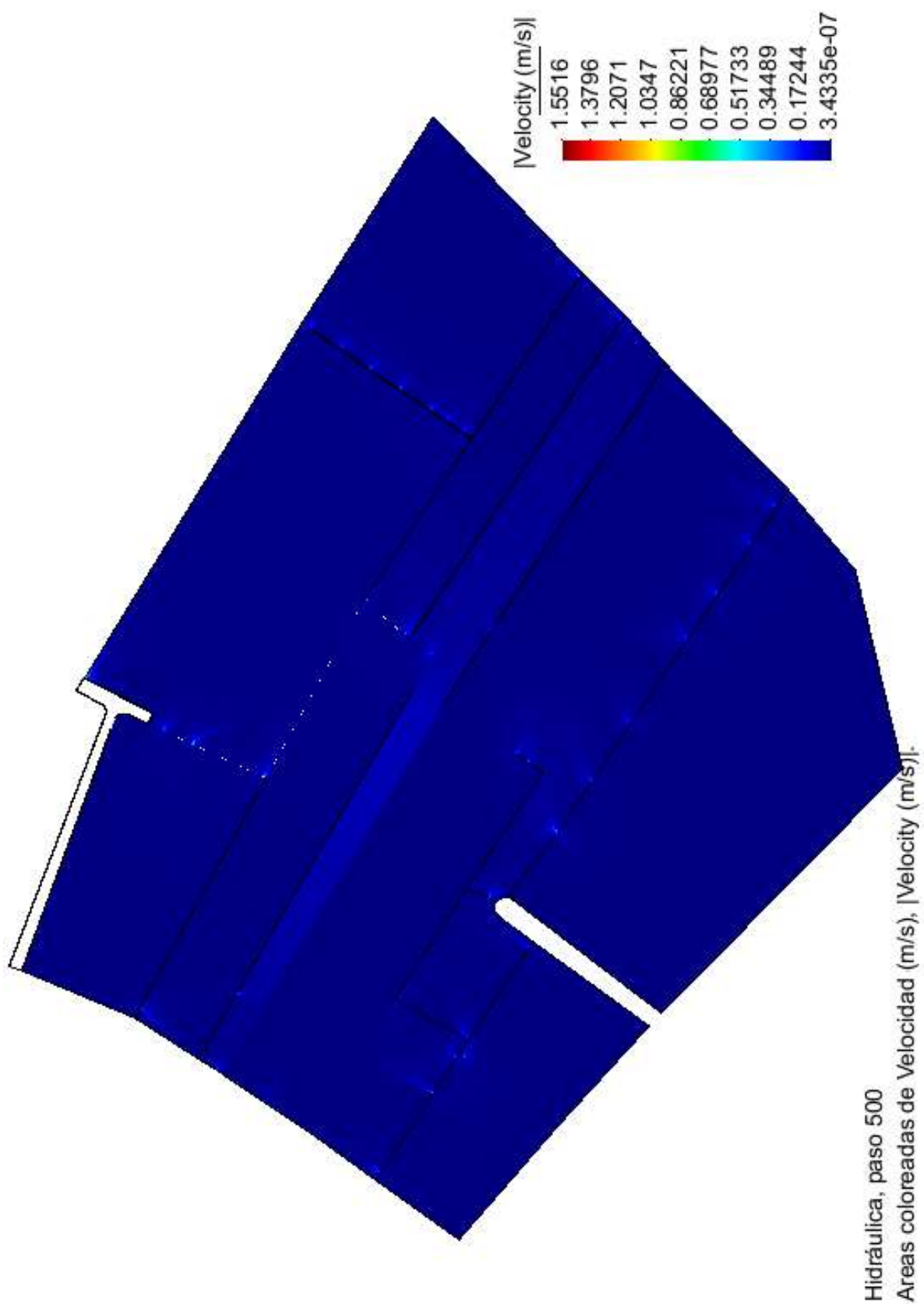


Figura 10.3. Velocidad en m/s modelo 2.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

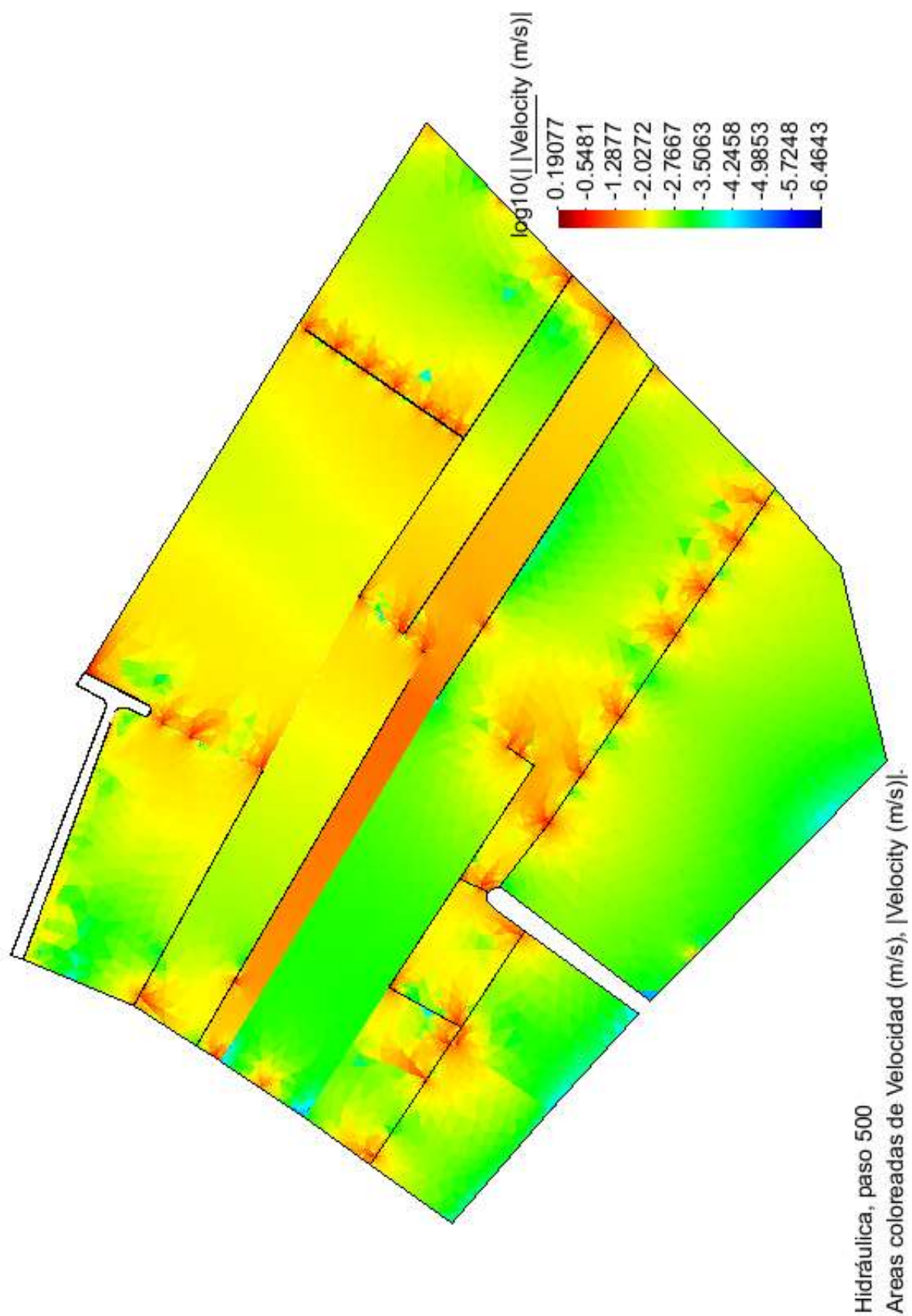


Figura 10.4. Velocidad en log10 modelo 2.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia.

10.3. Simulación hidráulica del modelo 3.1

En este apartado se lleva a cabo la simulación hidráulica del modelo 3.1, en el que se han obtenido las siguientes velocidades:

Análisis de resultados: MODELO 3.1	
Nº de parcela	Velocidad (m/s)
1	2.8108686922768043E-5
2	0.0036019690576654046
3	8.994393415245E-4
4	0.008183049535603795
5	0.010261563381124762
6	0.006547436878346276
7	0.00891452307076201
8a	0.01070896364867781
8b	0.00866609135178513
9	0.010271331774297884
10	0.008368179122183935
11	0.009076074465639856
12	0.012924331350687933
13	0.01271973466003316
Parcelario	0.008011004719726482

Tabla 10.3. Resultados obtenidos en la simulación hidráulica del modelo 3.1. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, las parcelas nº1 y nº3 siguen teniendo una velocidad muy por debajo al resto. Por otro lado, las parcelas nº12 y nº13 siguen siendo las que mejor renovación de flujo tienen.

A continuación, se adjuntan las figuras donde se observa la distribución del flujo tras las modificaciones realizadas en este modelo.

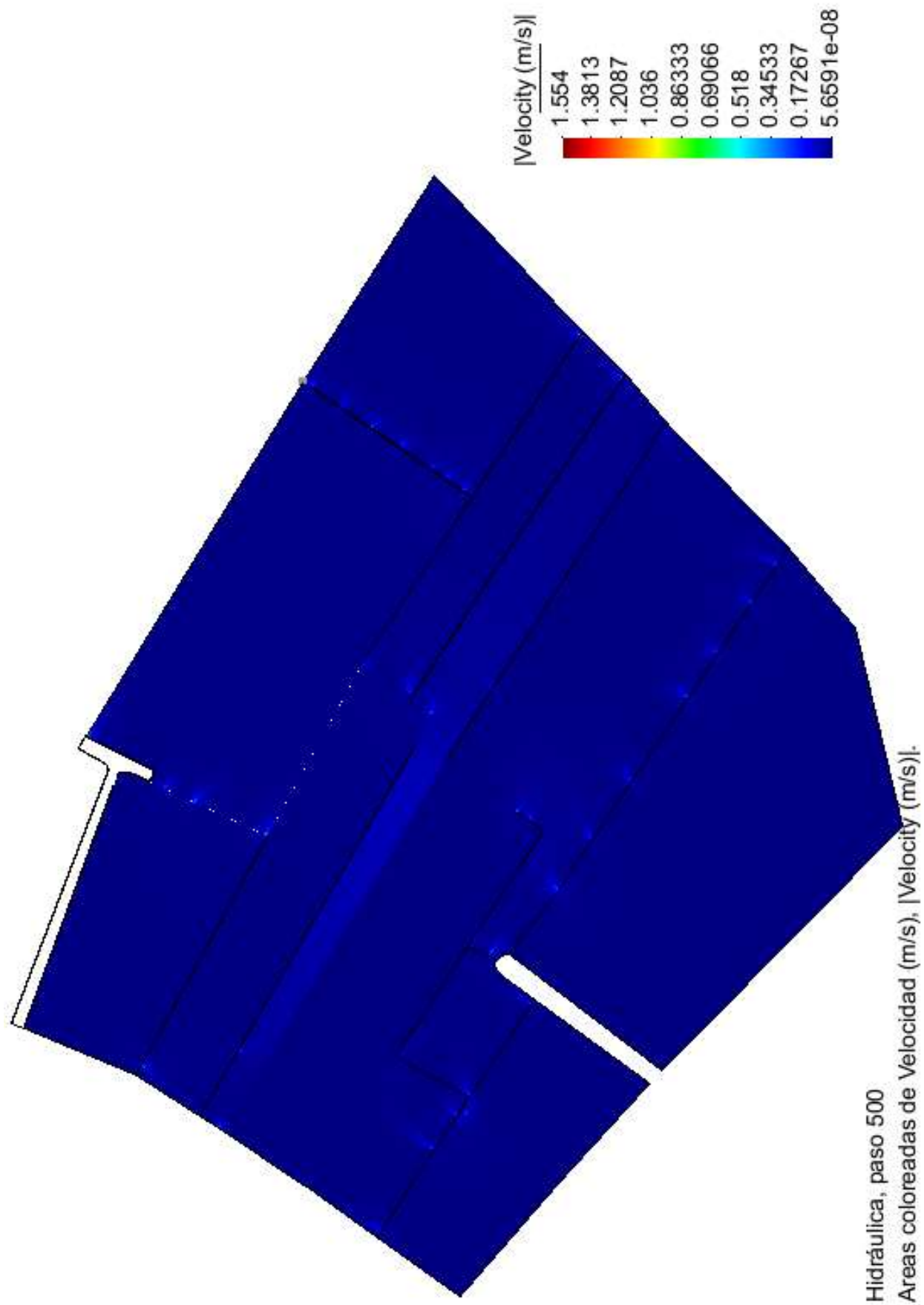


Figura 10.5. Velocidad en m/s modelo 3.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

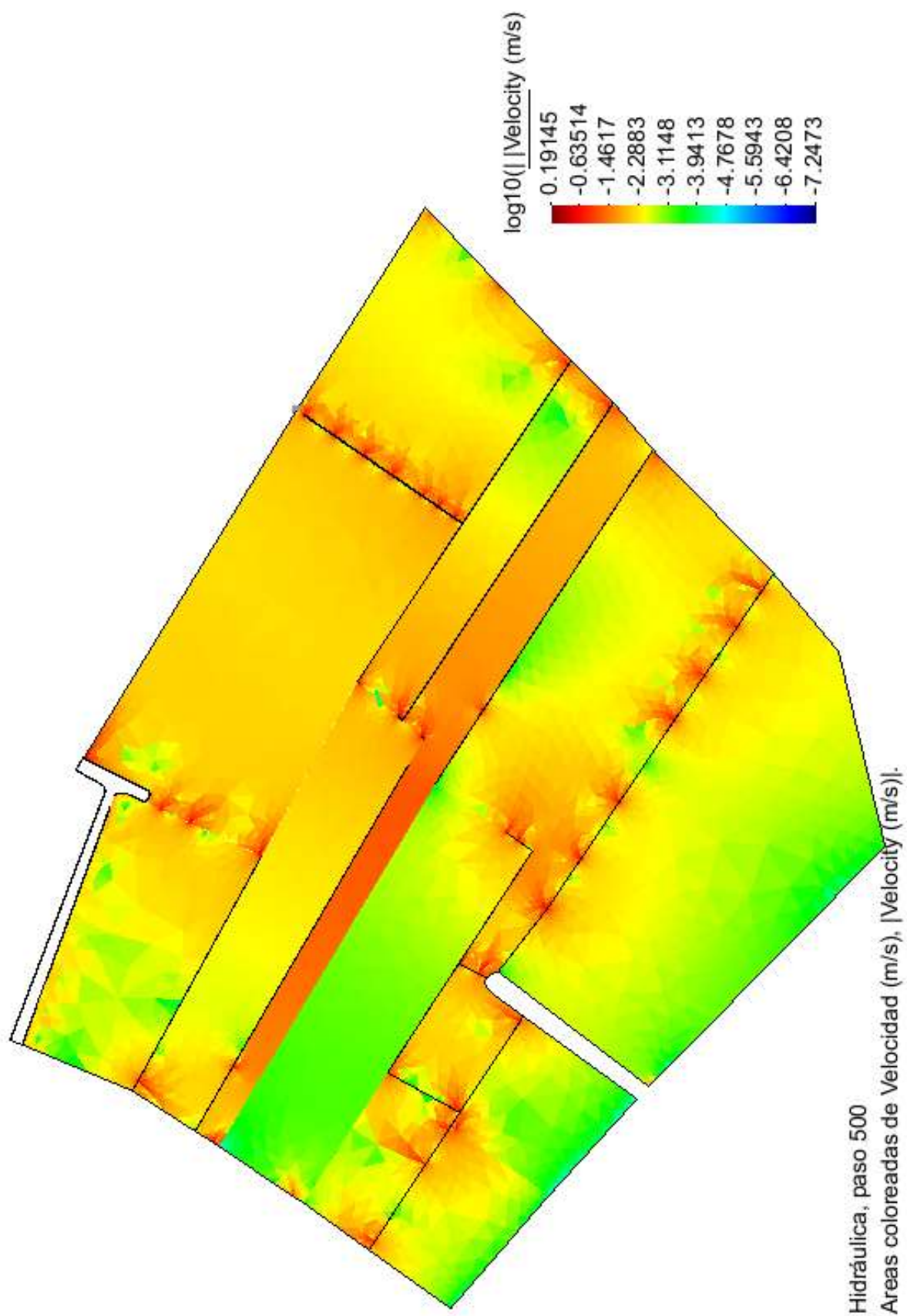


Figura 10.6.. Velocidad en log10 modelo 3.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

10.4. Simulación hidráulica del modelo 4.1

En este apartado se lleva a cabo la simulación hidráulica del modelo 4.1, en el que se han obtenido las siguientes velocidades:

Análisis de resultados: MODELO 4.1	
Nº de parcela	Velocidad (m/s)
1	2.8108686922768043E-5
2	0.0034641350210971827
3	8.994393415245E-4
4	0.0080495356037152725
5	0.010205471234025359
6	0.006812595638866376
7	0.009137473726351845
8a	0.010543764581920937
8b	0.008696295383098695
9	0.009830305210767653
10	0.008369661921709438
11	0.008369661921709438
12	0.012919210619605088
13	0.01271973466003316
Parcelario	0.00794791525247313

Como se puede observar, a pesar de los intentos por mejorar los tiempos de residencia en las parcelas iniciales estas siguen siendo la que menos velocidad de flujo tienen. Por otro lado, y como en el resto de modelos, las parcelas con mejor renovación del flujo siguen siendo la nº12 y la nº13.

A continuación, se adjuntan las figuras donde se observa la distribución del flujo tras las modificaciones realizadas en este modelo.

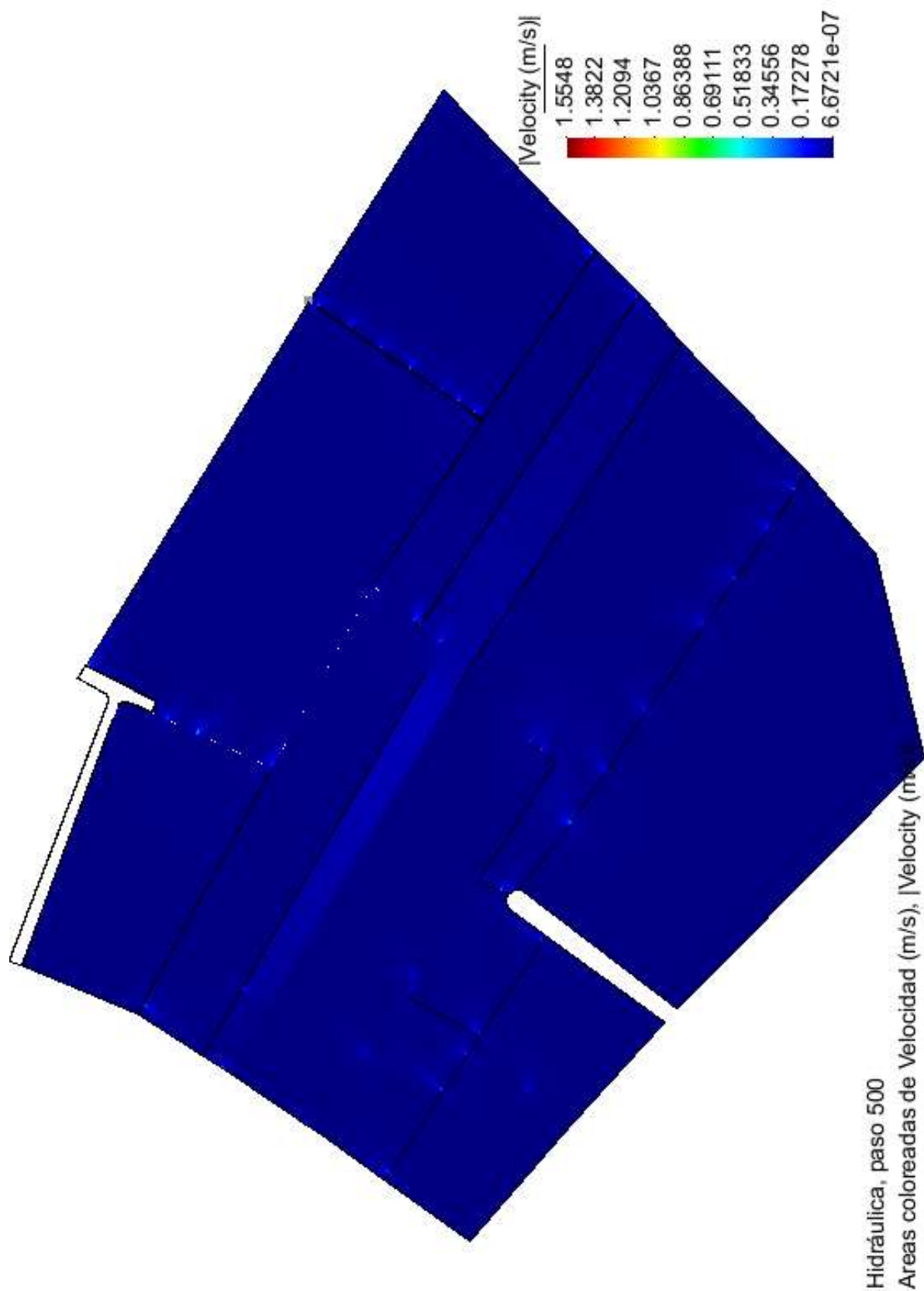


Figura 10.7. Velocidad en m/s modelo 4.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

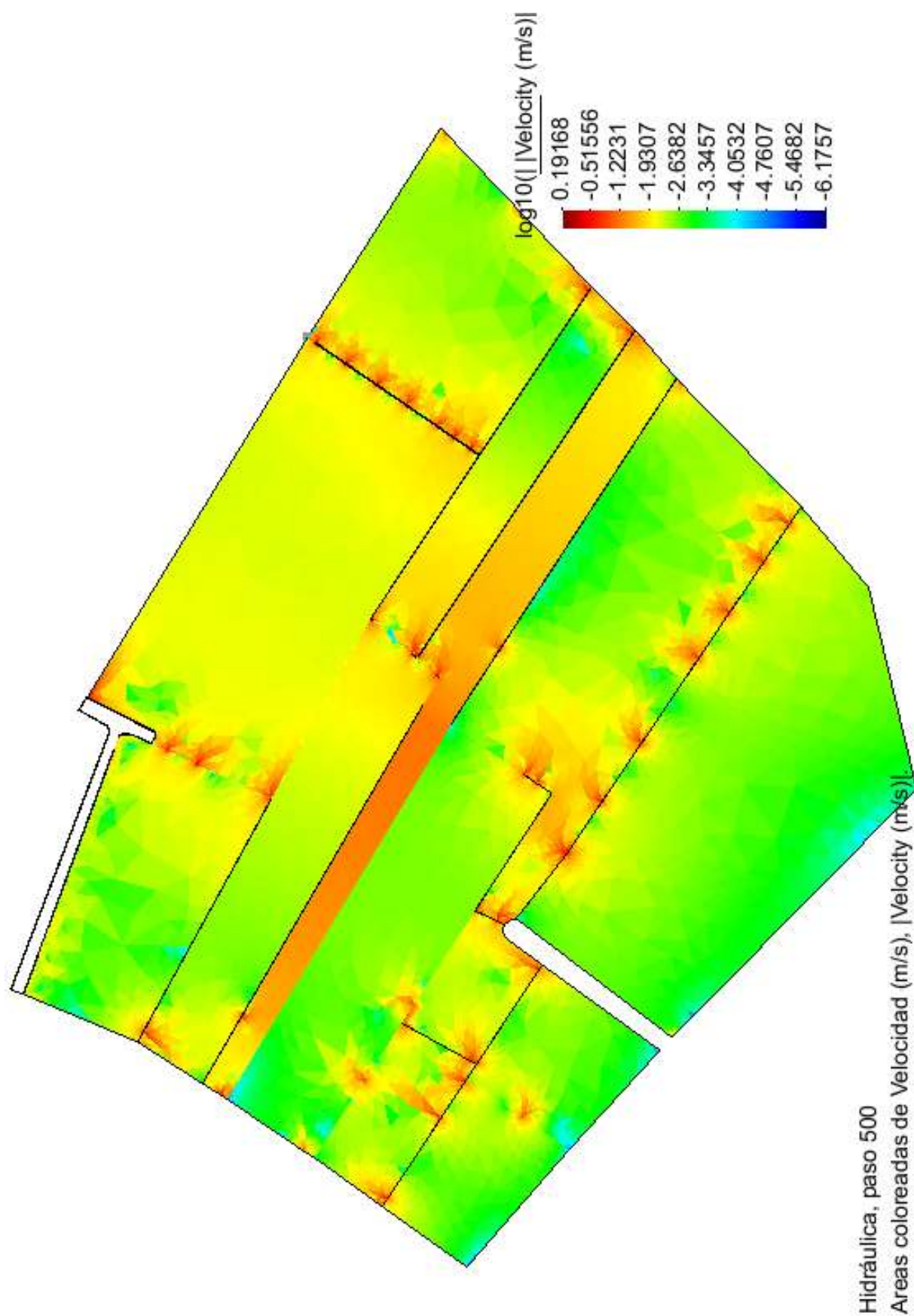


Figura 10.8. Velocidad en log10 modelo 4.1, paso 500. Fuente: Elaboración propia

11. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y MEJORAS OBTENIDAS

En este apartado se abordará la comparación de las velocidades de todos los modelos simulados, obteniendo de esta manera las mejores obtenidas tanto a nivel de parcela como a nivel de parcelario.

Para ello, en primer lugar, se adjunta una tabla resumen donde se pueden visualizar las velocidades del modelo actual en comparación con las velocidades de los cuatro modelos creados.

Análisis de resultados. COMPARACIÓN ENTRE MODELOS	
Parcela nº1	Velocidad (m/s)
Modelo actual	2.409316021951546E-5
Modelo 1.1	5.3540356043367714E-5
Modelo 2.1	3.747824923035739E-5
Modelo 3.1	2.8108686922768043E-5
Modelo 4.1	2.8108686922768043E-5
Parcela nº2	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.0034430379746836774
Modelo 1.1	0.0040337552742617765
Modelo 2.1	0.0036005625879045105
Modelo 3.1	0.0036019690576654046
Modelo 4.1	0.0034641350210971827
Parcela nº3	Velocidad (m/s)
Modelo actual	9.006322318978747E-4
Modelo 1.1	0.0020529643325778234
Modelo 2.1	8.469521650960149E-4
Modelo 3.1	8.994393415245E-4

Modelo 4.1	8.994393415245E-4
Parcela nº4	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.008099845201238482
Modelo 1.1	0.011712461300309247
Modelo 2.1	0.008119195046439712
Modelo 3.1	0.008183049535603795
Modelo 4.1	0.008049535603715272
Parcela nº5	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.010192872997778464
Modelo 1.1	0.011388205651205989
Modelo 2.1	0.010349451076847193
Modelo 3.1	0.008183049535603795
Modelo 4.1	0.010205471234025359
Parcela nº6	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.0065110941086446794
Modelo 1.1	0.007576271996937975
Modelo 2.1	0.006763665056667633
Modelo 3.1	0.006547436878346276
Modelo 4.1	0.006812595638866376
Parcela nº7	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.00886647983184699
Modelo 1.1	0.009874139872386384
Modelo 2.1	0.009331915425995853
Modelo 3.1	0.00891452307076201
Modelo 4.1	0.009137473726351845

Parcela nº8a	Velocidad (m/s)
Modelo actual	0.01057349288778378
Modelo 1.1	0.01156205313464104
Modelo 2.1	0.010718371340406565
Modelo 3.1	0.01070896364867781
Modelo 4.1	0.010543764581920937
Parcela nº8b	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.008667324169389765
Modelo 1.1	0.009322566726253166
Modelo 2.1	0.00936267258382703
Modelo 3.1	0.00866609135178513
Modelo 4.1	0.010543764581920937
Parcela nº9	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.009850092942374038
Modelo 1.1	0.010407747196735763
Modelo 2.1	0.009957426395632928
Modelo 3.1	0.010271331774297884
Modelo 4.1	0.009830305210767653
Parcela nº10	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.008364472123370175
Modelo 1.1	0.008702550415185186
Modelo 2.1	0.009299429164505997
Modelo 3.1	0.008368179122183935
Modelo 4.1	0.008369661921709438
Parcela nº11	Velocidad (m/s)

Situación actual	0.008716961618018788
Modelo 1.1	0.009051367501723459
Modelo 2.1	0.008610664215122871
Modelo 3.1	0.009076074465639856
Modelo 4.1	0.008369661921709438
Parcela nº12	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.012920392326778047
Modelo 1.1	0.01287666916137852
Modelo 2.1	0.0131638240044081
Modelo 3.1	0.012924331350687933
Modelo 4.1	0.012919210619605088
Parcela nº13	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.012603648424543938
Modelo 1.1	0.012288557213930337
Modelo 2.1	0.01599337748344369
Modelo 3.1	0.01271973466003316
Modelo 4.1	0.01271973466003316
Parcelario	Velocidad (m/s)
Situación actual	0.00784880888682586
Modelo 1.1	0.008551349624655516
Modelo 2.1	0.008030634573299777
Modelo 3.1	0.008011004719726482
Modelo 4.1	0.00794791525247313

Figura 11.1. Análisis de resultados. COMPARACIÓN ENTRE MODELOS. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que a lo largo de todo el estudio se compara la velocidad con todos los decimales dados por el programa ya que se pretende conocer la variación entre modelos, aunque en la realidad no tenga sentido dar una velocidad con tantos

decimales. Para realizar un estudio completo y comprender realmente la variación del flujo es imprescindible un gran número de decimales puesto que la variación es mínima.

Como se puede observar, apenas existe mejora en ninguna de las alternativas propuestas. A pesar de en un primer instante creer que la alternativa que más mejoraría los tiempos de residencia del flujo sería aquella descrita por el modelo 4.1 se puede comprobar que, la alternativa que más incidencia tiene sobre el sistema es la representada en el modelo 1.1, es decir, la doble anchura de los vertederos.

Si se comparan las soluciones a nivel de parcelario se puede ver que el modelo nº1 es el más eficaz a la hora de mejorar la velocidad del flujo del parcelario.

A nivel de parcela, se puede comprobar que en la mayoría de casos la mayor velocidad se encuentra en el modelo 1.1. Existen parcelas, sin embargo, en las que la mayor velocidad no se logra en el modelo 1.1 pero aún así la velocidad aportada por este modelo queda muy próxima a la alternativa de mayor velocidad en la parcela.

Por último, se observa que las parcelas que mayor estancamiento de agua presentan son las parcelas nº1 y nº3, en las cuales el tiempo de residencia del flujo se ve optimizado con el modelo 1.1, llegándose a alcanzar diferencias notables, sobre todo, en la parcela nº3.

12. CONCLUSIONES

Atendiendo a todas las alternativas posibles que se pueden llevar a cabo en la optimización del parcelario actual se puede concluir que la mejora de los tiempos de residencia del flujo en el parcelario de arrozal es mínima. Esto es debido, principalmente, a la gran extensión del parcelario y al escaso caudal entrante.

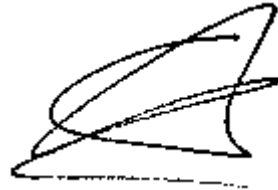
Por otro lado, y teniendo en cuenta todos los modelos estudiados, se puede concluir que la velocidad del flujo se ve condicionada principalmente por la anchura de los vertederos y en una menor medida por la ubicación de los mismos.

Por todo ello la mejora de los tiempos de residencia en el parcelario de arrozal viene condicionada principalmente por la anchura de los vertederos internos.

13. Bibliografía

- Blandé, E. C.-C. (2014). *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 30(1), 1-10.
- Fonseca, A. R. (2018). *Hydrological and flood hazard assessment using a coupled modelling approach for a mountainous catchment in Portugal*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-13.
- Polo, R. B. (s.f.). *Iber y ArcGIS Modelización hidráulica bidimensional*. *GEASIC Especialistas en SIG y Medio Ambiente*.

Valencia, septiembre de 2018



Fdo. Agüera Lidón, Cristina