

Análisis de la erosión del suelo en la cuenca de drenaje de Saldes

Aniol Perpinyà Nasarre de Letosa

Dirigido por:

Marcel Hürlimann Ziegler

Máster en:

Ingeniería Ambiental

Barcelona, 22-06-2022

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi tutor Marcel Hurlimann Zeigler y Ona Torres por las horas dedicadas, reuniones fuera de horario de clase, transmisión de información y las directrices para poder desarrollar el presente trabajo final de Máster.

En segundo lugar, a mis padres, por el apoyo incondicional en todo momento, tanto en la realización del mismo proyecto como en el transcurso del máster destacando las épocas de exámenes y entregas de proyectos a lo largo de estos dos años. Sin ellos no hubiera sido posible llegar al final.

Finalmente, a mi círculo más cercano; Nil Úbeda, Helena Beranuy, Carlos Duran, Miguel Carrasco, Agnes Gatus, Javier González, y Daniel Triviño, por la comprensión, el apoyo y la fuerza para seguir e ir superando las diferentes etapas académicas conseguidas hasta el momento.

Gracias a todos, Aniol Perpinyà.

Resumen

En el presente trabajo se estudiará un fenómeno natural que afecta a la cuenca de Saldes, situado en el Berguedá, Cataluña aplicando la ecuación RUSLE usando los sistemas de información geográfica, concretamente el programa QGIS.

Para poder emplear la ecuación RUSLE se ha realizado un análisis morfológico de la cuenca de Saldes con el programa comentado anteriormente. Para el análisis morfológico se ha accedido al ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) para descargar las hojas DEM 278-086 y 279-086 donde se sitúa la cuenca de Saldes.

Una vez realizado el análisis morfológico se puede aplicar la ecuación RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) donde se obtendrá la pérdida de suelo de la cuenca de Saldes.

Al aplicar la ecuación RUSLE, resultado de multiplicar los factores que la conforman se ha observado que las zonas donde menor vegetación hay son las que más pérdida de suelo, juntamente con las zonas que mayor pendiente hay. Esto es consecuencia del impacto de las gotas de agua porque hacen que, en función de los materiales de la zona, el agua arrastre estos materiales y los deposite en otra zona.

Abstract

In the present work, a natural phenomenon affecting the Saldes basin, located in Berguedá, Catalonia, will be studied by applying the RUSLE equation using geographic information systems, specifically the QGIS program.

To use the RUSLE equation, a morphological analysis of the Saldes basin has been carried out with the program. For the morphological analysis, the ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) was accessed to download sheets 278-086 and 279-086 where the Saldes basin is located.

Once the morphological analysis has been carried out, the RUSLE equation (Revised Universal Soil Loss Equation) can be applied to obtain the soil loss of the Saldes basin.

When applying the RUSLE equation, the result of multiplying the factors that make it up it has been observed that the areas with the least vegetation are those that suffer the greatest soil loss due to the direct impact of water drops, together with the areas with the steepest slopes. This is a consequence of the impact of water drops because, depending on the materials in the area, the water drags these materials and deposits them in another area.

Índice

1.Introducción.....	9
2.Estado del arte: Concepto de erosión, causas y consecuencias	10
2.1¿Qué es la erosión de los suelos?	10
2.2Causas de la erosión	10
2.3Consecuencias de la erosión	11
3.Antecedentes.....	12
4.Área de estudio	14
5.Metodología	19
5.1Extracción de datos	19
5.2Sistemas de información geográfica.....	22
5.3Cálculo de la pérdida anual del suelo (USLE y RUSLE).....	27
5.4 Técnicas de teledetección ópticas (LIDAR)	31
6.Resultados	35
6.1. LIDAR de la cuenca de Saldes.....	36
6.2 Análisis Morfológico	41
6.3 Aplicación del método RUSLE	58
6.3.1 Cálculo y análisis del Factor R	59
6.3.2 Cálculo y análisis del Factor C	63
6.3.3 Cálculo y análisis del Factor K	72
6.3.4 Cálculo y análisis del Factor LS	77
6.3.5 Cálculo y análisis del Factor P	80
6.3.6 Cálculo y análisis del Factor A	81
6.4 Erosión potencial	82
7.Conclusiones.....	85
8. Bibliografía.....	86
9.Webgrafía	87
10.Anejos	88

Índice de tablas

Tabla 1: Características LIDAR 1 vs LIDAR 2	31
Tabla 2: Comparativa LIDAR 2.da Cobertura con MDE 2x2	33
Tabla 3: Tabla de órdenes y numero totales de drenajes	55
Tabla 4: Datos de precipitación de los meses con mayor precipitación del año	60
Tabla 5: Resultados de los parámetros de la ecuación presentada por ICONA en la estación de Gisclareny	60
Tabla 6: Párametros del Factor C de la zona de la cuenca de Saldes	62
Tabla 7: Cálculo estimado del Factor C. Superficie cubierta por diferentes tipos de cultivos y factor C (Ccropn) por tipo de cultivo	63
Tabla 8: Factor C por tipo de cubierta vegetal no cultivable	64
Tabla 9: Factor C según el tipo de cubierta	67
Tabla 10: Representación de materiales granulares por tamaño y tipo	72
Tabla 11: Representación del código de permeabilidad	72
Tabla 12: Tipología y tamaño de los materiales	72
Tabla 13: Representación de tipos de suelos	73
Tabla 14: Conductividad hidráulica en función del tipo de suelo	74
Tabla 15: Grado de permeabilidad según el tipo de suelo	74

Índice de figuras

Figura 1: Localización de Saldes a nivel estatal	13
Figura 2: Extensión de la cuenca de Saldes.	14
Figura 3: Materiales geológicos de la cuenca de Saldes.	15
Figura 4: Leyenda del mapa geológico de la cuenca de Saldes.	16
Figura 5: Usos del suelo de la Cuenca de Saldes.	17
Figura 6: Leyenda de los usos del suelo de la Cuenca de Saldes.	17
Figura 7: Menú del ICGC para obtención de datos cartográficos.	18
Figura 8: Menú de selección de información del Vissir.	19
Figura 9: Menú de catálogo de descarga.	19
Figura 10: Información topográfica, ortofotos y otros.	20
Figura 11: Selección de hojas del terreno estudiado.	20
Figura 12: Menú inicial al iniciar QGIS.	22
Figura 13: Instalación de complementos en QGIS.	22
Figura 14: Selección de conectores.	23
Figura 15: Herramientas para el tratamiento de datos en QGIS.	24
Figura 16: Representación de una ortofoto en Saldes.	25
Figura 17: Esquema del procedimiento para el cálculo de la ecuación RUSLE.	29
Figura 18: Instalación en QGIS de la herramienta LAsTools.	35
Figura 19: Diferentes usos de LAsTools para los LIDAR.	35
Figura 20: Herramienta para la visualización de datos LIDAR.	36
Figura 21: Selección de visualización del LIDAR de la zona de la cuenca de Saldes.	36
Figura 22: LIDAR de las hojas 394674 y 396674 de la cuenca de Saldes.	37
Figura 23: Selección de visualización del LIDAR de la zona de la cuenca de Saldes.	37
Figura 24: LIDAR's de las hojas 394674 y 396674 representadas con intensidad.	38
Figura 25: LIDAR's v2 de las hojas 394674 y 396674 de la cuenca de Saldes.	38
Figura 26: LIDAR de las hojas 394674 y 396674 representadas con intensidad.	38
Figura 27: Shapefile de la cuenca de Saldes.	40
Figura 28: Herramienta para la medición de longitudes en QGIS.	41
Figura 30: Herramienta para el cálculo del área de un polígono.	41
Figura 31: Calculo del área del polígono de la cuenca de Saldes.	42
Figura 33: Capas de MDE2x2 añadidas en el proyecto.	43
Figura 34: Asignación de las coordenadas de la capa.	43
Figura 35: Herramienta para recorte de shapefile con los MDE2x2.	44
Figura 36: Valores obtenidos de la aplicación de la herramienta r.fill.drill.	44
Figura 37: Orientación de flujo de la cuenca de Saldes.	45
Figura 38: Representación del MDE2x2 corregido.	45
Figura 39: Representación del pendiente de la cuenca de Saldes.	46
Figura 40: Empleo de la herramienta r.watershed.	48
Figura 41: Representación de las subcuencas de la cuenca de Saldes.	48
Figura 42: Representación de la dirección de drenaje de la cuenca de Saldes.	49
Figura 43: Ampliación del mapa 9 sobre la red de drenaje de la cuenca de Saldes.	50
Figura 44: Representación del índice de la humedad en la cuenca de Saldes.	50
Figura 45: Factor de inclinación de pendiente (S) para USLE en QGIS.	52

Figura 46: Representación de los diferentes tipos de patrones de drenaje.	52
Figura 47: Herramienta para conversión de una capa ráster a una capa shapefile.	53
Figura 48: Representación de la red de drenaje de la cuenca de Saldes.	53
Figura 49: Representación de las corrientes de orden 1 de la cuenca de Saldes.	54
Figura 50: Representación de las corrientes de orden 1 y 2 de la cuenca de Saldes.	54
Figura 51: Representación de las corrientes de orden 1, 2 y 3 de la cuenca de Saldes.	55
Figura 52: Representación del MDE 2x2 de la Cuenca de Saldes.	57
Figura 53: Representación pendiente de la Cuenca de Saldes.	57
Figura 54: Media pluviometría anual (mm) en el territorio español.	58
Figura 55: Representación de Factor R.	59
Figura 56: Representación del Factor-R.	61
Figura 57: Representación de Factor C de la cuenca de Saldes.	70
Figura 58: Representación de Factor K de la cuenca de Saldes.	75
Figura 59: Representación de Factor LS de la cuenca de Saldes.	78
Figura 60: Representación de Factor A de la cuenca de Saldes.	80
Figura 61: Representación de la erosión potencial de la cuenca de Saldes.	81
Figura 62: Ampliación de la zona con poca erosión potencial de la cuenca de Saldes.	82
Figura 63: Ampliación de la zona con erosión potencial de la cuenca de Saldes.	82
Figura 64: Zonas seleccionadas anteriormente. Poca erosión (azul) y mucha erosión.	83

1. Introducción

La erosión es un fenómeno que tiene una afectación a escala global. Este fenómeno natural afecta directamente al suelo, flora y fauna de todo el mundo y de la zona que ocupa este trabajo la cuenca de drenaje de Saldes, situada en el Pre-Pirineo catalán, una cadena de montañas orientadas de oeste a este con una longitud de 425km situadas en el Noreste de Cataluña.

La influencia del ser humano sobre el medio ha sido clave para agilizar este deterioro y ha ido aumentando con el paso de los años. El afán de explotar el territorio es, y ha sido el primordial objetivo del hombre para satisfacer sus necesidades y la zona del Pre-Pirineo catalán no ha sido una excepción.

La explotación del suelo por las actividades agrícolas y ganaderas han provocado una reducción de la cubierta vegetal de las zonas afectadas y por ende el incremento de la erosión por los impactos de gotas la lluvia sobre el suelo ha reducido la calidad de éste.

No obstante, la precipitación y el tipo de materiales de la zona de estudio son claves para cuantificar la pérdida de suelo de un territorio. Esto es debido a que el impacto de las gotas de agua en el suelo tiene diferentes afectaciones, pues entre los diferentes tipos de erosión que existen, la erosión por acción hídrica es el que mayor grado de erosión provoca por la capacidad de movimiento que tiene el agua siempre teniendo en cuenta otros factores, como son la pendiente, la capa de vegetación de la zona afectada etc.

La motivación que ha inducido a llevar a cabo el trabajo final de máster que se presentará a continuación surge de las vivencias personales en el Pirineo y Pre-Pirineo catalán. Como conocedor del territorio estudiado y debido a la formación académica cursada, grado en Geografía física por la Universidad de Barcelona, se pretende conocer de manera más profunda la problemática de la erosión en una zona del territorio catalán que me ha acompañado toda mi vida.

Los principales objetivos que se pretenderán abarcar a lo largo del trabajo serán determinar la erosión a la zona de estudio, aplicar métodos cuantitativos y cualitativos para saber la pérdida de suelo de la cuenca de Saldes.

2. Estado del arte: Concepto de erosión, causas y consecuencias

El contexto que se desarrollará a lo largo del presente trabajo se centra en la erosión de los suelos y su afectación en el área de estudio de la cuenca de Saldes. Antes de empezar con el caso de estudio se expondrán las principales características sobre este fenómeno, el cual tiene una afectación global y ningún territorio queda excluido. Este fenómeno se agudiza cuando hay pendientes de gran longitud juntamente con la orientación de estas, teniendo un papel básico en la percolación superficial. (*GEOMECÁNICA. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar P., Carlos Enrique. Universidad Nacional de Colombia (2016)*).

2.1 ¿Qué es la erosión de los suelos?

La erosión del suelo es un proceso natural basado en el desgaste y/o desprendimiento de las rocas o sus pedazos de la superficie terrestre y el traslado de estos de un sitio a otro. Este movimiento es originado por la acción del agua, el viento y la acción antrópica.

Provoca cambios en la morfología y la estética de los paisajes a lo largo de los años, no obstante, la acción antrópica, con actividades como la minería o la agricultura pueden acelerar este proceso. Hay que tener en cuenta que en las zonas áridas donde hay poca vegetación este proceso se acelera mucho más que en una zona donde haya una cubierta vegetal mayor, donde el proceso de erosión será mucho más lento.

2.2 Causas de la erosión

Como todos los fenómenos naturales, la erosión tiene una serie de causas naturales:

- La erosión hídrica es un tipo de erosión provocada por el movimiento del agua y engloba la lluvia, las corrientes de los ríos, el golpeo de la lluvia con el suelo, el arrastramiento de torrentes o incluso el golpeo de las olas del mar.
- La erosión eólica es provocada por el viento. Consiste en el traslado de arena, polvos o cenizas, de un sitio a otro. Este traslado de elementos origina el desgaste de las rocas y/o el suelo siendo un movimiento muy lento. Se debe tener en cuenta que a mayor temperatura mayor posibilidad de fragmentación de rocas por lo que es más fácil el traslado de estas.

- La erosión química, se basa en los cambios estructurales de las rocas provocados por la alteración que se da en elementos como el oxígeno (O), agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂).
- La erosión causada por la temperatura es cuando hay cambios de temperatura en las rocas o el suelo. Cuando las temperaturas ascienden las rocas se expanden y se agrietan, igual sucede cuando las rocas se congelan y se descongelan.
- Finalmente, la erosión gravitatoria se produce por acción de la gravedad, es decir, cuando las rocas se desprenden y se depositan en las zonas más bajas de las laderas.

Por otro lado, hay otras causas de la erosión que no recaen sobre los efectos naturales, sino que son resultado de la acción del hombre:

- La deforestación es un fenómeno provocado por la acción antrópica que consiste en la pérdida de bosques, selvas y cubierta vegetal, en general por intereses económicos.
- La agricultura intensiva es una de las múltiples afectaciones que el hombre lleva a cabo para potenciar los procesos de erosión. Consiste en una explotación extrema de las tierras de cultivo con el objetivo de maximizar la producción. Finalmente, el riego artificial se basa en la extracción del agua de los ríos y lagos mediante pozos o perforaciones.

2.3 Consecuencias de la erosión

Las consecuencias de la erosión del suelo son multifactoriales en los que se incluyen:

- Deterioro de los ecosistemas que habitan en la zona afectada provocando un desequilibrio ecológico junto con una extinción del sector primario.
- Pérdida de la flora y de la fertilidad de la tierra en caso de que existiesen campos de cultivo.
- Pérdida de la humedad aportada por la propia flora.
- Mayor riesgo de desprendimiento de rocas.

3. Antecedentes

A lo largo de los últimos años diferentes entidades se han preocupado de tratar y divulgar esta problemática. Una de las primeras intervenciones, entre otras, data del año 1978 en el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). Dicha institución se encargó de publicar *“La problemática de la erosión: programa de acciones en la vertiente mediterránea”* donde se abordó lo ya tratado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación (Nairobi, 1977). En este documento se realizó la siguiente división: vertiente atlántica norte (zona menos afectada de la erosión), vertiente atlántica oeste y sur y la vertiente mediterránea (zona de sequías y torrencialidad).

A medida que se fue avanzando en la realización del documento se constató la falta de datos para representar de manera precisa las actuaciones que se pensaban llevar a cabo. Por ello, en 1982, ICONA se propuso determinar el índice de erosión pluvial de Wischmeier para posteriormente aplicar el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) y crear una cartografía correcta.

Fue en 1987 cuando los primeros mapas de estados erosivos a escala 1:400.000 fueron publicados. Posteriormente, la Dirección General de Conservación de la Naturaleza fue uno de los órganos administrativos encargados de la realización del Inventario Nacional de la Erosión de Suelos regido por la Ley 43/2003 del 21 de Noviembre de Montes. Este inventario abarca desde el año 2002 hasta el 2012. El objetivo del inventario era localizar, analizar y cuantificar la evolución de los procesos erosivos para poder conocer con máxima precisión las áreas afectadas.

El proyecto LUCDEME (Lucha Contra la Desertificación en el Mediterráneo) puso en marcha la Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL) con el objetivo de solventar la problemática de la desertificación en el territorio que abarca toda la costa Mediterránea.

El Real Decreto 1415/2000 asignaba a la Dirección General de Conservación de la Naturaleza vía el Área de Hidrología y Zonas Desfavorecidas la elaboración de un plan que recogiera todas las zonas del territorio nacional que debían ser restauradas por afectación de la desertificación y erosión del suelo.

Finalmente, el *“Plan Nacional de Actuaciones Prioritarias en Materia de Restauración Hidrológico-Forestal, Control de la Erosión y Defensa contra la Desertificación”* elaborado en 2001 es el instrumento para llevar a cabo las inversiones del Ministerio de Medio Ambiente.

4. Área de estudio

El área de estudio que se tratará a lo largo de este trabajo se concreta en la cuenca de drenaje de Saldes, en el Pre-Pirineo catalán. Saldes es un municipio que situado a 42° 13' 53" N, 1° 44' 17" E en la comarca del Bergadá, Cataluña, España. El municipio tiene una extensión de 66,56 km², una población de 300 habitantes y una densidad poblacional de 4,13 hab/km².



Figura 1: Localización de Saldes a nivel estatal.
Fuente: (<https://es.wikipedia.org/wiki/Saldes>).

La cuenca de Saldes destaca por ser rica y variada en cuanto a fauna y la flora. Las especies animales más comunes del Pre-Pirineo y el Pirineo son el Rebeco pirenaico (*Rupicapra pyrenaica*), un animal herbívoro parecido a un ciervo, el zorro o zorro rojo de la familia de los mamíferos y el Urogallo Común (*Tetrao urogallus*), entre otros. La flora del Pre-Pirineo cuenta con más de 4.500 especies entre las cuales, unas 200 son endémicas. Las más comunes son: castaños, olmos, fresnos y en altitudes más bajas existen los valles caracterizados por árboles frutales y vegetación de poca altura como la lavanda, tomillo etc. Finalmente, el clima se caracteriza por ser mediterráneo prepirenaico oriental donde hay una pluviometría de 700 mm al año, siendo una zona húmeda en invierno y otoño. Las temperaturas son estables a lo largo del año y las mínimas se registran en los meses de invierno llegando a 7º u 8º.

Una vez contextualizado el área de estudio, se delimitará la zona a analizar representada en la figura 2 mediante una ortofoto tratada con el programa QGIS.

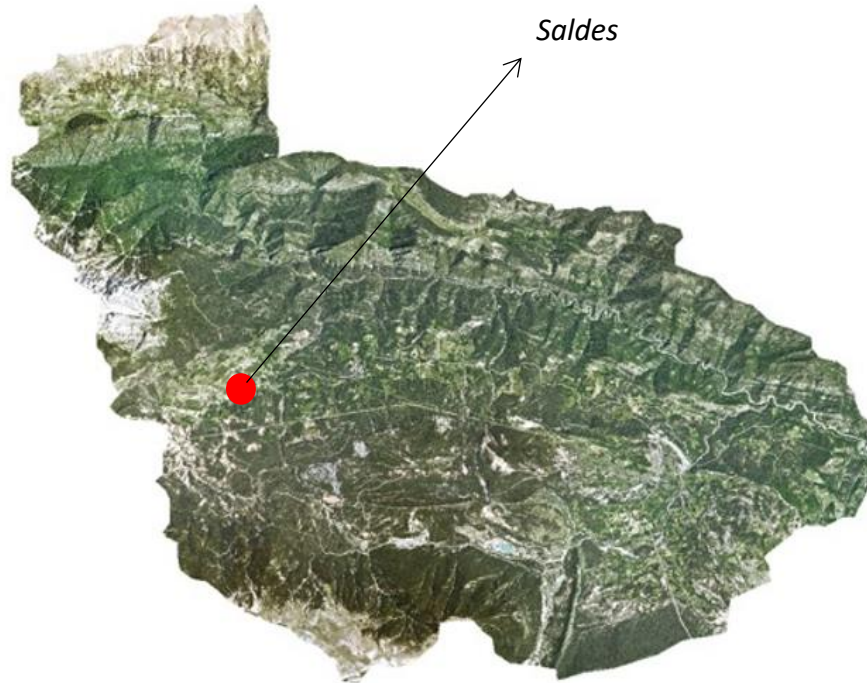


Figura 2: Extensión de la cuenca de Saldes.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>).

Previamente, se estudiará la zona con las coordenadas UTM CRS 25831: 396252.41, 4675853.62 donde se encuentra la cuenca de drenaje, al sur del municipio para hacer una primera aproximación de los resultados.

En términos geológicos la cuenca de Saldes queda representada en la figura 3 y su correspondiente leyenda en la figura 4.

En la figura 3 se aprecia como hay una diversificación de elementos geológicos, aunque, predominan los materiales “*Calcàries, lutites i margocalcàries. Fàcies Garumnià. Maastrichtià*”, “*Margues grises. Santonià-Campanià*” y “*Calcàries micrítiques i argiles roges. Fàcies Garumnià*”.

La distribución de estos materiales sigue un patrón; por ejemplo, los materiales situados en la parte norte están formados por “*Calcàries micrítiques. Cuisà*”, material que no se vuelve a encontrar en el resto de la cuenca. Lo mismo ocurre a con las “*Calcàries micrítiques amb microcòdium. Fàcies Garumnià. Danià*” que solo se encuentran en la zona sur de la cuenca. No obstante, hay otros materiales que sí pueden encontrarse en diferentes zonas de la cuenca, como es el caso de las “*Calcàries bioclàstiques, Calcàries detrítiques i Calcàries margoses. Camanià-Maastrichtià*”.

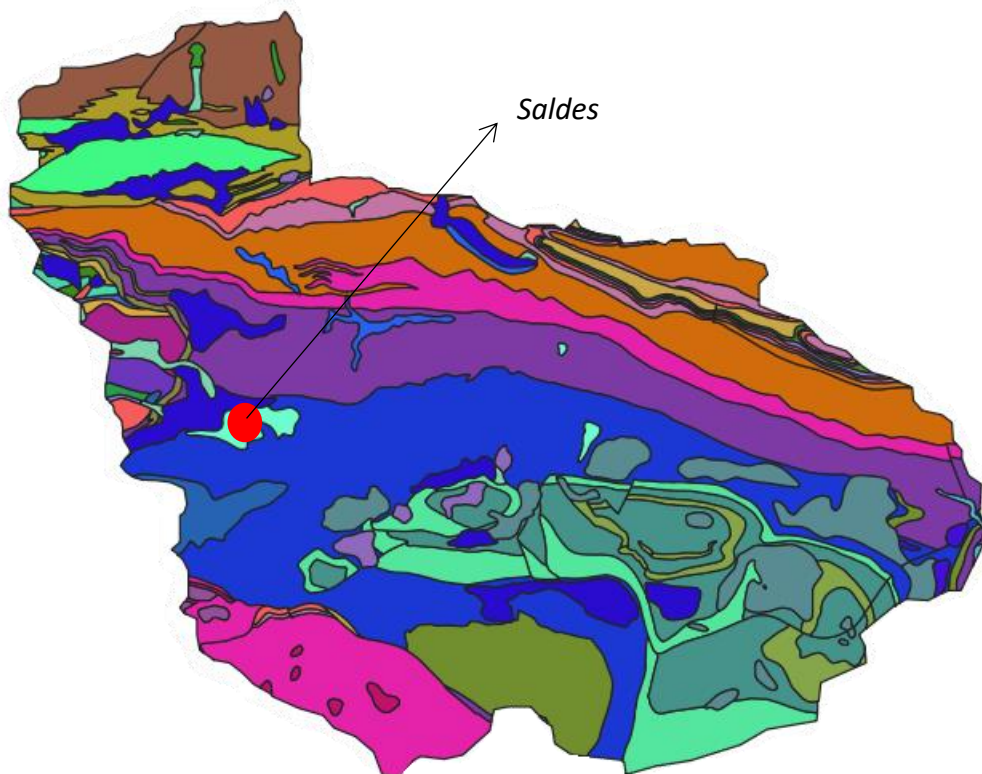


Figura 3: Materiales geológicos de la cuenca de Saldes.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>).

A continuación, se presenta la leyenda de la figura 4 donde quedan ejemplificados todos los materiales geológicos que conforman la cuenca de Saldes:

- Alternança de calcàries i margues grises. Formació Coronas. Cuisià inferior.
- Blocs i còdols calcaris heteromètrics. Dipòsits de tartera. Holocè.
- Bretxes carbonàtiques. Maastrichtià.
- Bretxes carbonàtiques. Retià-Lias.
- Calcàries amb microcòdium. Paleocè. Danià.
- Calcàries amb orbitolines i rudistes. Formació Senyús. Aptià superior
- Calcàries biodàstiques, calcàries detrítiques i calcàries margoses. Campanià-Maastrichtià.
- Calcàries biodàstiques. Constitueix part de la Seqüència d'Areny. Maastrichtià.
- Calcàries biodàstiques. Eocè inferior i mitjà. Cuisià-Lutecià.
- Calcàries i dolomies laminades. Lias.
- Calcàries i margues amb lacazina. Santonià inferior.
- Calcàries micrítiques amb microcòdium. Fàcies Garumnià. Calcàries de Vallcebre. Danià.
- Calcàries micrítiques i argiles roges. Fàcies Garumnià.
- Calcàries micrítiques. Cenomanià-Turonnià.
- Calcàries micrítiques. Formació Armàncies. Lutecià.
- Calcàries micrítiques. Formació Peña-Terrades. Cuisià.
- Calcàries, lutites i margocalcàries. Fàcies Garumnià. Maastrichtià.
- Calcàries, margues i margocalcàries. Formació Font Bordonera. Aptià.
- Calcàries. Lias. Hettangià.
- Clasts angulosos, sorres i llims. Ventalls al·luvials antics degradats. Plistocè-Holocè.
- Conglomerats d'origen local. Bartonnià-Rupelià.
- Conglomerats massius vermellosos. Fàcies Garumnià. Conglomerats de Peña Roja, Coll de la Trapa. Paleocè.
- Conglomerats, gresos i lutites. Bartonnià-Rupelià.
- Conglomerats, gresos, calcàries i calcàries margoses. Formació Adraén. Cretaci superior.
- Conglomerats. Eocè-Oligocè.
- Dipòsits col·luvials. Plistocè-Holocè.
- Dipòsits periglaciàls de desmantellament glacial i fluvioglacial. Clasts estriats, argiles i llims. Plistocè.
- Dolomies massives de color marró. Dogger.
- Graves, conglomerats, llims. Glacis. Plistocè.
- Llit actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa (0-2 m). Holocè recent.
- Margocalcàries i margues grises. Formació Lluçà. Aptià-Albià.
- Margues grises amb intercalacions de calcàries margoses, argiles i calcarenites. Part superior de la Seqüència d'Areny. Campanià-Maastrichtià.
- Margues grises. Santonià-Campanià.
- Margues i calcàries margoses. Fàcies Keuper. Triàsic superior.
- Margues i margocalcàries amb algun nivell de gres. Formació Armàncies. Cuisià-Lutecià.
- Moviments de massa. Bretxes, blocs i argiles. Plistocè-Holocè.
- Restes de dipòsits morènics. Dipòsits caòtics d'argiles, llims, sorres, clasts i blocs. Plistocè.
- Terrassa del Llobregat i afluents. Es troba 2 m sobre el nivell del riu. Holocè.
- Terrassa fluvial actual. Holocè recent.

Figura 4: Leyenda del mapa geológico de la cuenca de Saldes.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>),

Tal y como se ha representado en las figuras 3 y 4 se puede deducir que en la zona de la cuenca de Saldes, situada en el Pre-Pirineo abundan materiales del Terciario. Estas estructuras geológicas se caracterizan sobre todo por rocas sedimentarias donde la mayoría de estas son calcarías y magras. Los diferentes ejes geológicos tienen una dirección O-E. Estas sierras se formaron durante la época alpina, cenozoico por el choque de diversas placas continentales como la placa eurasiática y africana.

Para concluir este apartado sobre el área de estudio se representa el mapa de los usos del suelo de la cuenca de Saldes.

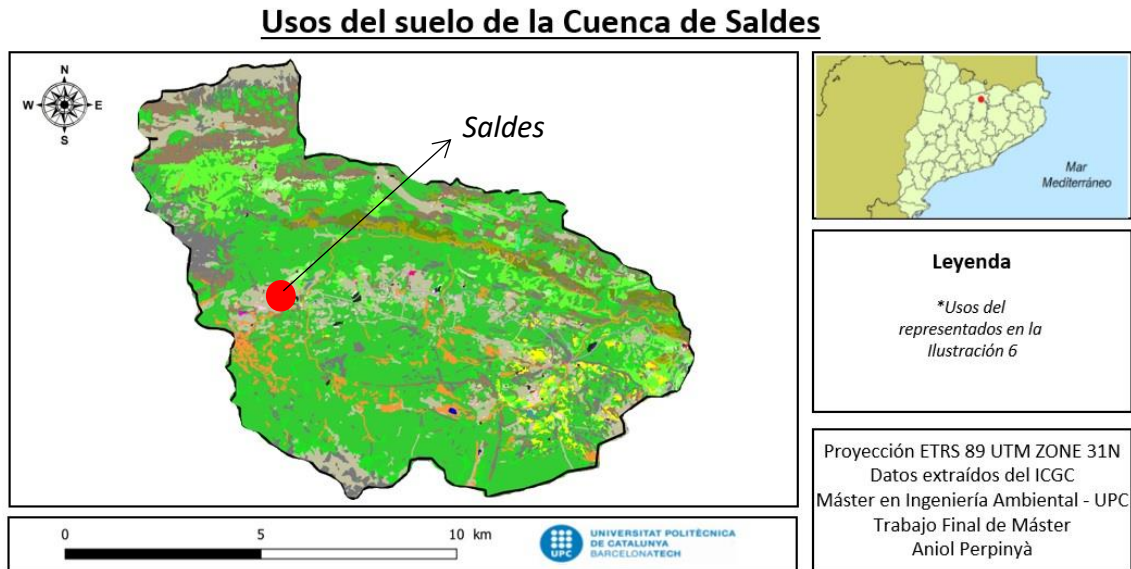


Figura 5: Usos del suelo de la Cuenca de Saldes.

<ul style="list-style-type: none"> 111. Conreus herbacis 112. Horta, vivers i conreus forçats 113. Vinyes 114. Oliverars 115. Altres conreus llenyosos 116. Conreus en transformació 221. Boscos densos d'aciculifolis 222. Boscos densos de caducifolis i planifolis 223. Boscos densos d'escleròfil·les i laurifolis 224. Matollar 225. Boscos dars d'aciculifolis 226. Boscos dars de caducifolis i planifolis 227. Boscos dars d'escleròfil·les i laurifolis 228. Prats i herbassars 229. Bosc de ribera 230. Sòl nu forestal 231. Zones cremades 232. Roquissars i congestes 233. Platges 234. Zones humides 341. Casc urbà 342. Eixample 343. Zones urbanes laxes 344. Edificacions aïllades en l'espai rural 345. Àrees residencials aïllades 	<ul style="list-style-type: none"> 346. Zones verdes 347. Zones industrials, comercials i/o de serveis 348. Zones esportives i de lleure 349. Zones d'extracció minera i/o abocadors 350. Zones en transformació 351. Xarxa viària 352. Sòl nu urbà 353. Zones aeroportuàries 354. Xarxa ferroviària 355. Zones portuàries 461. Embassaments 462. Llacs i llacunes 463. Cursos d'aigua 464. Basses 465. Canals artificials 466. Mar
---	---

Figura 6: Leyenda de los usos del suelo de la Cuenca de Saldes.

Fuente: (<http://www.icc.cat/appdownloads/>).

5. Metodología

5.1 Extracción de datos

Para la realización y representación de los mapas que forman parte del presente trabajo se ha usado la fuente del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, una web de uso gratuito que se desarrolló a inicios de 2014. El objetivo de este instituto es proporcionar información sobre el territorio, temas geodésicos y datos cartográficos de Cataluña. Según queda regulado en el marco de la “Llei 16/2005, de 27 de desembre” de la información geográfica del Instituto Cartográfico de Cataluña, y por la “Llei 19/2005, de 27 de desembre” del Instituto Geológico de Catalunya.

Para la obtención de la información cartográfica, mapas, ortofotos, modelos de elevación del terreno, lidars etc se debe que acceder mediante la pestaña “Visor VISSIR”.



Figura 7: Menú del ICGC para obtención de datos cartográficos.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>).

Una vez se accede al “Visor VISSIR” se tendrá que seleccionar la información necesaria para la realización del trabajo, y escoger entre las opciones de “veure i comparar”, “capes addicionals”, “cerca”, “catàleg de descarrega” representado en la figura 8.

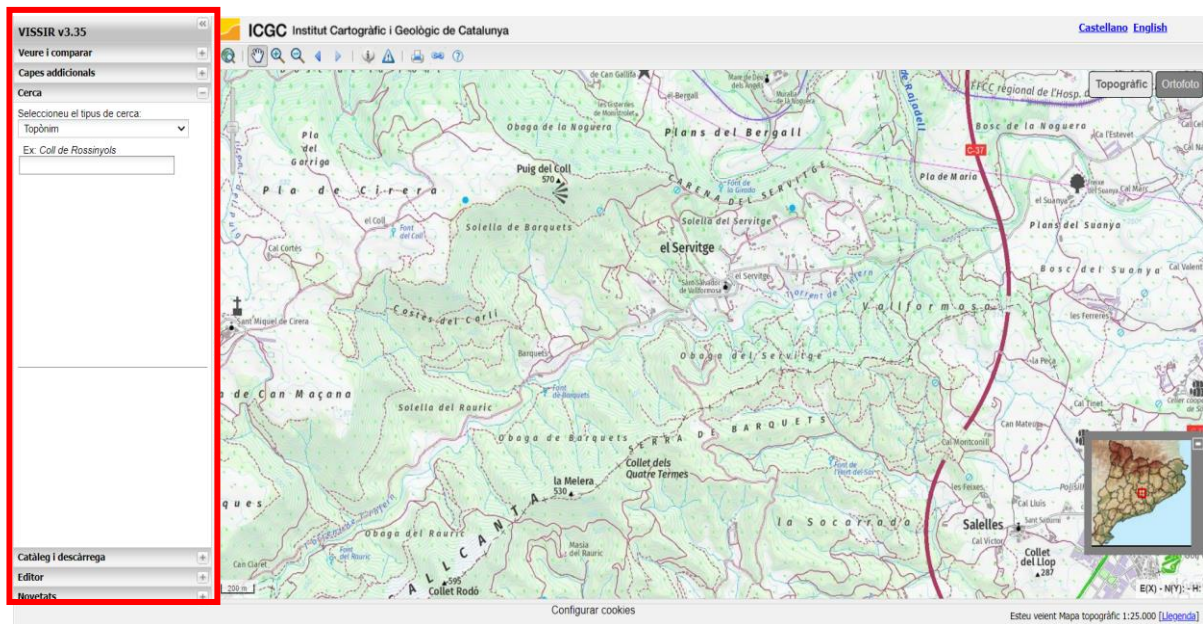


Figura 8: Menú de selecció de informació del Vissir.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>).

No obstante, si el interés de la información reside en un tipo de mapa más específico, se deberá acceder a la pestaña de “catàleg i descàrrega”.

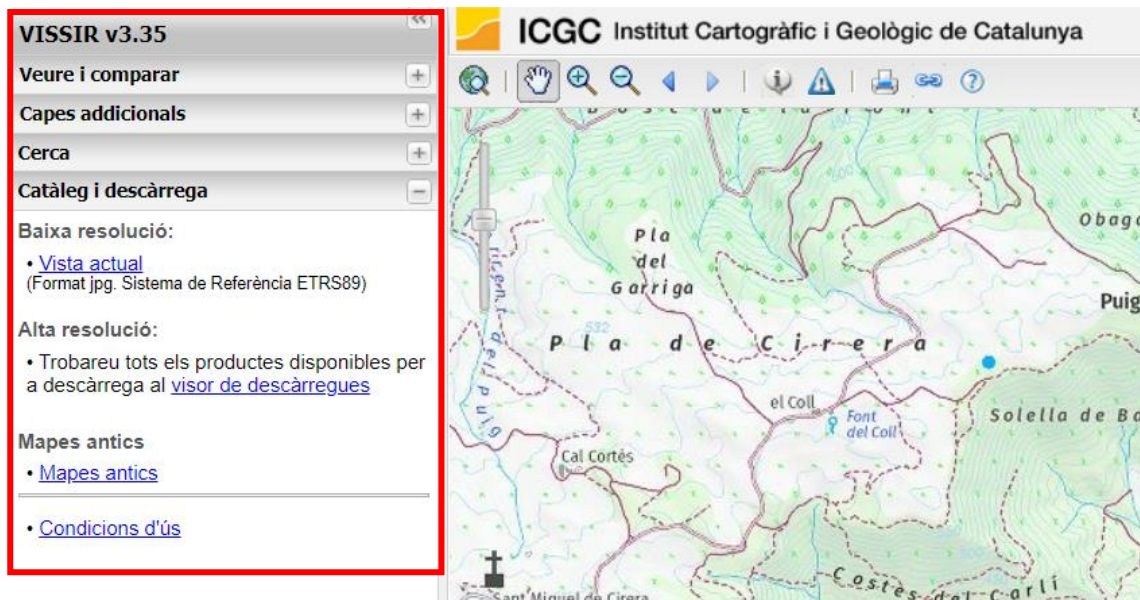


Figura 9: Menú de catàleg de descarga.

Fuente: (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Elevacions/Dades-lidar>).

Una vez seleccionado este menú se tendrá acceso a la obtención de mapas topográficos de diferentes escalas (1:5.000, 1:25.000...), ortofotos y otros, donde se incluyen mapas de pendientes, lidars, modelos de elevaciones etc representado en la figura 10.

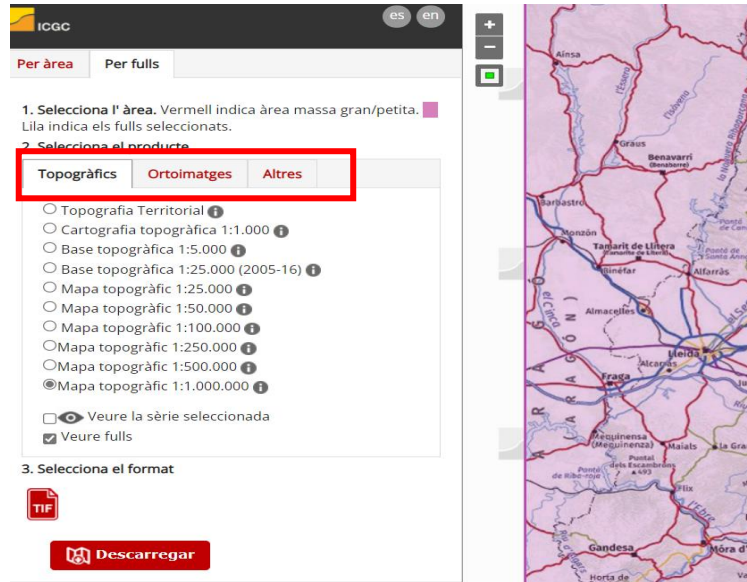


Figura 10: Información topográfica, ortofotos y otros.
Fuente: (<http://www.icc.cat/appdownloads/>).

Finalmente, una vez seleccionada la información pertinente se procederá a seleccionar y delimitar la zona de estudio que se pretenda analizar. Esta información está dividida por hojas que llevan integrados unos números para facilitar la descarga de estas.

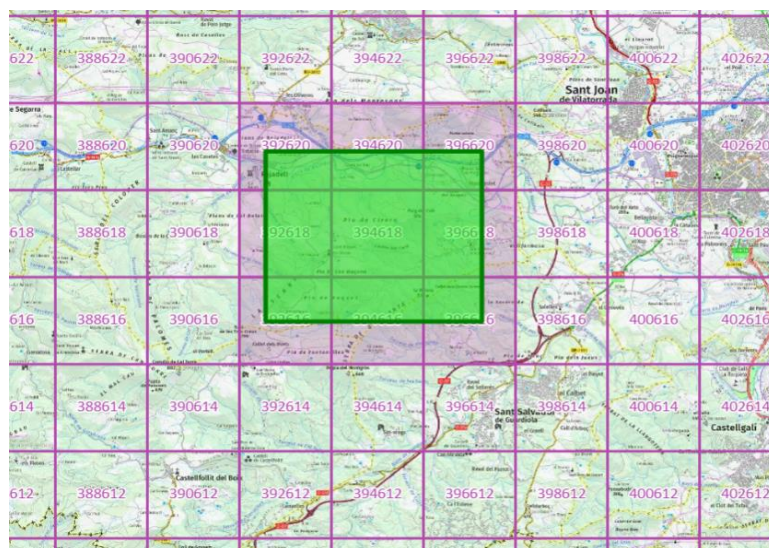


Figura 11: Selección de hojas del terreno estudiado.
Fuente: (<http://www.icc.cat/appdownloads/>).

5.2 Sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta de gran utilidad para analizar interpretar y actuar sobre el territorio. Los SIG empiezan a tener valor en 1969, cuando Jack Dangermond crea la empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), dedicada al análisis y estudio del territorio.

Además, ESRI cuenta con diferentes programas destinados al tratamiento de datos cartográficos, como ArcMap, ArcGis, ArcCatalog etc.

Por lo tanto, los SIG son sistemas que crean, administran, analizan y representan datos cartográficos, para la representación correcta de estos datos es necesario integrar los datos de la ubicación que se pretende estudiar.

Los SIG son importantes en innumerables sectores, pues determinan proyecciones de futuro para los usos del suelo o la gestión de áreas urbanas. Entre otras funciones, destacan la identificación de problemas, administrar y responder a eventos, establecer prioridades del terreno, realizar previsiones y comparar tendencias.

En relación al tratamiento de datos cartográficos existen diferentes herramientas que pueden ser usadas para la representación de estos, no obstante, para la realización del proyecto actual se usará QGIS.

QGIS es un software de código libre para Windows, Mac, Linus y otros sistemas operativos para manejar fuentes cartográficas en formato ráster, vectorial y bases de datos. QGIS permite ser usado para fines académicos, laborales e ilustrativos.

En primer lugar, el menú inicial dentro del programa se divide en una barra de menús, una barra de herramientas, tabla de contenidos, caja de herramientas de procesamiento, área de despliegue del proyecto una vez seleccionada la plantilla del proyecto y una barra de estado.

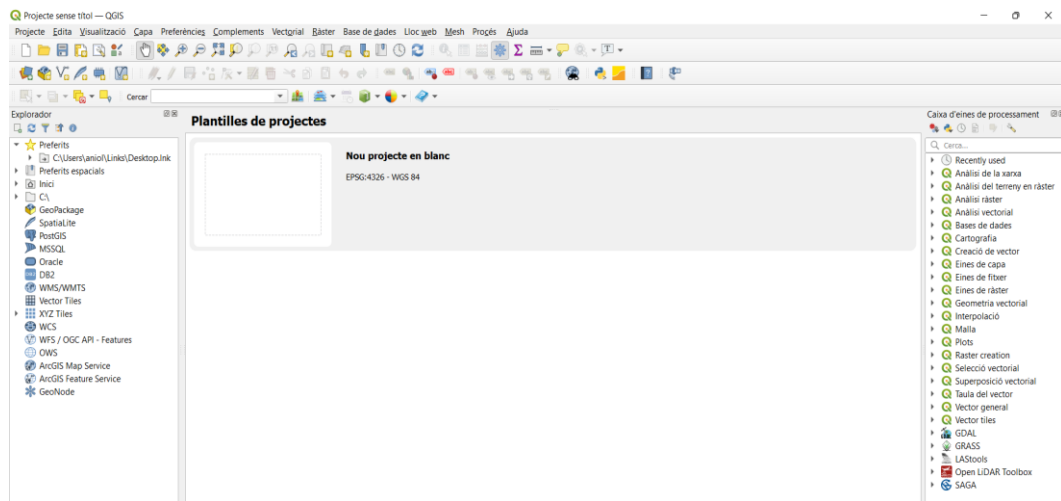


Figura 12: Menú inicial al iniciar QGIS.

Una vez seleccionado el nuevo proyecto a realizar se procederá a añadir un shapefile.

Un shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos cartográficos y los atributos asociados a ellos.

Se trata de un formato multiarchivo formado por diferentes elementos que están interconectados entre ellos:

- **.shp**: archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- **.shx**: archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- **.dbf**: es la base de datos donde se almacena la información de atributos geométricos.

Es interesante destacar que el tratamiento de datos en QGIS, no siempre se podrá hacer con las herramientas que el propio programa nos proporciona, por ello se deberán instalar una serie de complementos en función de la necesidad del usuario.

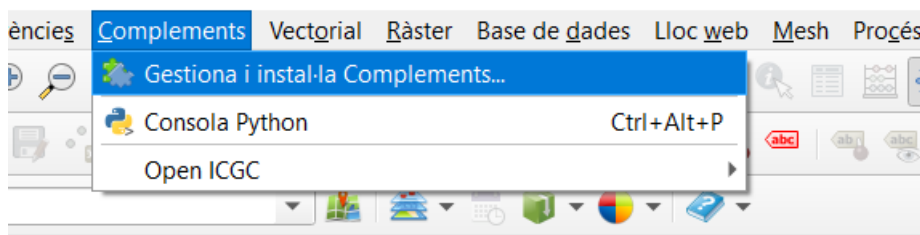


Figura 13: Instalación de complementos en QGIS.

En este caso se deberá acceder a la pestaña de complementos y seleccionar “*Gestiona i instal·la complements*”.

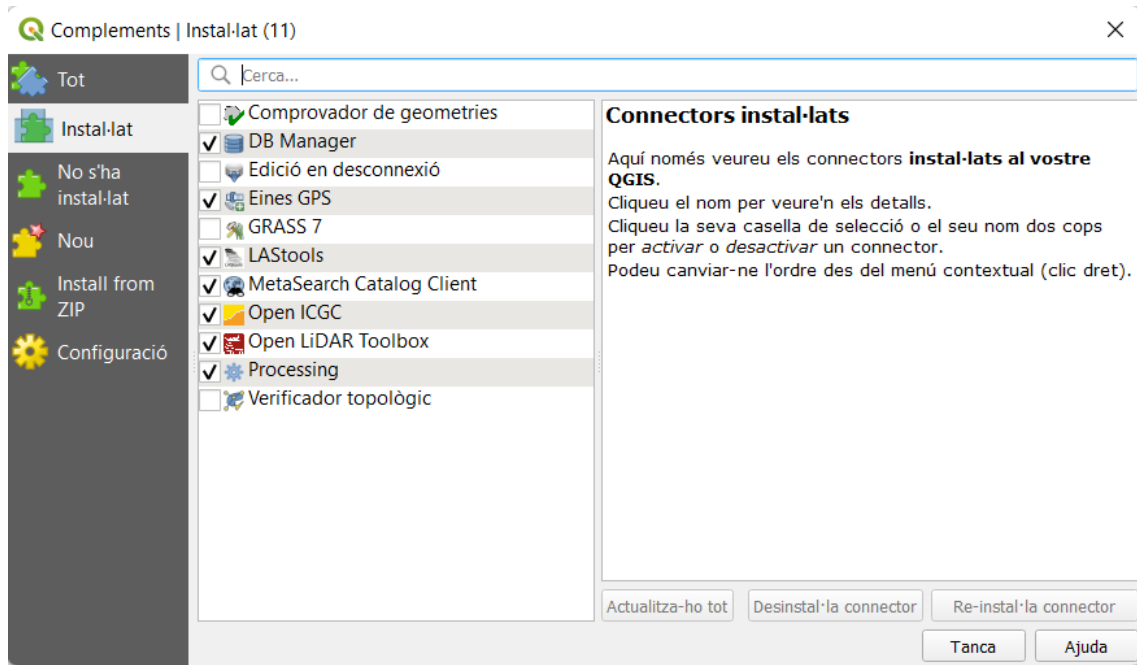


Figura 14: Selección de conectores.

Una vez desplegada la pestaña de conectores se procederá a la selección del conector deseado, como se puede observar en la figura 14 para el proyecto actual, se han seleccionado los marcados con un tic.

Es muy importante tener las rutas de guardado correctamente situadas en el ordenador para la selección de los archivos. No guardar correctamente un archivo podría suponer errores en la representación cartográfica en el programa.

Una vez instalados lo diferentes complementos necesarios para la realización de los cálculos que se pretendan hacer en el proyecto, estos aparecerán en la columna izquierda de la pantalla del programa con el nombre de “*caixa d'eines de procesament*”

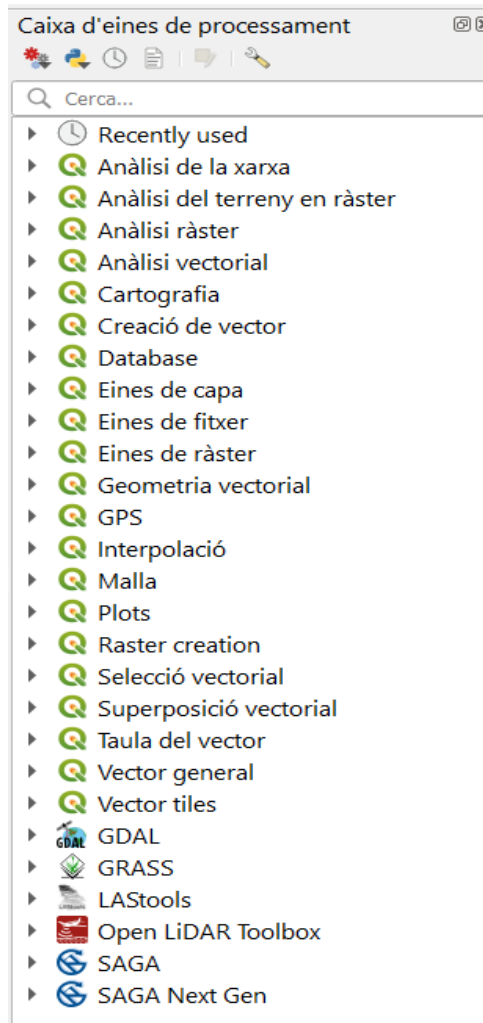


Figura 15: Herramientas para el tratamiento de datos en QGIS.

Un elemento que facilita la visualización del territorio son las ortofotos. Es decir, representaciones fotográficas de la zona que se pretenda estudiar donde todos los elementos se presentan a la misma escala, obteniendo una imagen libre de errores y deformaciones. Esto significa que a nivel de terreno no hay desplazamientos por inclinación del sensor y no se aprecia el relieve del terreno.

Toda ortofoto debe estar referenciada por una proyección cartográfica, por ello debe tener las características geométricas correctas de la zona estudiada.

Ortofoto de la cuenca de Saldes

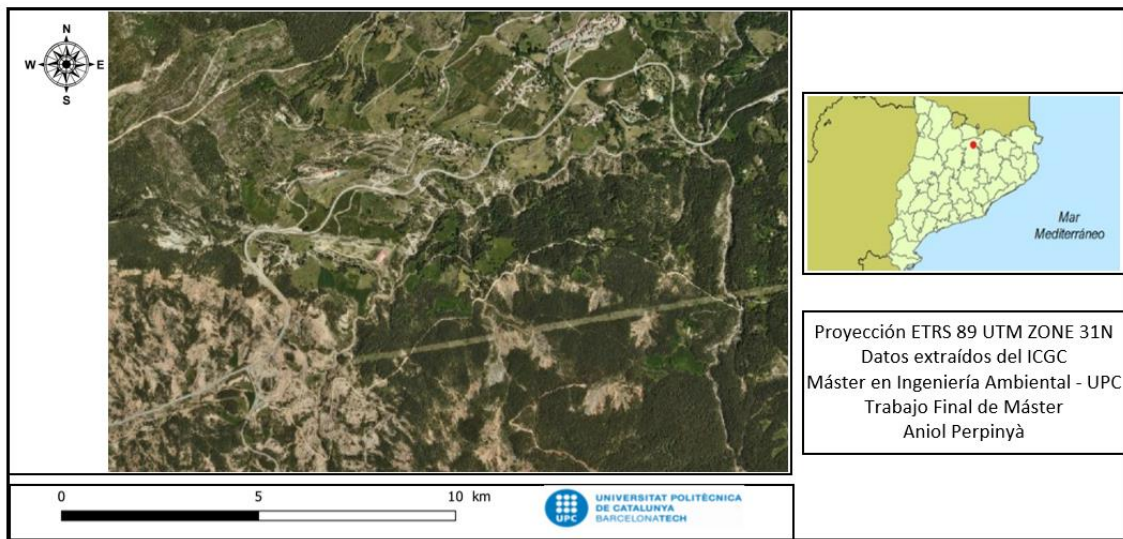


Figura 16: Representación de una ortofoto en Saldes.

Fuente: (<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>).

Una vez obtenida la ortofoto que se pretenda usar para llevar a cabo el estudio cartográfico necesario, se deberá revisar que las coordenadas X, Y, Z de la imagen sean correctas, la descarga de la imagen sea en formato TIF y tener un modelo digital de elevación acorde con las necesidades del tipo de imagen que se procesará. Corroborada toda esta información se podrá introducir la ortofoto en el QGIS para empezar su tratamiento.

Por otro lado, un elemento indispensable para la elaboración de mapas y tratamiento del terreno con las correspondientes aplicaciones SIG son los modelos digitales del terreno.

Se trata de un conjunto de capas, normalmente ráster, que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa denominada Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Existen varios tipos de MDE, pero los que se han usado para el desarrollo de este trabajo son los MDE 2x2 y MDE 5x5.

Las fases para la generación del MDE incluyen la creación del MDE, la manipulación para obtener las capas del Modelo digital del Terreno (pendiente, orientación, curvatura...), la visualización en dos o tres dimensiones, el análisis (estadístico, morfométrico...) del MDT y finalmente la aplicación de este.

No obstante, para la resolución de esta en todos los puntos del territorio se deberán definir elementos discretos sobre el territorio. Estos elementos son las curvas de nivel, la red irregular de triángulos (TIN) y el formato ráster para el desarrollo del MDE.

Finalmente, la construcción de un MDE se puede hacer mediante métodos directos o indirectos. Dentro de los métodos directos se distinguen los métodos mediante sensores remotos (altimetría y la radargrametría), métodos directos sobre el terreno (topografía convencional y posicionamiento del GPS), y para los métodos indirectos se destaca la restitución fotogramétrica y la digitalización.

5.3 Cálculo de la pérdida anual del suelo (USLE y RUSLE)

En relación con el cálculo de la pérdida anual del suelo de una zona, es necesario utilizar una serie de parámetros y herramientas como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (1). Esta ecuación empírica permite hacer una predicción anual de la pérdida del suelo por causa de la erosión. Las aplicaciones de la ecuación USLE son en tierras de cultivo, tierras forestales desgastadas, obras de construcción, tierras minadas, lugares donde ha habido eliminación de residuos etc. Para la implementación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es necesario una herramienta SIG, pues permite hacer una evaluación del riesgo que supone la erosión en el territorio que se pretenda estudiar.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Los parámetros representados en la ecuación 1 son los siguientes:

- Factor R: se calcula a partir de los valores de precipitación mensuales y anuales de dos estaciones meteorológicas cercanas a la zona que se pretende analizar. Este tipo de erosión, la causada a partir de la lluvia es la más importante y que mayores impactos tiene, pero dependerá de los períodos de retorno e intensidad.
- Factor K: tiene en cuenta las propiedades del suelo que han sido medidas en el campo a partir de estudios ya realizados.
- Factor LS: deriva del modelo digital de elevación del área. También se le puede llamar factor topográfico porque tiene en cuenta la longitud, el gradiente y el pendiente.
- Factor C: es el factor de cobertura y gestión. Para la resolución de este es necesario utilizar el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) juntamente con varias técnicas de teledetección.
- Factor P: es el factor de práctica de apoyo y se fija, normalmente, en 1 por la escasez de datos.

Esta ecuación se emplea a través de los Modelos Digitales de Elevación derivados de diferentes fuentes de datos con resoluciones de 90m, 150m, 210m y 270m.

Una vez se aplica esta fórmula mediante la herramienta correspondiente en los programas SIG que se utilicen, en el caso de este trabajo se utilizará el QGIS, el mismo programa, al usar el modelo USLE en la capa donde se quiera obtener la información, producirá un mapa de erosión del suelo en el que se podrán observar 3 clases de pérdida de suelo. Para el procesamiento de datos y análisis de los factores que conforman la ecuación USLE se realiza con capas ráster, aun siendo esta la ecuación más común, a lo largo de los años se ha empleado la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) se caracteriza por ser una ecuación mejorada de la anterior, pero manteniendo la estructura inicial de la ecuación USLE, la cual se empezó a implementar en 1993 en el Servicio de Conservación de Suelos y Aguas del USDA.

Una de las diferencias entre USLE y RUSLE (The Revised Universal Soil Loss Equation), en primer lugar, se encuentra en los valores que se obtienen para determinar la erosión con su modificación correspondiente por la cubierta vegetal, la mejora de los cálculos obtenidos de los factores del pendiente y en global, una información más detallada de los datos obtenidos. La ecuación RUSLE También hace más hincapié en la reducción de la erosión por parte de los residuos superficiales.

En segundo lugar, USLE consideraba que la escorrentía era uniforme a lo largo de la cuenca, mientras que RUSLE tiene en cuenta que la escorrentía puede canalizarse por los barrancos. Esto es una de las diferencias más importantes respecto a la ecuación USLE.

En tercer lugar, RUSLE tiene mejor captación de datos de las lluvias prolongadas cuando estas saturan los suelos. Gracias a ello se puede determinar que en ese suelo hay una menor captación y mayor escorrentía erosiva.

Finalmente, RUSLE considera los fragmentos de roca sobre el terreno y permite el tratamiento de datos de terrenos convergentes y divergentes considerando zonas de sedimentación neta.

Una vez contextualizada la ecuación que se empleará para el cálculo de la pérdida anual del suelo, es necesario detallar el proceso, representado en la figura 17, para la aplicación de esta. Dicha ecuación no podría emplearse sin la ayuda del programa QGIS.

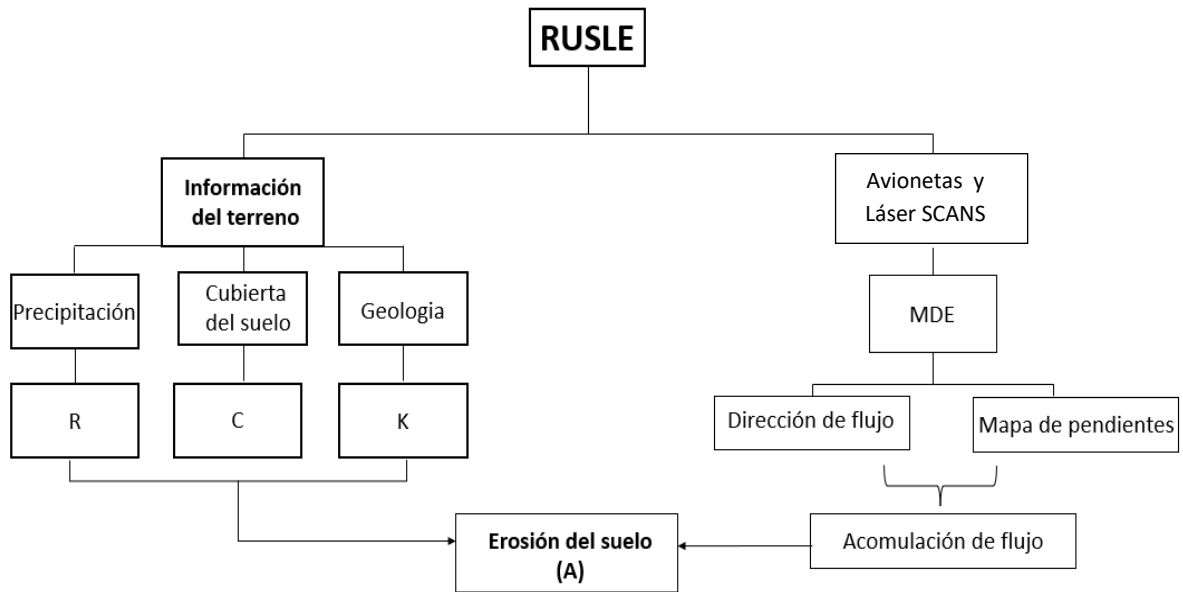


Figura 17: Esquema del procedimiento para el cálculo de la ecuación RUSLE.

Para el desarrollo de la ecuación RUSLE serán necesarios dos elementos principales: la información del terreno y la imagen satélite de la zona de estudio, en este caso, la cuenca de Saldes.

Para la información del terreno se requerirán datos de la precipitación (R), la cubierta del suelo (C) y la geología (K).

En referencia a la imagen satélite de la zona, se obtendrá un MDE, en el caso de estudio que ocupa el presente trabajo se ha trabajado con un MDE 2x2 con el que mediante la herramienta QGIS se podrá obtener la dirección de flujo y el mapa de pendientes, dando resultado a la acumulación de flujo.

Finalmente, una vez obtenidos todos los parámetros citados anteriormente, se podrá determinar la erosión del suelo (A).

5.4 Técnicas de teledetección ópticas (LIDAR)

Un LIDAR es un sensor óptico que transmite rayos láser hacia un objetivo y a su vez que se mueve por rutas topográficas ya establecidas. Los receptores analizan y detectan el reflejo del láser, y así pueden registrar el tiempo preciso desde que el láser dejó el sistema hasta que regresa, con lo cual se puede determinar la distancia exacta entre el sensor y el objetivo. El fin es obtener información de la superficie que se pretende estudiar produciendo mediciones exactas de la zona.

Los LIDAR surgieron como alternativa a las técnicas clásicas de la topografía tradicional. Esta herramienta produce datasets de una nube de puntos masivos que permiten al usuario visualizar y analizar la zona escogida mediante los programas SIG. Para llevar a cabo el desarrollo de captación de datos de un LIDAR es necesario un vehículo de recolección de datos, un sistema GPS y un INS (Sistema de navegación por inercia) que se encarga de medir la rotación, inclinación y encabezamiento del sistema LIDAR.

Los atributos que deben componer un LIDAR son; intensidad, número de devolución, número de devoluciones, clasificación de puntos, borde de la línea de vuelo, RGB, tiempo del GPS, ángulo de escaneo y la dirección de escaneo.

Los LIDAR se reconocen como datos de la nube de punto, esto significa que la información de la superficie que el láser encuentra se clasifica después de que la nube del punto LIDAR inicial es postprocesada. Todo lo que el láser encuentra durante su análisis forma los datos de nube de punto.

Existen dos tipos de LIDARS; los de primera cobertura (2008-2011) y los de segunda cobertura (2016-2017). En la siguiente table se exponen las diferencias entre ambos:

Tabla 1: Características LIDAR 1 vs LIDAR 2.

Nombre de la clase	Descripción de los puntos incluidos en cada clase	
	1ra Cobertura (2008-2011)	2.da Cobertura (2016-2017)
Default	En esta clase se incluyen los puntos que no se han podido clasificar de manera automática, entre los que se incluyen los puntos que abarcan de 70 a 200m y puntos situados en el mar y zonas fronterizas con Francia y Aragón.	
Ground	Son los puntos que se clasifican de manera automática y son editados manualmente.	Son los puntos del terreno clasificados de manera automática, pero para la realización del MDT se debe incluir la clase Model keypoints.
Low vegetation	En esta categoría se incluyen los puntos de vegetación que tienen una altura superior a 0,15 y 2m. Están clasificados automáticamente.	
Medium vegetation	Para la categoría de <i>medium vegetation</i> se incluyen los puntos de 2m a 3m clasificados de manera automática.	
High vegetation	Finalmente, la categoría <i>high vegetation</i> , son aquellos puntos superiores a 3m clasificados de manera automática.	
Building	En esta categoría se engloban los tejados de los edificios con una superficie mínima de 40m ² y 3m de altura. Son clasificados de manera automática.	
Low points	Son los puntos que están 1m por debajo respecto a los puntos colindantes situados a menos de 10m de distancia. Son editados manualmente.	Son los puntos que están clasificados 1m por encima de los puntos colindantes a menos de 10m de distancia.

<i>Model keypoints</i>	-	El objetivo es presentar una simplificación de los puntos clasificados en el terreno de manera automática.
<i>Air points</i>	Son puntos clasificados automáticamente y editados manualmente a una altura de más de 200m.	Son puntos clasificados automáticamente con una altura superior a 200m.
<i>Otero ground</i>	Categoría que incluye los puntos clasificados de manera automática que incluyen la altura de -5m y 0,15m.	
<i>Wires</i>	Se incluyen los cables eléctricos. Edición manual.	-
<i>Transmission tower</i>	Abarca las torres de electricidad con una intensidad media-alta. Se clasifican de manera automática y se editan manualmente.	-
<i>Other towers</i>	Recoge los puntos de las torres de baja tensión y otras. Se clasifican de manera automática y se editan manualmente.	-
<i>Noise</i>	Se engloban los puntos duplicados con intensidades muy bajas. Se clasifican de manera automática.	

La siguiente tabla presenta las diferencias entre el LIDAR de segunda cobertura (2016-2017) debido a su mayor fiabilidad y actualidad de los datos que ofrece respecto al modelo de elevación del terreno 2x2:

Tabla 2: Comparativa LIDAR 2.da Cobertura con MDE 2x2.

LIDAR 2.da Cobertura (2016-2017)	Modelo de elevación del terreno 2x2
Tiene una densidad mínima que se ubica en los 0,5 puntos/m ²	Es un modelo que está compuesto por una malla regular de 2x2, aunque también existen los de 5x5
Se cubren todas las partes de Cataluña	Tiene altitudes ortométricas
Cada punto del LIDAR tiene asociado una fecha y una hora de cuando se capturó la información.	Es un modelo que se basa en datos LIDAR
Los datos se distribuyen por bloques de 2x2 km	Proporciona una exactitud altimétrica estimada con un error mediano de 0,15m

6. Resultados

El presente capítulo se divide en 3 puntos;

- En primer lugar, se hará una comparativa de los LIDAR con los LIDAR v2 de la zona de la cuenca de Saldes con los respectivos cambios y/o diferencias entre ambas versiones. En este apartado simplemente se presentarán a grandes rasgos las diferentes aplicaciones con el QGIS con los datos descargados LIDAR del ICGC, con ello simplemente se pretende hacer referencia a esta herramienta de la zona de estudio. Esto es debido a que el tema de la erosión es difícil de cuantificar en la zona de estudio, porque no existen unas áreas de gran extensión territorial, sino que solo hay zonas determinadas y el LIDAR no proporciona una información, en este caso, significativa.
- En segundo lugar, se presentan los resultados de todo el análisis morfológico de la zona de la cuenca de Saldes. Para el desarrollo de estos cálculos, se escogió en primer lugar la zona más pequeña para el procesado de datos. Esto es debido a que la realización de cálculos en áreas más grandes puede dar problemas para la representación de los resultados, por ello, algunos de los cálculos se hicieron primero en la zona sur de la cuenca y una vez corroborado que no había problemas con las representaciones e interpretaciones de los resultados se procedió a realizar los mismos cálculos para toda la zona de la cuenca de Saldes.
- Finalmente, una vez terminado el análisis morfológico se procede a la implementación de la ecuación RUSLE permite la representación de los resultados finales obtenidos con el programa QGIS para poder determinar la pérdida de uso de suelo por erosión de la cuenca de Saldes.

6.1. LIDAR de la cuenca de Saldes

En primer lugar, se presentarán los LIDAR de las hojas 394674 y 396674 que corresponden a la zona de la cuenca de Saldes. Estas hojas se han extraído del ICGC y se han tratado en el programa QGIS. Para la visualización de datos LIDAR en QGIS es necesario instalar el complemento LAStools en el apartado de “Complementos – Gestiona e instala complementos”.

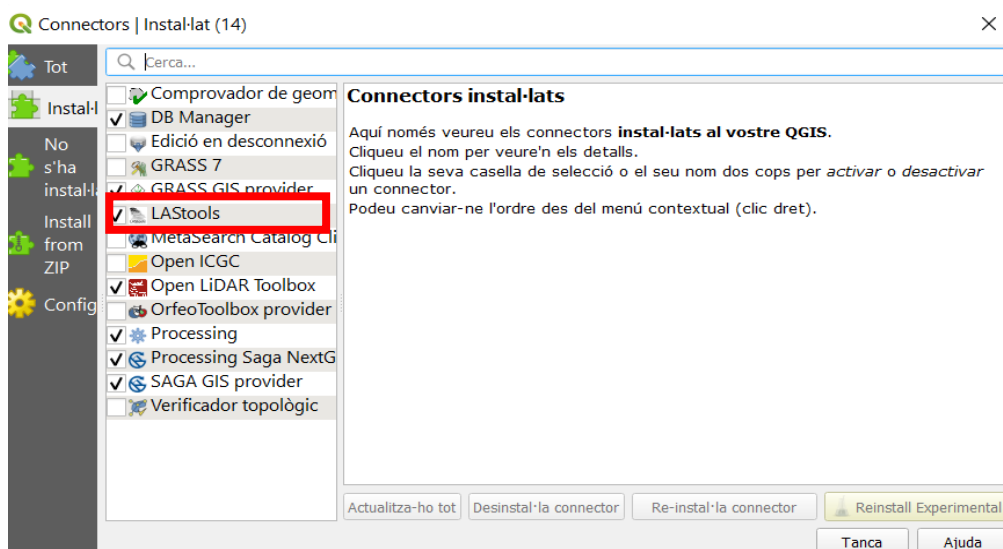


Figura 18: Instalación en QGIS de la herramienta LAStools.

Una vez instalado este complemento, se añadirá a la caja de herramientas dicho complemento y permitirá visualizar, tratar, convertir etc los ficheros LIDAR con extensión .laz.

- ▼ LAStools
 - ▶ file - checking quality
 - ▶ file - conversion
 - ▶ file - processing points
 - ▶ file - raster derivatives
 - ▶ file - vector derivatives
 - ▶ folder - checking quality
 - ▶ folder - conversion
 - ▶ folder - processing points
 - ▶ folder - raster derivatives
 - ▶ folder - vector derivatives
 - ▶ pipeline - file
 - ▶ pipeline - strips

Figura 19: Diferentes usos de LAStools para los LIDAR.

El primer paso para mostrar la información descargada será seleccionar la herramienta “*lasview*” donde se podrá visualizar la nube de puntos de la zona de la cuenca de Saldes.

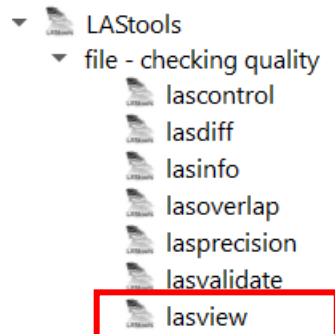


Figura 20: Herramienta para la visualización de datos LIDAR.

Una vez se selecciona la herramienta “*lasview*” automáticamente se abre una pantalla donde aparece la siguiente imagen, una nube de puntos de las dos hojas (394674 y 396674). Para favorecer su visualización se han editado y unido. En este caso se ha seleccionado el parámetro “*color by – classification*”, representado en la figura 20.



Figura 21: Selección de visualización del LIDAR de la zona de la cuenca de Saldes.

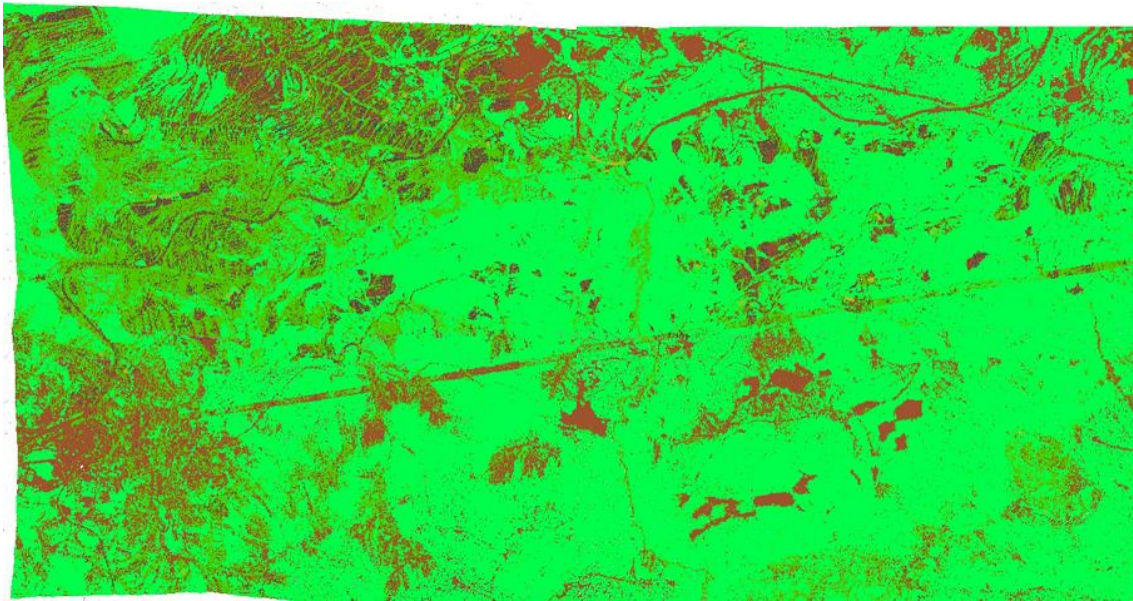


Figura 22: LIDAR de las hojas 394674 y 396674 de la cuenca de Saldes.

En segundo lugar, se han visualizado los mapas de las dos hojas mediante el parámetro “color by - intensity” que informa sobre la intensidad de la zona de estudio, representado en la figura 22.



Figura 23: Selección de visualización del LIDAR de la zona de la cuenca de Saldes.



Figura 24: LIDAR's de las hojas 394674 y 396674 representadas con intensidad.

En segundo lugar, se procede a representar los LIDAR v2 para las mismas hojas de estudio.

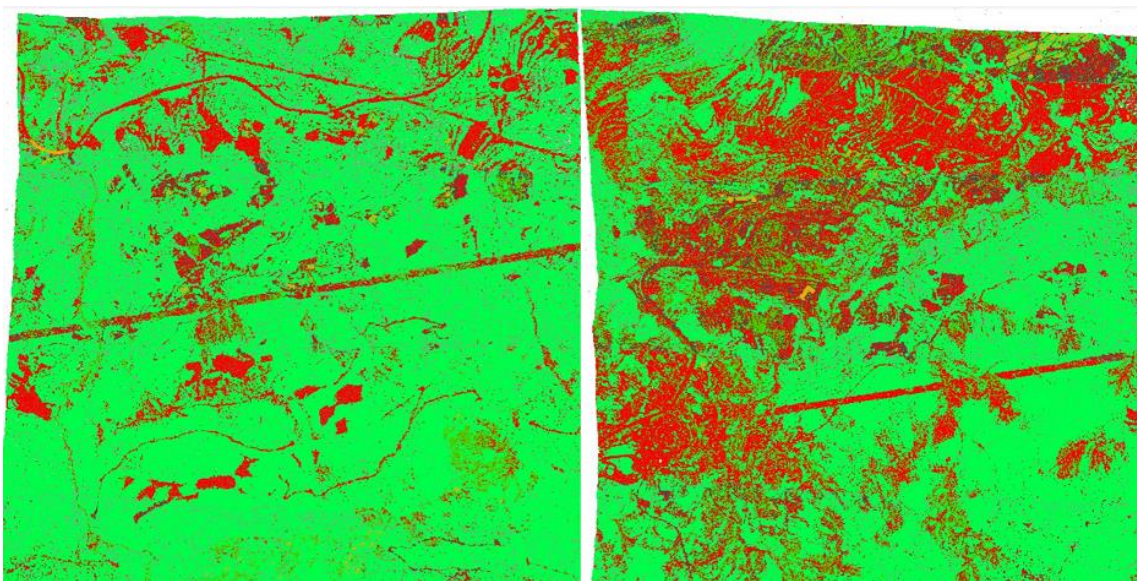


Figura 25: LIDAR's v2 de las hojas 394674 y 396674 de la cuenca de Saldes.

Posteriormente, se presentan los mapas LIDAR v2 en referencia a la intensidad de la zona de estudio siguiendo la misma metodología de selección de “color by - intensity” en la herramienta LAsTools.



Figura 26: LIDAR de las hojas 394674 y 396674 representadas con intensidad.

En el caso de la cuenca de Saldes, como se ha comentado en el apartado inicial de los resultados, es difícil cuantificar la erosión de la zona en metros. Si bien es cierto que en las figuras presentadas hasta ahora si se puede observar las zonas erosionadas, estas no corresponden a la zona concreta de la cuenca de Saldes, sino que son las hojas del ICGC que cubrían parte de la cuenca de Saldes. Otra problemática que se encontró con el tratamiento de datos LIDAR es que no se podría superponer el shapefile de la cuenca de Saldes en las hojas LIDAR debido a sus diferencias de formato.

6.2 Análisis Morfológico

El análisis morfológico de una cuenca hidrográfica se basa en el estudio, entre otros aspectos, la superficie, el relieve, la orientación, el drenaje, y la pendiente lo que permite conocer las características físicas de la cuenca, así como realizar comparaciones entre varias cuencas.

Es necesario conocer los diferentes elementos que conforman una cuenca para hacer una correcta aplicación de los cálculos y para determinar posteriormente la pérdida de suelo mediante la ecuación RUSLE. A continuación, se procede a representar los diferentes parámetros que conforman la cuenca de Saldes.

En primer lugar, todos los cálculos y representaciones con el programa QGIS que se han realizado para el tratamiento de datos de la cuenca de Saldes se han hecho en base al shapefile representado en la figura 27. El shapefile de Saldes es vital para todas las operaciones siguientes, gracias a él se ha podido desarrollar todo el apartado de análisis morfológico y aplicación del método RUSLE.

Es una capa vectorial en la que todos los cálculos de las capas tanto vectoriales como ráster se pueden llevar a cabo en la misma. Aun así, se le debe aplicar la proyección correspondiente, en este caso ETRS89 Zone 31 N.

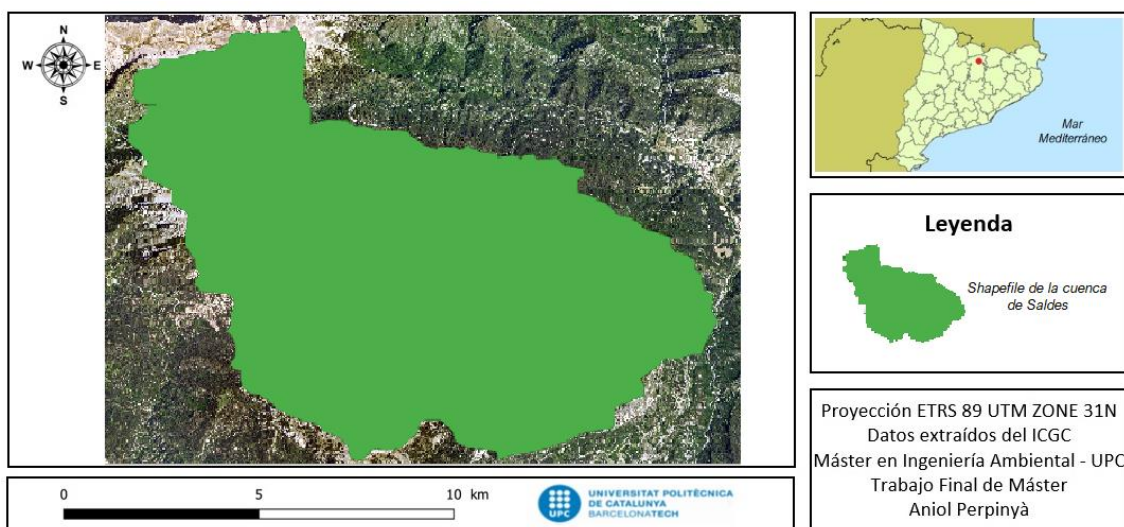


Figura 27: Shapefile de la cuenca de Saldes.

Una vez representado el shapefile de Saldes, mediante el programa QGIS se puede saber la longitud de la cuenca y el área de esta.

En primer lugar, para determinar la longitud de la cuenca se tendrá en cuenta el canal principal que atraviesa toda la cuenca de Saldes, para la medición de este se usará la herramienta representada en la figura 28.

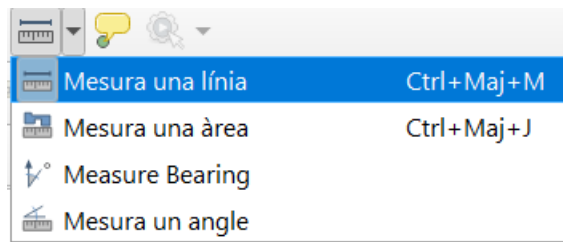


Figura 28: Herramienta para la medición de longitudes en QGIS.

Una vez seleccionada la herramienta “medida una línea” se trazará el canal principal, desde su inicio hasta su fin representado en el figura 29, situada en anejos, dando un valor de 17,083 km de longitud. Este mapa se usará posteriormente para la determinación de los diferentes canales y la red de bifurcación de la cuenca de Saldes.

En referencia al área de la cuenca es importante para los próximos cálculos, pues en algunas de las herramientas de la caja de herramientas, será necesario poner la extensión de la cuenca. Para ello se ha utilizado la herramienta representada en la figura 29 con la que se puede medir la extensión en kilómetros, metros, hectáreas etc de un área determinada.

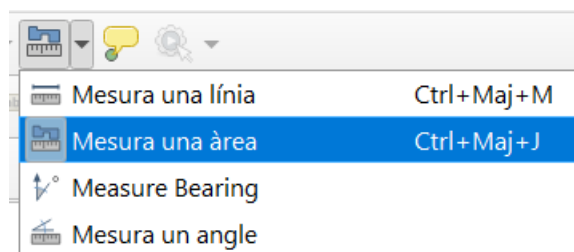


Figura 30: Herramienta para el cálculo del área de un polígono.

Una vez seleccionada la herramienta se procede a delimitar la cuenca, dando el resultado final una extensión de 103,405 km². En la figura 31 se presenta la delimitación del polígono de Saldes representado en km².

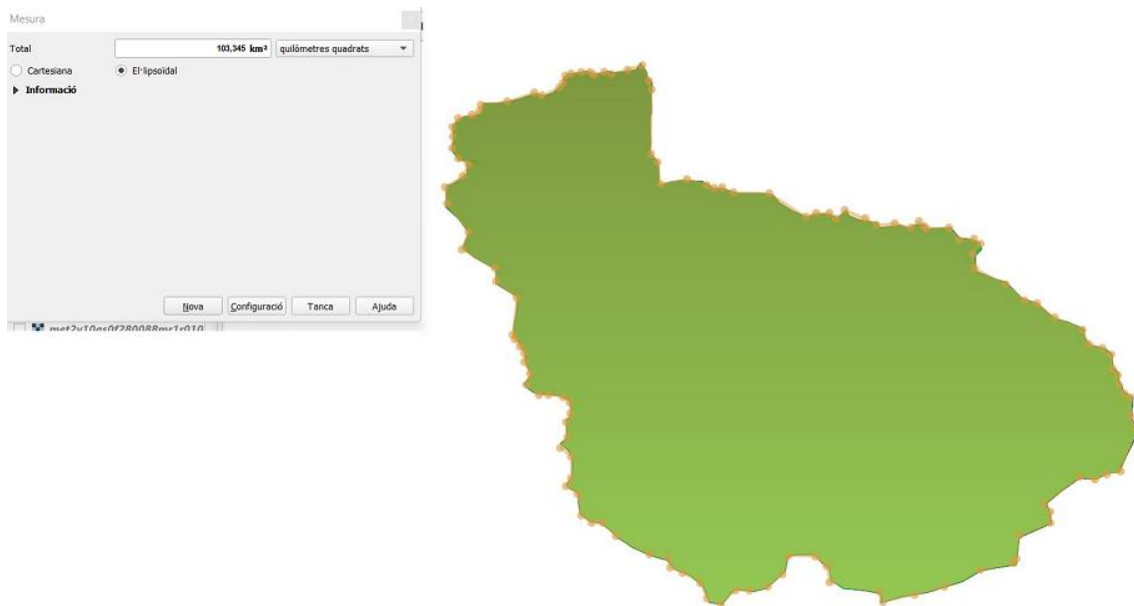


Figura 31: Calculo del área del polígono de la cuenca de Saldes.

Delimitada el área de estudio, se descargaron las ortofotos 280-085, 280-086, 281-085, y 281-086 con el objetivo de obtener una representación de todos los elementos de la zona de estudio a la misma escala, sin errores ni deformaciones en un mismo plano cartográfico.

Ortofoto de la Cuenca de Saldes

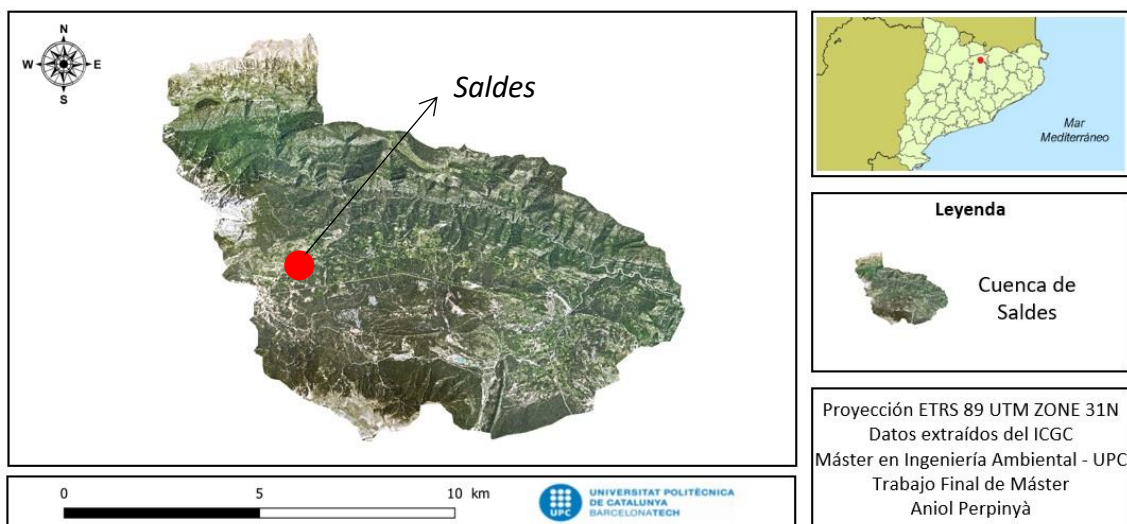


Figura 32: Ortofoto de la cuenca de Saldes.

Posteriormente, y teniendo en cuenta el shapefile inicial, se descargaron los Modelos Digitales de Elevación del Terreno 2x2 del ICGC de la zona de estudio. Estos MDE2x2 corresponden a las hojas 278-086 y 279-086.

En primer lugar, descargadas las capas de los MDE2x2 de la zona, se añadieron al proyecto tal y como se representa en la figura 33.

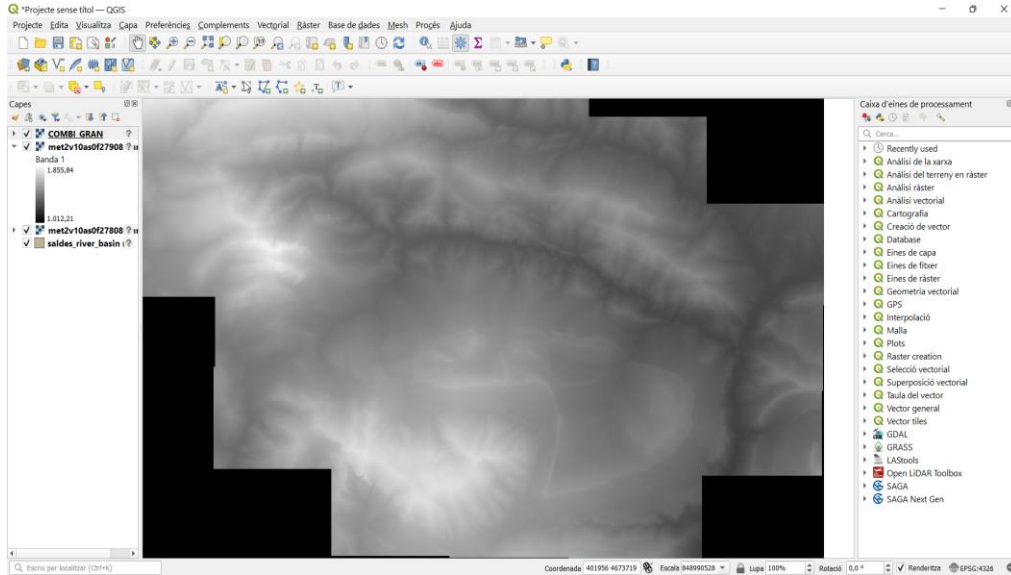


Figura 33: Capas de MDE2x2 añadidas en el proyecto.

Una vez representado el MDE2x2 en el proyecto se procederá a asignar la proyección de la capa, representado en la figura 34.

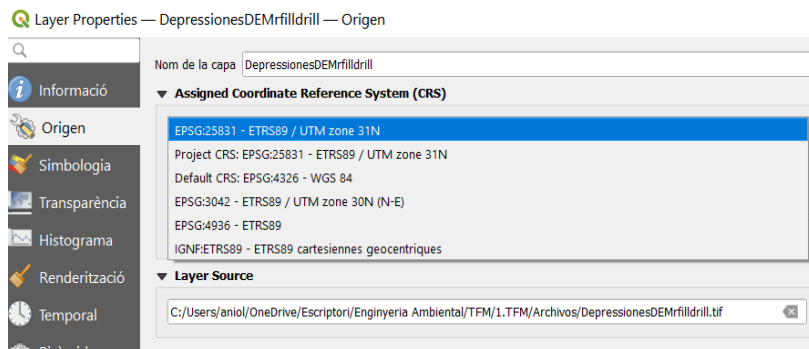


Figura 34: Asignación de las coordenadas de la capa.

Para el recorte de los MDE2x2 con el shapefile de Saldes se deberá emplear la herramienta representada en la figura 35.

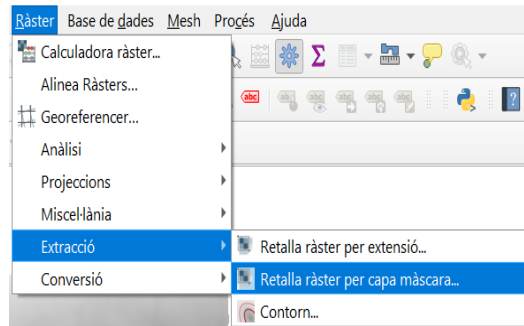


Figura 35: Herramienta para recorte de shapefile con los MDE2x2.

Después de obtener la capa de MDE2x2 recortada se procederá a rellenar los diferentes vacíos con la herramienta *r.fill.drill* situada en la caja de herramientas de procesado en el apartado GRASS – ráster (r.*). Su función principal es generar una capa de elevaciones sin depresiones a partir de una capa ráster. Para el desarrollo de esta herramienta se usará como base la capa de MDE2x2 de la cuenca. Una vez generada esta capa, se procesarán tres capas: “DEM sin depresiones”, “Problem Areas” y “Flow Direction”, representado a continuación en la figura 36.

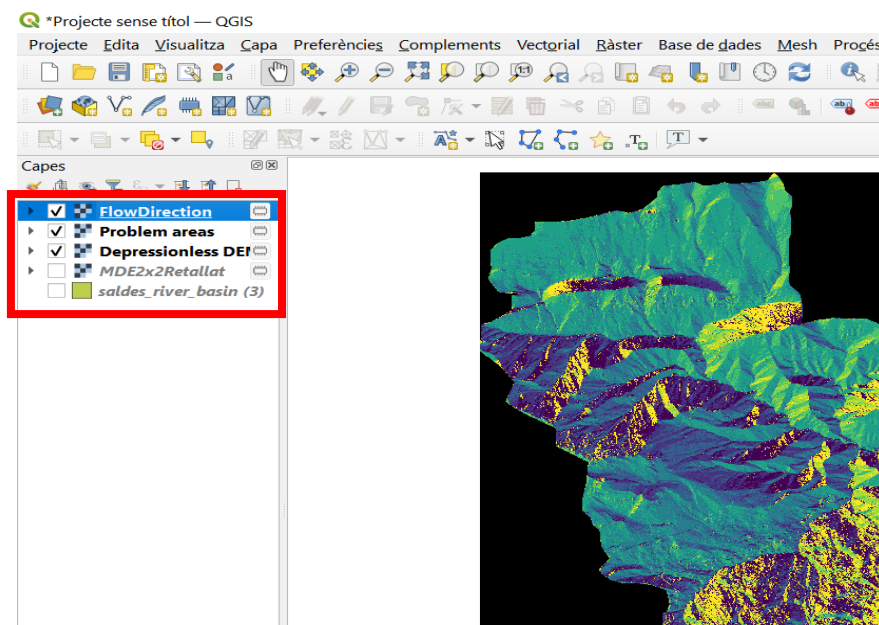


Figura 36: Representación de los valores obtenidos de la aplicación de la herramienta *r.fill.drill*.

Generadas estas tres capas, se deberá repetir la operación para que la capa de “Problem Areas”, previamente representada en negro, salga de manera correcta en color amarillo y así se obtendrá la dirección de flujo de la cuenca de Saldes.

Dirección de flujo de la Cuenca de Saldes

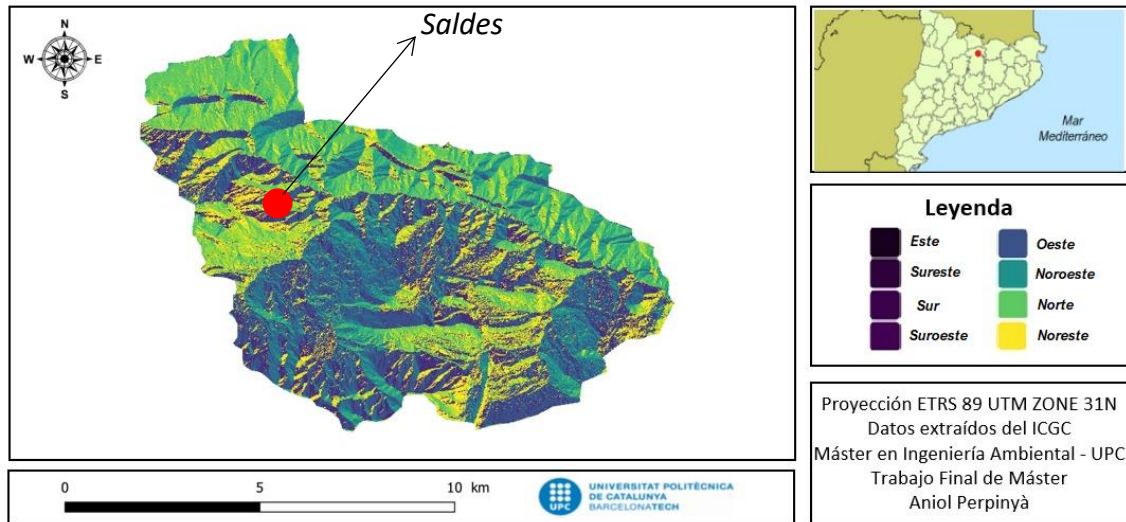


Figura 37: Orientación de flujo de la cuenca de Saldes.

Con los vacíos corregidos del MDE2x2 se obtiene el MDE2x2 corregido en el que se puede determinar también las diferentes altitudes de la zona de la cuenca de Saldes.

Altitud y MDE 2x2 de la Cuenca de Saldes

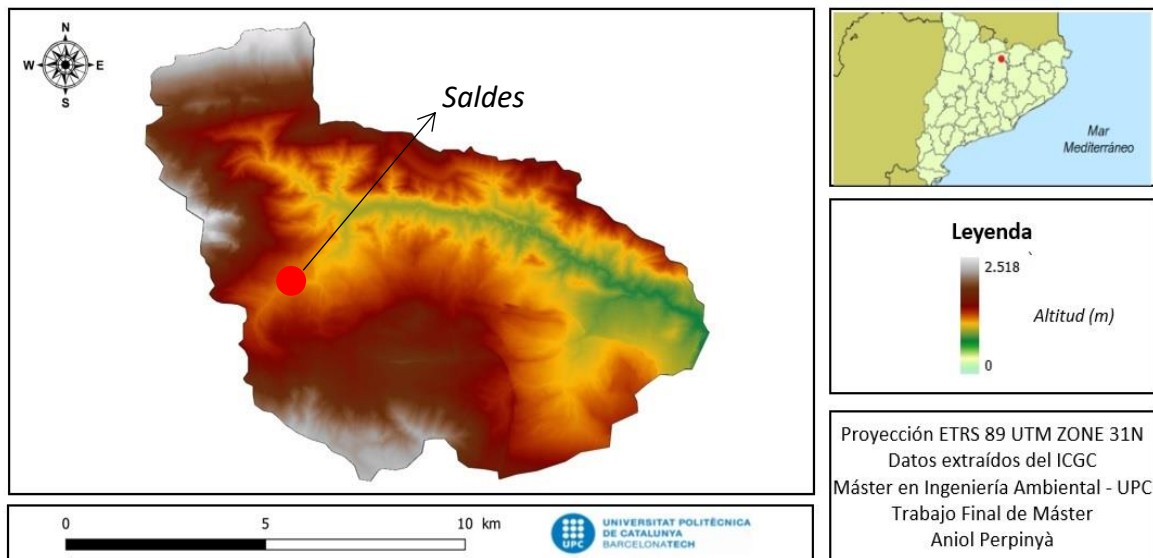


Figura 38: Representación del MDE2x2 corregido.

La importancia de tener el MDE2x2 corregido es vital para poder realizar las siguientes operaciones de manera correcta.

A continuación, y siguiendo la misma metodología de trabajo de los mapas anteriores, en base al MDE2x2 corregido se ha podido realizar el mapa del pendiente de la cuenca de Saldes.

Pendiente de la Cuenca de Saldes

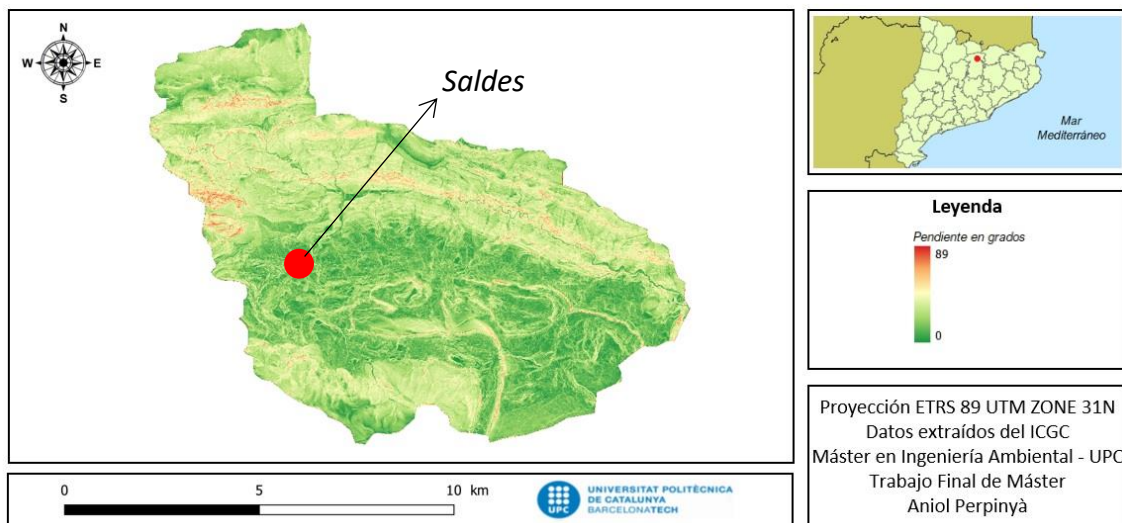


Figura 39: Representación del pendiente de la cuenca de Saldes.

En el este mapa se puede observar la representación del pendiente de toda la cuenca de Saldes representado en grados. Cabe destacar que en las zonas de hay menos inclinación y por lo tanto son más llanas, el pendiente es menor.

Por ende, en las zonas superiores a la cuenca de Saldes, se observa que existe un mayor pendiente expresado en grados debido a las diferentes cadenas montañosas y macizos que hay en la zona. Entre estos destaca la montaña del Pedraforca, que, aunque no se sitúe en la zona central de la cuenca de Saldes es uno de los motivos por los que en la zona N-W el pendiente sea tan pronunciado. Otra de las zonas en las que existe un pendiente altamente pronunciado es toda la zona que abarca la parte Oeste a Este de la parte superior de la cuenca.

Siguiendo con el análisis morfológico de la cuenca de Saldes, y una vez tratados los aspectos anteriores, se procederá a usar la herramienta “*r.watershed*”, una herramienta de QGIS situada en la caja de herramientas de procesamiento en el apartado GRASS – ráster (r.*). El objetivo del empleo de esta herramienta es el análisis de cuencas.

Para el empleo de esta herramienta se debe conocer el área de estudio, siendo esta de 103.345 km², este valor se aplicará en el cálculo juntamente con la capa de DEM sin depresiones en el apartado “*altitud*” obtenida de la operación *r.fill.drill* de toda la cuenca.

Una vez realizada la operación se generan las siguientes capas:

- Numero de celdas que drenan a través de cada celda.
- Segmentos de transmisión.
- Dirección de drenaje.
- Etiqueta única para cada cuenca hidrográfica.
- Semicuencas.
- Índice topográfico $\ln(a/\tan(b))$.
- Índice de potencia de flujo $a' \tan(b)$.
- Factor de inclinación del pendiente (S) para USLE.
- Longitud del pendiente y factor de inclinación (LS) para USLE.

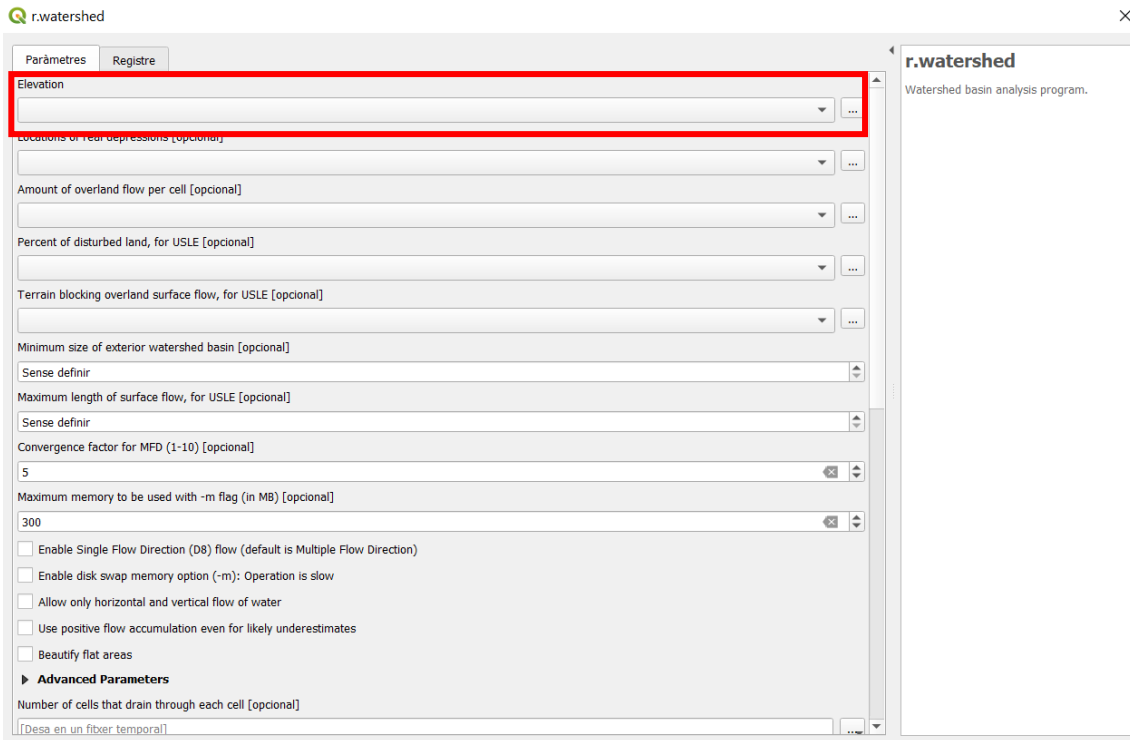


Figura 40: Empleo de la herramienta r.watershed.

Para la ejecución de esta herramienta, en el apartado “Elevation” se deberá colocar el ráster mde2x2 corregido para evitar los espacios vacíos. En segundo lugar, en el apartado “Minimum size of exterior watershed basin” se colocará la extensión en km² del área de la cuenca de Saldes. Un vez colocados ambos factores se obtendrán los resultados de la lista anteriormente comentada y su correspondiente representación.

Subcuencas de la Cuenca de Saldes

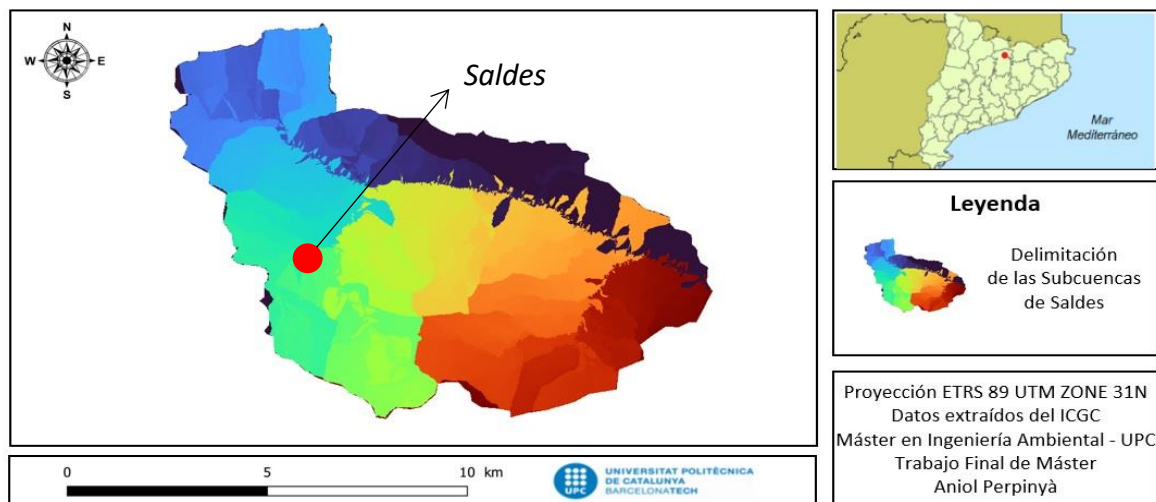


Figura 41: Representación de las subcuencas de la cuenca de Saldes.

El mapa de las subcuencas es importante para poder hacer una correcta caracterización de la zona a una escala más detallada y en caso de realizar estudios concretos del terreno ofrece mayor exactitud de datos.

Estas subcuencas son superficies de terreno que drenan a un solo cauce con una menor extensión kilométrica que la cuenca principal. Se caracterizan por una escorrentía superficial que fluye a través de los canales, corrientes, ríos etc de la zona que tienen un caudal fluctuante pero permanente.

En el caso de la cuenca de Saldes no ha sido necesario hacer una división de las subcuencas en microcuencas presentadas en la figura 41 debido a su exactitud en cuanto a la extensión territorial de estas subcuencas.

Uno de los resultados, entre otros, que se puede obtener de la herramienta “*r.watershed*” es la dirección del drenaje de la cuenca representado en la figura 42.

Dirección de drenaje de la Cuenca de Saldes

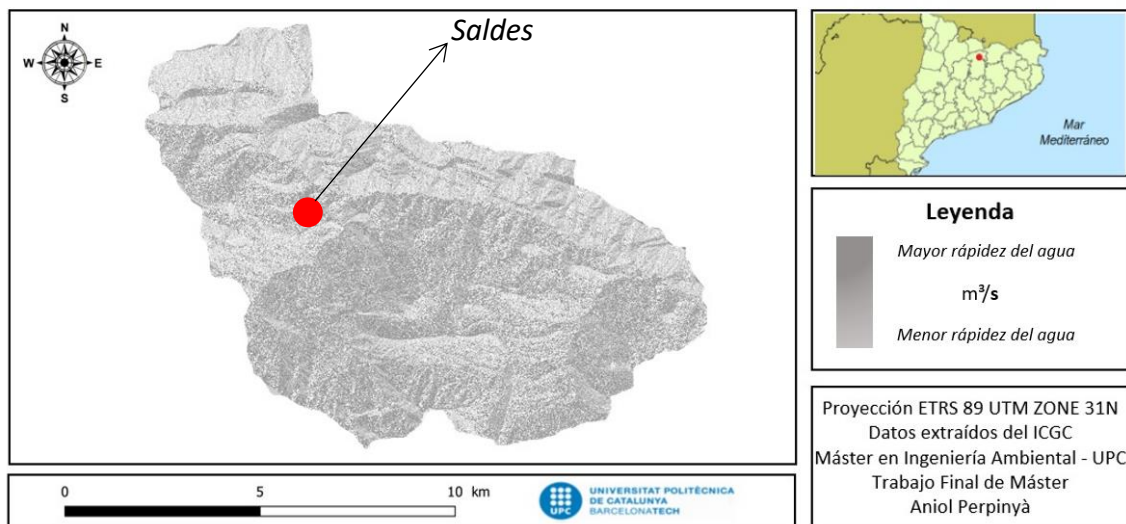


Figura 42: Representación de la dirección de drenaje de la cuenca de Saldes.

El objetivo de la representación del mapa de dirección de drenaje consiste en determinar la dirección de la afluencia del agua sobre el relieve de la cuenca de Saldes, en otras palabras, la rapidez con la que se desaloja la cantidad de la cuenca. La forma en

la que se distribuye una red de drenaje indicativa las condiciones del suelo y la superficie de la cuenca.

En la figura 43 se ha realizado una ampliación de una zona de la cuenca de Saldes en referencia a la red de drenaje para ver con mayor detalle el objeto analizado en este apartado.

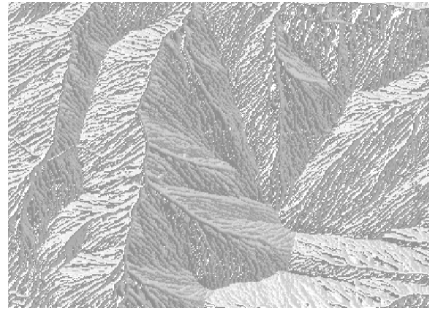


Figura 43: Ampliación del mapa 9 sobre la red de drenaje de la cuenca de Saldes.

Para la representación del mapa de dirección de drenaje se deben tener en cuenta varios factores; en primer lugar, cuando el valor del píxel es 0, indica que esa zona es una zona de depresión, y en segundo lugar los valores negativos de la escorrentía indican que la escorrentía fluye hacia fuera de los límites de la región geográfica definida y esto podría suponer un problema para la determinación de la dirección del flujo. Finalmente, el valor absoluto de los píxeles negativos son los que indican la dirección del flujo de la cuenca.

Índice de la humedad del suelo de la Cuenca de Saldes

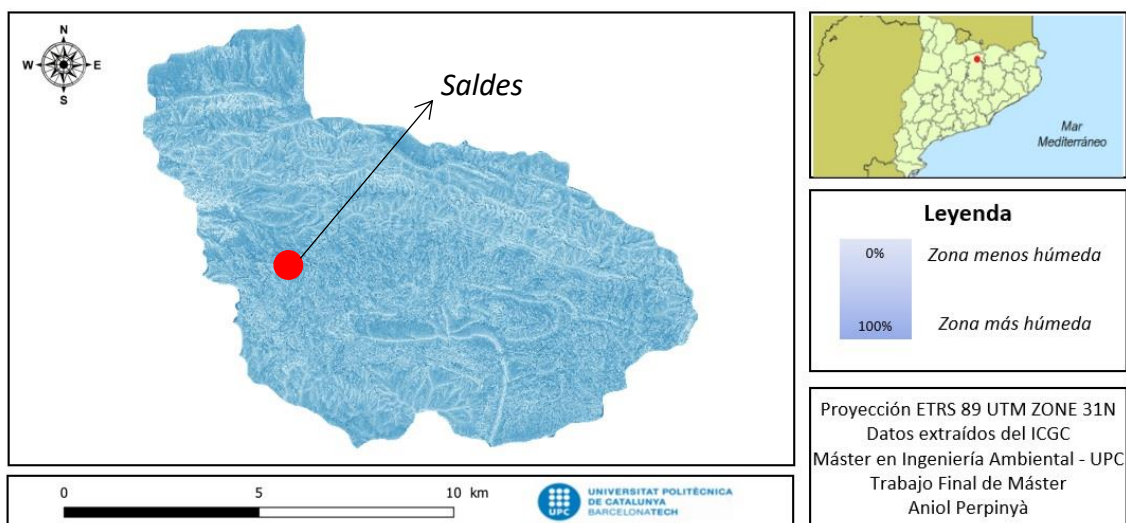


Figura 44: Representación del índice de la humedad en la cuenca de Saldes.

En la figura 44 se hace referencia al índice eficaz de la humedad del suelo de la cuenca de Saldes. Este índice representa diferentes áreas de pendiente ascendente y descendente de la zona estudiada.

Este aspecto se debe relacionar con las zonas de mayor y menor acumulación de humedad representadas en porcentaje de la cuenca estudiada. Gracias al mapa de índice de humedad se puede determinar que en las zonas más densas o de mayor acumulación de humedad pueden afectar al ecosistema que habite a la zona produciendo alteraciones en el desarrollo de este y futuras especies de esa comunidad animal o vegetativa. No solo sirve para identificar parámetros vegetativos y/o de especies, sino que también puede determinar la calidad del suelo para el sector agrario.

Otra de las informaciones que la herramienta "*r.watershed*" proporciona es el índice de la potencia de flujo. Gracias a este parámetro se podría llegar a identificar la erosión potencial en un punto en concreto.

El objetivo es poder determinar que ese punto tenga mayor o menor capacidad para acumular agua en función del grado de pendiente que exista en el mismo.

- A menor pendiente existirá una mayor capacidad de acumulación de agua y el flujo será menor.
- A mayor pendiente habrá mayor energía erosiva y por ende la potencia del flujo tendrá menor capacidad de acumulación de agua.

Factor de inclinación de pendiente (S) para USLE

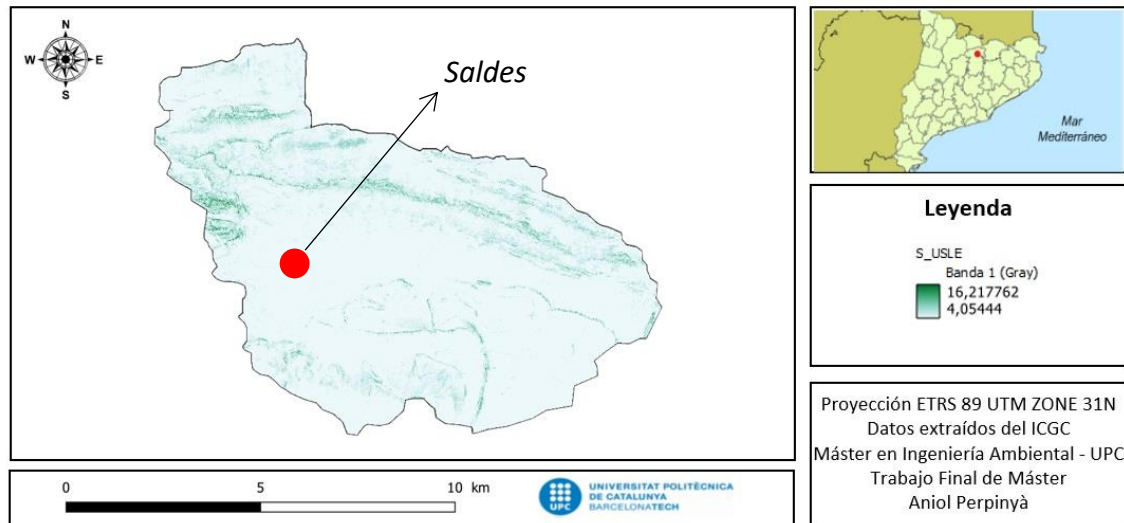


Figura 45: Representación del factor de inclinación de pendiente (S) para USLE en QGIS.

Como se observa en la figura 45, el factor de inclinación solo presenta una alta densidad en las zonas donde existe mayor relieve de la cuenca de Saldes.

Para concluir con el apartado de análisis morfológico de la cuenca de Saldes se ha estudiado la red de drenaje de la cuenca. Para la determinación de la red de drenaje de la cuenca de Saldes se ha hecho un análisis de los diferentes patrones de drenaje que pueden existir en una cuenca hidrográfica representados en la figura 46.

- Patrón de drenaje dendrítico.
- Patrón de drenaje radial.
- Patrón de drenaje rectangular.
- Patrón de drenaje enrejada.

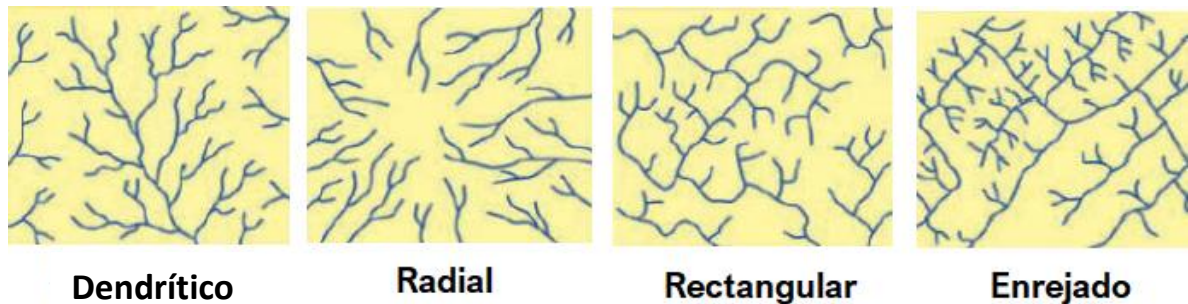


Figura 46: Representación de los diferentes tipos de patrones de drenaje.
Fuente: (<https://geologiaweb.com/>, sense data).

Para la obtención de la red de drenaje de la cuenca de Saldes, se utilizó la herramienta “r.to.vect”, representada en la figura 47, sobre la capa de segmentos obtenida de los diferentes resultados de la herramienta “r.watershed”.

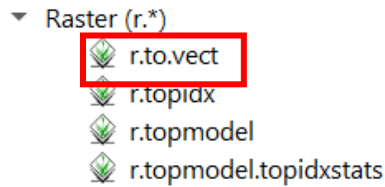


Figura 47: Herramienta para conversión de una capa ráster a una capa shapefile.

Dando como resultado el mapa de la red de drenaje de la cuenca de Saldes representado a continuación, donde se aprecia claramente que la cuenca de estudio tiene un patrón de drenaje dendrítico.

Red de drenaje de la Cuenca de Saldes

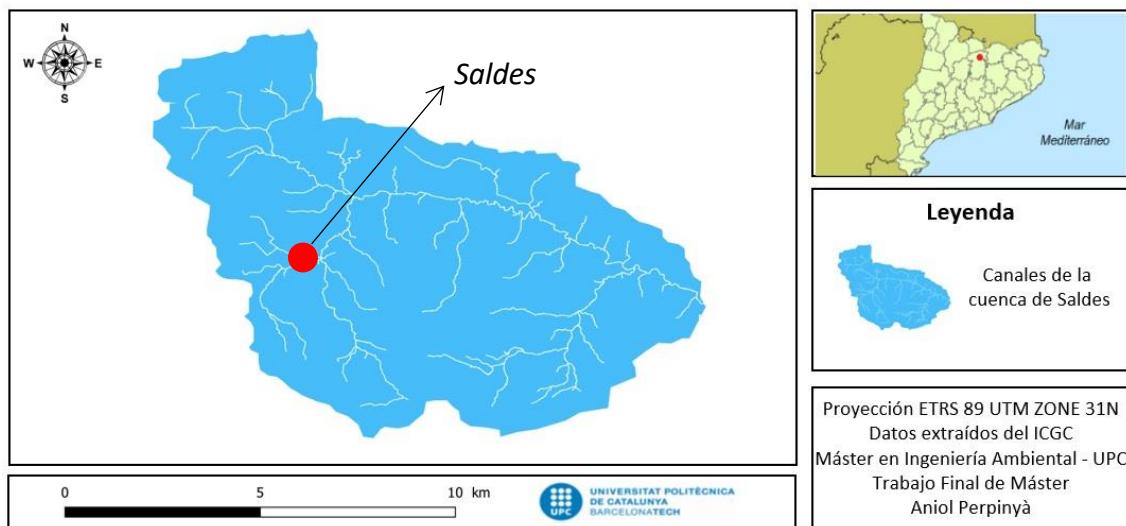


Figura 48: Representación de la red de drenaje de la cuenca de Saldes.

Una vez obtenido el mapa de la red de drenaje se procede a calcular la relación de bifurcación de los diferentes segmentos. Para la determinación de la relación de la red de bifurcación es necesario delimitar el orden de corrientes de la cuenca en orden 1, orden 2 y orden 3. A continuación, se representan las corrientes de orden 1 de la cuenca de Saldes.

Corrientes de orden 1 de la cuenca de Saldes

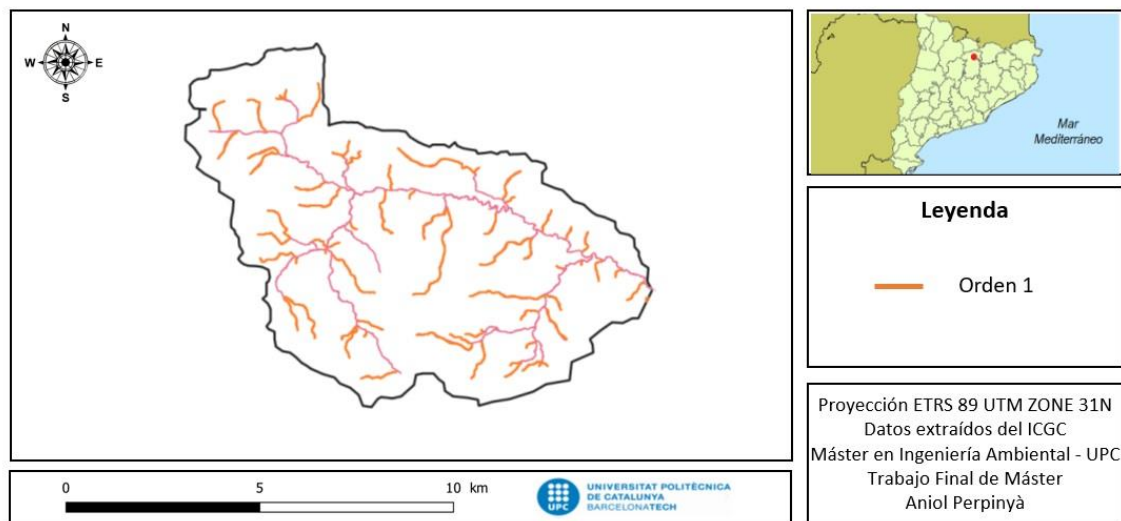


Figura 49: Representación de las corrientes de orden 1 de la cuenca de Saldes.

Seguidamente, se han delimitado las corrientes de orden 2, representadas en la figura 50.

Corrientes de orden 1 y 2 de la cuenca de Saldes

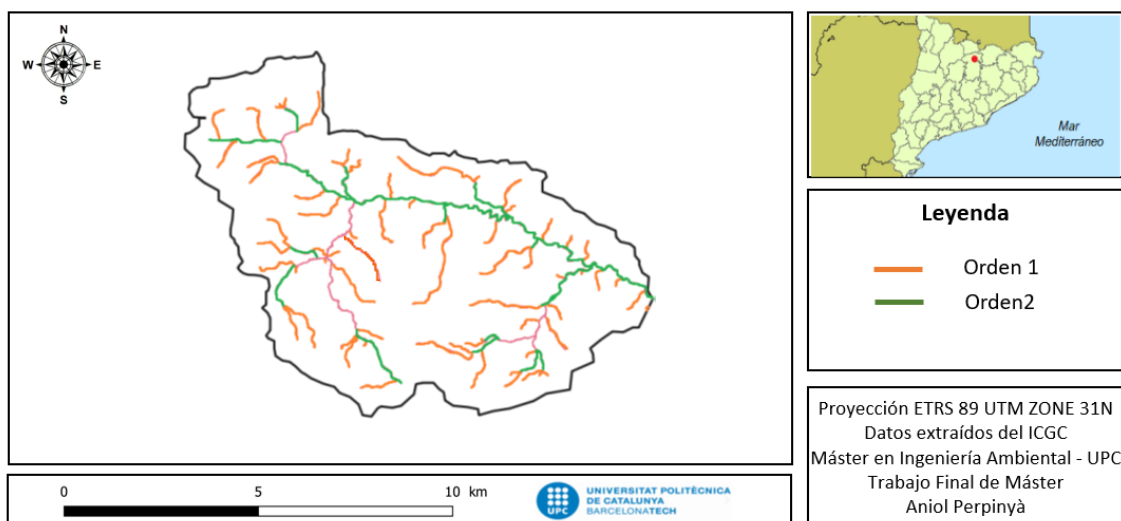


Figura 50: Representación de las corrientes de orden 1 y 2 de la cuenca de Saldes.

Finalmente, se puede ver la representación de todas las corrientes de orden 1, 2 y 3 de la cuenca de Saldes en la figura 51.

Corrientes de orden 1, 2 y 3 de la cuenca de Saldes

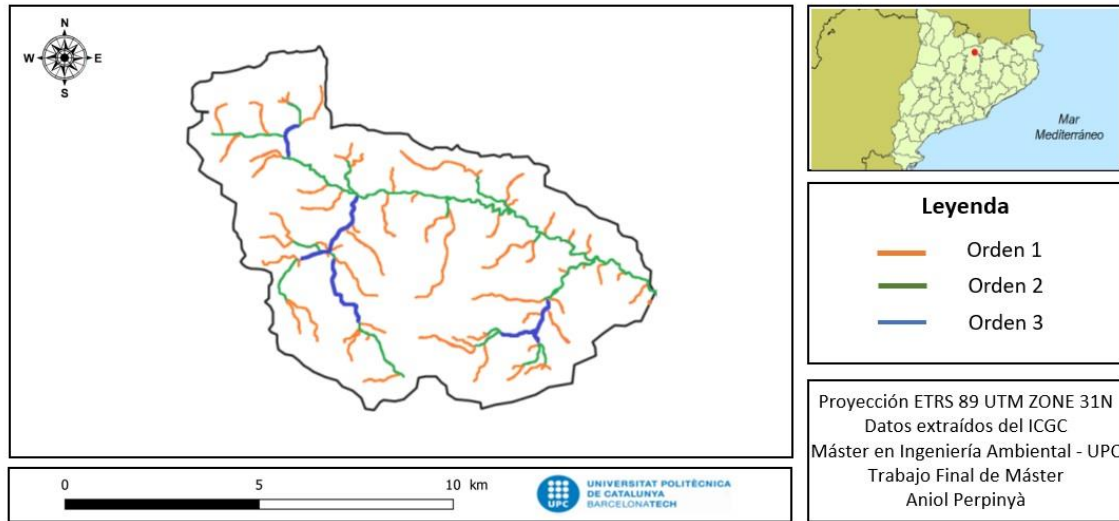


Figura 51: Representación de las corrientes de orden 1, 2 y 3 de la cuenca de Saldes.

Una vez se han obtenido los diferentes ordenes de bifurcación de la cuenca de Saldes se debe aplicar la ecuación 2 de relación de bifurcación dando valores entre $3 < R_b > 5$.

$$R_b = \frac{Nu}{Nu+1} \tag{2}$$

Si el valor que se obtiene es bajo estará indicando que es una cuenca bien drenada, por el contrario, si resulta un valor superior a 5 será una cuenca mal drenada. Por ello se deberá, sumar los órdenes de bifurcación de orden 1, los de orden 2 y los de orden 3 presentados en la tabla número 3:

Tabla 3: Tabla de órdenes y numero totales de drenajes.

Orden	N.º de drenajes
1	66
2	15
3	4

Una vez aplicada la ecuación 2 se obtiene el siguiente valor para cada uno de los órdenes:

- $Rb(1) = \frac{66}{15} = 4,4$
- $Rb(2) = \frac{15}{4} = 3,75$
- $Rb(3) = \frac{4}{0} = 0$

Así pues, para el orden 1 (Rb_1) la razón de bifurcación es de 4,4, para el orden 2 (Rb_2) es de 3,75 y finalmente para el orden 3 es de 0 porque no hay ningún valor por debajo con el que dividir el valor del orden 3.

Una vez calculadas las relaciones de bifurcación de la cuenca de Saldes se puede observar que en ninguno de los órdenes se supera el valor de 5 ni ninguno está por debajo de 3, por lo tanto, se puede concluir que es una cuenca de forma dendrítica y bien drenada.

6.3 Aplicación del método RULSE

Para la correcta aplicación del método RUSLE es necesaria parte de la información que se ha presentado anteriormente y la que se presentará a continuación. En primer lugar, se requiere el MDE de la zona de la cuenca de Saldes, presentando en el apartado anterior y el mapa de pendientes expresado en porcentaje de la misma zona. Ambos mapas han sido explicados en el apartado de análisis morfológico, pero para poder ver con más detalle la zona, esta se presentará ampliada, tal y como se observa en las figuras 52 y 53.

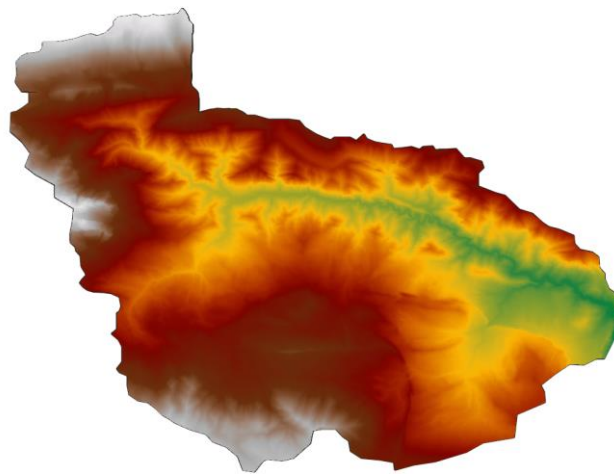


Figura 52: Representación del MDE 2x2 de la Cuenca de Saldes.

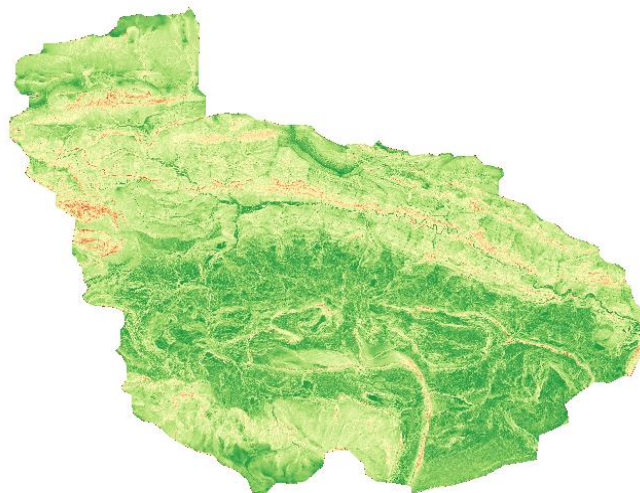


Figura 53: Representación pendiente de la Cuenca de Saldes.

Además de esta información, también se necesitan los datos del Factor R, el Factor K, el Factor LS, el Factor C, Factor A y el Factor P fijado en 1, por la dificultad de encontrar datos sobre el mismo descritos en el apartado de metodología.

6.3.1 Cálculo y análisis del Factor R

Para poder llevar a cabo el análisis del Factor R de la ecuación RUSLE son necesarios los datos de precipitación de las diferentes estaciones meteorológicas que abarquen la zona de estudio y el índice EI30. Debido a la dificultad de extracción de datos de datos considerando un periodo de 20 años del Factor R para Saldes, en primer lugar, se ha extraído la información de la web <https://sig.mapama.gob.es/siga/> donde se han obtenido los mapas de la pluviometría media anual (mm) y el mapa del Factor R de todo el territorio español.

La representación de los siguientes mapas se ha podido realizar a partir de las series de datos temáticos y pluviométricos del Instituto Meteorológico Nacional. Esta información fue procesada y modelizada mediante métodos geoestadísticos de interpolación (Kriging).

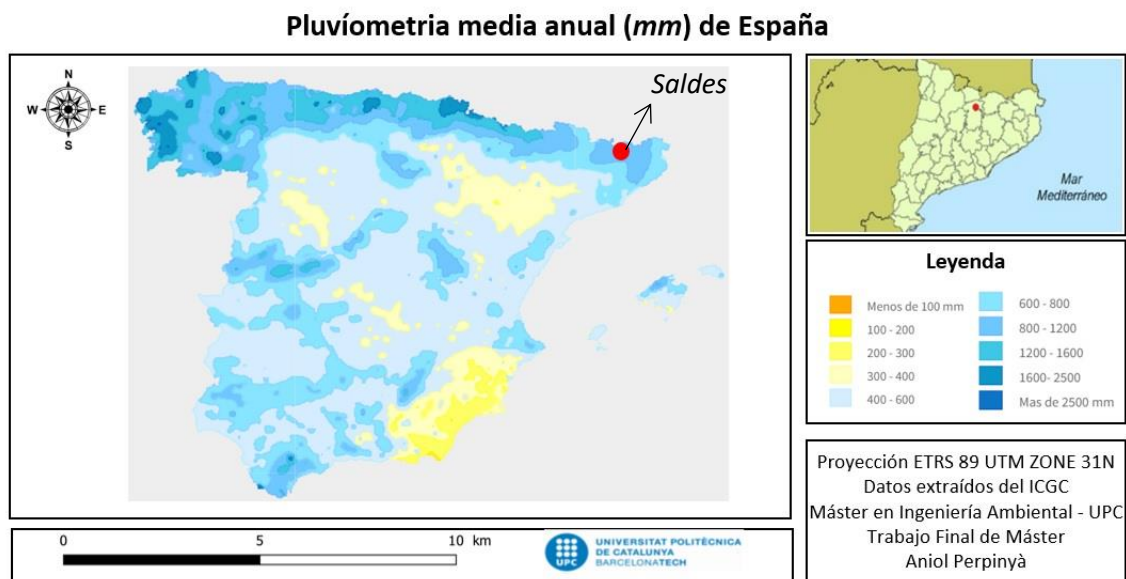


Figura 54: Representación de la media pluviometría anual (mm) en el territorio español.

Gracias a este mapa se obtiene que aproximadamente en la zona de Saldes, la precipitación media anual (mm) oscila entre los 800-1200 mm.

En segundo lugar, se procederá a presentar el mapa del Factor R siguiendo la misma metodología utilizada con el mapa de Pluviometría media anual (mm) de España.

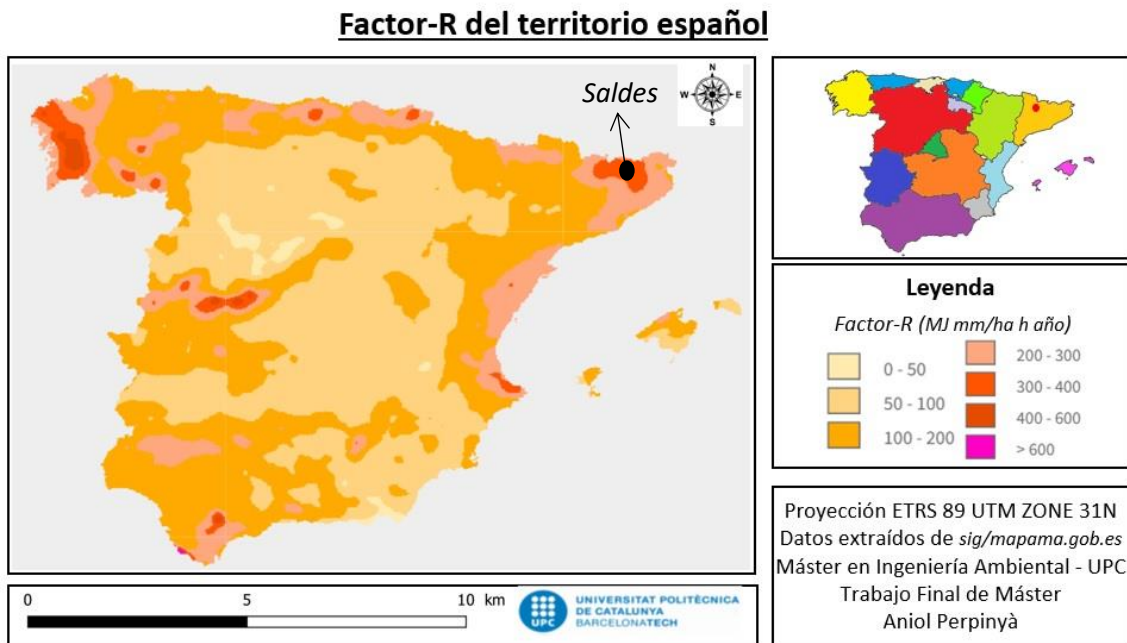


Figura 55: Representación de Factor R.

La ecuación (3) empleada por ICONA en 1998 del Factor R ha sido la usada para poder determinar el Factor-R de la cuenca de Saldes seleccionando los datos pluviométricos de la estación de Gisclareny.

$$R = e^{-0,834} \cdot (PMEX^{1,314}) \cdot (MR^{-0,388}) \cdot (F24^{0,563}) \quad (3)$$

Donde:

- e es la energía cinética de la lluvia.
- PMEX es el equivalente a las lluvias del mes con mayor precipitación del año.
- MR es la precipitación media que abarca desde Octubre a Mayo.
- F24 es la concentración de lluvia máxima en un día.

Con esta fórmula y los datos de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio se han podido obtener los datos representados en la tabla 4:

Tabla 4: Datos de precipitación de los meses con mayor precipitación del año.

Gisclareny	
Lluvias del mes con mayor precipitación (mm) del año (D)	
Enero	14
Febrero	6,6
Marzo	26,7
Abril	22,1
Mayo	31,7
Junio	29,9
Julio	79,2
Agosto	24,8
Setiembre	31
Octubre	31,1
Noviembre	182
Diciembre	0,6
SUMA	479,7 mm

En primer lugar, para la determinación del equivalente a las lluvias del mes con mayor precipitación del año (PMEX) de la estación de Gisclareny se ha obtenido un valor de 198,9 mm, para la precipitación mediana de los meses de más lluvia (Octubre-Mayo) (MR) se ha obtenido un valor de 86,3 mm y para la concentración máxima de lluvia en un día (F24) se ha obtenido un valor de 69,2 mm.

Tabla 5: Resultados de los parámetros de la ecuación presentada por ICONA en la estación de Gisclareny.

Estación meteorológica Gisclareny	
182 mm lluvia máxima en un día (2008-2018)	
FACTOR-R	
PMEX (Equivalente a las lluvias del mes con mayor precipitación del año)	198,42 mm
MR (Precipitación mediana OCT-MAYO)	86,312 mm
F24 (Concentración máxima de lluvia en un día)	69,2 mm

Finalmente, para el cálculo del Factor R, teniendo en cuenta los resultados anteriormente presentados de cada uno de los parámetros de la ecuación 3, el valor del Factor R para la estación de Gisclareny es de 880 aproximadamente. Hay que destacar que el Factor R siempre es más elevado en la zona más cercana a la estación. Esto es debido a la intensidad de la lluvia. Se ejemplifica debido a que la estación de Gisclareny tuvo un pico máximo de 182 mm en el periodo de 2008-2018.

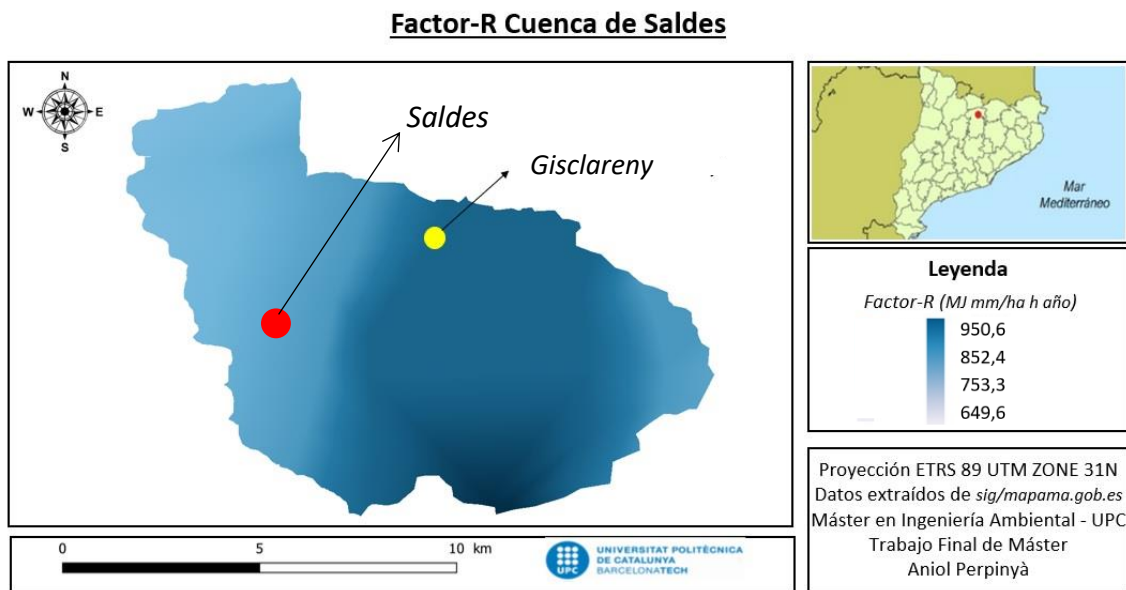


Figura 56: Representación del Factor-R.

6.3.2 Cálculo y análisis del Factor C

El segundo parámetro que se ha analizado de la ecuación RUSLE es el Factor C. Este factor muestra los efectos que tiene la vegetación, las diferentes actividades que puedan afectar a los suelos de la zona y la cobertura del suelo de esta.

Para el cálculo del Factor C no existe una fórmula exacta que permita extraer la información precisa para esta variable, no obstante, se han podido encontrar artículos que proporcionan información necesaria para el desarrollo del Factor C.

En primer lugar, se deben tener en cuenta los diferentes parámetros del Factor C, representados en la tabla 6.

Tabla 6: Parámetros del Factor C de la zona de la cuenca de Saldes.

Parámetros del Factor C	
Usos del suelo	Principalmente forestal caracterizado por matorrales.
Vegetación	Caracterizada por la abundancia de arbustos y zonas de hierbas medias-altas.
Rugosidad	Media.
Cubierta vegetal	Capa de arcillas.

Una vez establecidos los diferentes parámetros requeridos para contextualizar y entender la composición del Factor C se procederá a su cálculo basado en la tabla 7 donde la información se ha extraído de *“Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale”*.

Tabla 7: Cálculo estimado del Factor C. Superficie cubierta por diferentes tipos de cultivos y factor C (C_{crop}) por tipo de cultivo.

Fuente: ("Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale").

n	Crop type	Share (%) of the total arable land (EU-28)	C-factor
1	Common wheat and spelt	28.5	0.20
2	Durum wheat	3.2	0.20
3	Rye	3.0	0.20
4	Barley	14.8	0.21
5	Grain maize - corn	12.9	0.38
6	Rice	0.6	0.15
7	Dried pulses and protein crop	1.9	0.32
8	Potatoes	2.4	0.34
9	Sugar beet	3.1	0.34
10	Oliseeds	5.8	0.28
11	Rape and turnip rape	8.1	0.30
12	Sunflower seed	4.8	0.32
13	Linseed	0.1	0.25
14	Soya	0.5	0.28
15	Cotton seed	0.4	0.50
16	Tobacco	0.1	0.49
17	Fallow land	9.8	0.50

En la tabla 8, presentada a continuación, se muestra el Factor C por tipo de cubierta vegetal no cultivable. Esta información se ha extraído del mismo documento representado en la tabla 6, "Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale".

Tabla 8: Factor C por tipo de cubierta vegetal no cultivable.
 Fuente: (“Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale”).

Group	CLC class	Detailed class	Description	C-factor values
Permanent crops	221	Vineyards	Areas planted with vines	0.15–0.45
	222	Fruit trees & berry plantations	Parcels planted with fruit trees or shrubs: single/mixed fruit species, fruit trees associated with permanently grassed surfaces.	0.1–0.3
	223	Olive groves	Areas planted with olive trees	0.1–0.3
Pastures	231	Pastures	Dense, predominantly graminoid grass cover, of floral composition, not under a rotation system. Mainly used for grazing.	0.05–0.15
Heterogeneous agricultural areas	241	Annual crops associated with permanent crops	Non-permanent crops (arable land or pasture) associated with permanent crops on the same land parcel (non-associated annual crops represent less than 25%)	0.07–0.35
	242	Complex cultivation pattern	Juxtaposition of small parcels of diverse annual crops, pasture and/or permanent crops (arable land, pasture and orchards each occupy less than 75%)	0.07–0.2

			of the total surface área of the land unit)	
	243	Land principally used for agriculture, with significant areas of natural vegetation	Areas principally used for agriculture, interspersed with significant natural areas (agricultural land occupies between 25 and 75% of the total surface of the land unit)	0.05–0.2
	244	Agro-forestry areas	Annual crops or grazing land under the wooded cover of forest species	0.03–0.13
Forests	311	Broad-leaved forest	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where broadleaved species predominate.	0.0001– 0.003
	312	Coniferous forest	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where coniferous species predominate	0.0001– 0.003
	313	Mixed forest	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where broadleaved and coniferous species co-dominate.	0.0001– 0.003
	321	Natural grasslands	Low productivity grassland. Often situated	0.01–0.08

Scrub and/or herbaceous vegetation associations			in areas of rough and uneven ground	
	322	Moors and heathland	Vegetation with low and closed cover, dominated by bushes, shrubs and herbaceous plants (heath, briars, broom, gorse, laburnum)	0.01–0.1
	323	Sclerophyllous vegetation	Bushy sclerophyllous vegetation. Includes maquis (dense vegetation composed of numerous shrubs) and garrige (oak, arbutus, lavender, thyme, cistus)	0.01–0.1
	324	Transitional woodland-shrub	Bushy or herbaceous vegetation with scattered trees. Can represent either woodland degradation or forest Regeneration/colonisation.	0.003– 0.05
Open spaces with little or no vegetation	331	Beaches, dunes, sands	Beaches, dunes and expanses of sand or pebbles in coastal or continental areas	0
	332	Bare rocks	Scree, cliffs, rocks and outcrops	0
	333	Sparsely vegetated areas	Includes steppes, tundra and badlands. Scattered high-altitude vegetation	0.1–0.45
	334	Burnt areas	Areas affected by recent fires, still mainly black	0.1–0.55
	335	Glaciers and perpetual snow	Land covered by glaciers or permanent snowfields	0

Una vez obtenidas ambas tablas se puede observar que existen diferentes tipos de vegetación en la zona y que cada familia de vegetación tiene un valor ya predeterminado. Gracias a esta información se pueden determinar los parámetros que se citarán a continuación para el correcto tratamiento de datos del Factor C y para cada uno de los diferentes usos del suelo de la cuenca de Saldes.

- Uso del terreno.
- Humedad del suelo.
- Cubierta vegetal.
- Cubierta superficial de residuos.
- Rugosidad del terreno. Si la rugosidad de este es mayor más difícil será el fenómeno de percolación.

A través de diferentes artículos de divulgación se ha podido determinar el Factor C de toda la zona de estudio. Para ello se ha extraído la información del documento del “CREAF Llegendà MCSC-3v1 / SIOSE Codificació de les cobertes, 2013” que representa la leyenda de las diferentes cubiertas.

Tabla 9: Factor C según el tipo de cubierta.

Fuente: (CREAF Llegendà MCSC-3v1 / SIOSE Codificació de les cobertes, 2013).

Leyenda	Tipo de cubierta	Factor C
baa20	abetal	0,002
baa5	abetal	0,002
bca20	caducifolios	0,006
bcad20	caducifolios	0,006
bcad5	caducifolios	0,009
bfe	fresnos	0,004
bfs20	hayedo	0,0035
bfs5	hayedo	0,003
bph5	pinada de pino blanco	0,0035
bpn20	pinada de pinácea	0,0035
bnp	plantaciones de pinácea	0,0035

bps20	pinada pino silvestre	0,003
bps5	pinada pino silvestre	0,0035
bpsp	plantaciones pino silvestre	0,003
bpsr	regeneración pino silvestre	0,003
bpu20	pino negro	0,001
bpu5	pino negro	0,0015
bpup	plantaciones pino negro	0,001
bpur	regeneración pino negro	0,001
bqh20	robleal	0,005
bqh5	robleal	0,005
bqi20	encinar	0,005
bqi5	encinar	0,005
bqp20	robleal	0,005
bribc20	vegetación de ribera	0,009
cd	prado	0,06
ch/cl	conreos	0,09
da	evocadores	0
dip	Otras construcciones	0
eai	edificio	0
edp	prados abandonados	0,02
ehp	conreos abandonados	0,02
em	matorrales	0,02
epf	conreos abandonados en zonas forestales	0,009
ga	molleras de alta montaña	0,0002
had/hua	edificio	0
m	matorrales	0,02
mel	matorrales en líneas eléctricas	0,02

mr/mr	matorrales en ribera	0,02
na	suelos urbanos no edificados	0
nac	zonas urbanas en construcción	0
nau	naves de uso agrícola	0
nl	cauces naturales	0,2
nn	suelo erosionado por agentes naturales	0,5
nna	suelo descubierto por acción antrópica	0,3
p/pel/pt	prados	0,02
pam/pamel	prados de alta montaña	0,01
pk	zonas de aparcamiento	0
pc	grandes viales	0
ppo	pollos	0,006
r	conjunto de rocas	0,00001
t	tarteras	0,0005
tg	movimientos de tierra en urbanizaciones	0,0005
wb	Bases agrícolas	0,3
wc	lagos	0
wr	ríos	0
wu	bases urbanas	0
y	glaciares	0
zu	construcción	0
zua	construcción	0

Una vez categorizada la información en la tabla 9, se ha procedido al tratamiento de los datos identificando y catalogando los diferentes usos del suelo de la zona de Saldes mediante la leyenda de hábitats del medio natural y medio ambiente de la Generalidad de Cataluña (extraídos de la web: habitats.mediambient.gencat.cat, sense data).

La visualización del mapa del factor C ha requerido tratar con el QGIS la tabla de atributos de la capa correspondiente, para que cada uno de los valores se le atribuyera el factor de evaluación correspondiente. Finalmente, la figura 59 el factor C de la cuenca de Saldes en función de las diferentes coberturas de la zona de la misma cuenca.

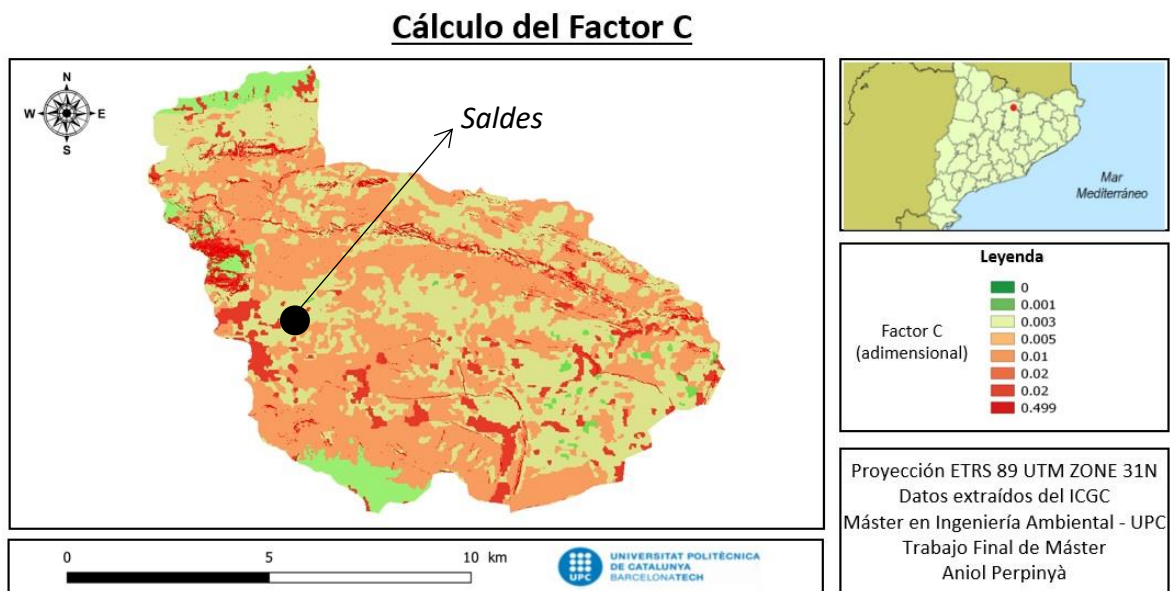


Figura 57: Representación de Factor C de la cuenca de Saldes.

Tal y como se representa en la figura 59, las zonas donde hay un tono verdoso representan que el factor C es más próximo a 0, por lo que se refiere a que son las zonas que menos erosión existe y/o hay presencia de edificios o zonas urbanizadas.

En las zonas donde existe presencia de naranja claro son las zonas donde hay bosque y por ello no existe un grado de erosión alto.

Finalmente, en las zonas donde se dan los colores naranja oscuro y rojos son las zonas donde existen actividades agrícolas y/o por procesos atmosféricos o climáticos son zonas que ya están potencialmente erosionadas y por ello han sufrido pérdida de suelo.

6.3.3 Cálculo y análisis del Factor K

El factor K se representa en “(tm h ha) (ha MJ año)” y se basa en propiedades químicas o físicas del suelo, siendo estas: la estructura, la permeabilidad, y la materia orgánica.

- La permeabilidad del suelo es la velocidad y capacidad de absorción de agua que tiene un suelo, por ello, los suelos que porosos son muy permeables y, por ende, los que tienen una baja porosidad o de grano más fino son poco permeables.
- El contenido de materia orgánica tiene una influencia refuerzan los elementos del suelo, proporcionando una resistencia y cohesión del suelo respecto la erosión.
- La granulometría es un factor determinante debido a que los suelos con arenas finas o limos tiene una erosión menor (Wischmier & Smith).

La ecuación (4) para el cálculo del factor K se ha basado en la fórmula establecida por Wischmier & Smith, 1965.

$$100 K = 2,1 M^{1,14} * (10 - 4) * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3) \quad (4)$$

Los parámetros representados en la ecuación 4 se resumen en;

- M = (es el % de limos + el % de arenas finas) * (100 - % argilas).
- a = % de materia orgánica.
- b = Estructura de la zona representados en la tabla 10 como código de la estructura.
- c = Permeabilidad de la zona representados en la tabla 11 como código de permeabilidad.

Tabla 10: Representación de materiales granulares por tamaño y tipo.

Código de la estructura		
Tipo de material	Tamaño	
Material granular	Muy fino	< 1mm
Material granular	Fino	1mm ≤ fi ≤ 2mm
Material granular	Medio	2mm ≤ m-g ≤ 10mm
Bloque laminar	Grande	+

Tabla 11: Representación del código de permeabilidad.

Fuente: (www.fao.org, sense data)

Código de permeabilidad	
Tipo de permeabilidad	Velocidad de percolación
Rápida y muy rápida	> 125mm/h
Moderada y rápida	62,5 y 125 mm/h
Moderada	20 i 62,5 mm/h
Lenta	1,25 i 5 mm/h
Muy lenta	< 1,25mm/h

A continuación, se presenta la tabla 12 donde a partir de datos de la FAO se han podido determinar las diferentes medidas de las grabas, limos y arcillas.

Tabla 12: Tipología y tamaño de los materiales.

Fuente: (www.fao.org, sense data).

Tipo y tamaño del material	
Grabas	8-10 cm i 2mm
Limos	0,060 mm – 0,002 mm
Arcillas	< a 0,002 mm

Posteriormente se hará un análisis de los tipos de suelo que existen e influyen en la zona, representado en la tabla 13.

Tabla 13: Representación de tipos de suelos.
 Fuente: (ksafactory.es), sense data)

Tipos de Suelo			
Suelos finos		Suelos basto	
Limos orgánicos	0,060 mm – 0,002 mm	GW	Mezcla de graba y arena bien gradada
Arcillas inorgánicas	< 0,002 mm	GP	Mezcla de graba y arena mal gradada
Limos orgánicos	0,060 mm – 0,002 mm	GM	Graba limosa mezclada con graba mal gradada
Arcillas orgánicas	< 0,002 mm	GC	Graba arenosa y arcilla mal gradada
		SW	Arena bien gradada
		SP	Arena mal gradada
		SM	Arena limosa
		SC	Arena argilosa

Finalmente, y previamente a la representación del mapa del factor K, se procederá a tratar los parámetros para el cálculo de la permeabilidad. Para la permeabilidad se han encontrado fuentes de la web (<https://ingenierocivilinfo.com>, sense data). Tal y como se verá a continuación no solo se hablará de permeabilidad, sino que por su relación intrínseca con la conductividad hidráulica es necesario tener este parámetro en consideración.

En primer lugar, se presenta en la tabla 14 el grado de conductividad hidráulica según el tipo de suelo.

Tabla 14: Conductividad hidráulica en función del tipo de suelo.
Fuente: (<https://ingenierocivilinfo.com>, sense data)

Conductividad hidráulica según el tipo de suelo	
Tipo de suelo	Conductividad hidráulica
Grava	100 – 1,00
Arena gruesa	1,00 – 0,01
Arena fina	0,01 – 0,001
Limo	0,001 – 0,00001
Argilas	Menor que 0,00001

En segundo lugar, se presentan los grados de permeabilidad según el tipo de suelo.

Tabla 15: Grado de permeabilidad según el tipo de suelo.
Fuente: (<https://ingenierocivilinfo.com>, sense data)

Grado de permeabilidad según el tipo de suelo	
Alta	$< 10^{-1}$
Media	$10^{-1} a 10^{-3}$
Baja	$10^{-3} a 10^{-5}$
Muy Baja	$10^{-5} a 10^{-7}$
Inexistente	$< de 10^{-7}$

Los valores representados en las tablas anteriores corresponden a valores significativos que se relacionan con el territorio de la cuenca de Saldes para poder realizar el cálculo.

Mediante la aportación de un shapefile de la toda la cuenca del Berguedá y mediante el uso de QGIS se ha obtenido la información representada en la figura 60.

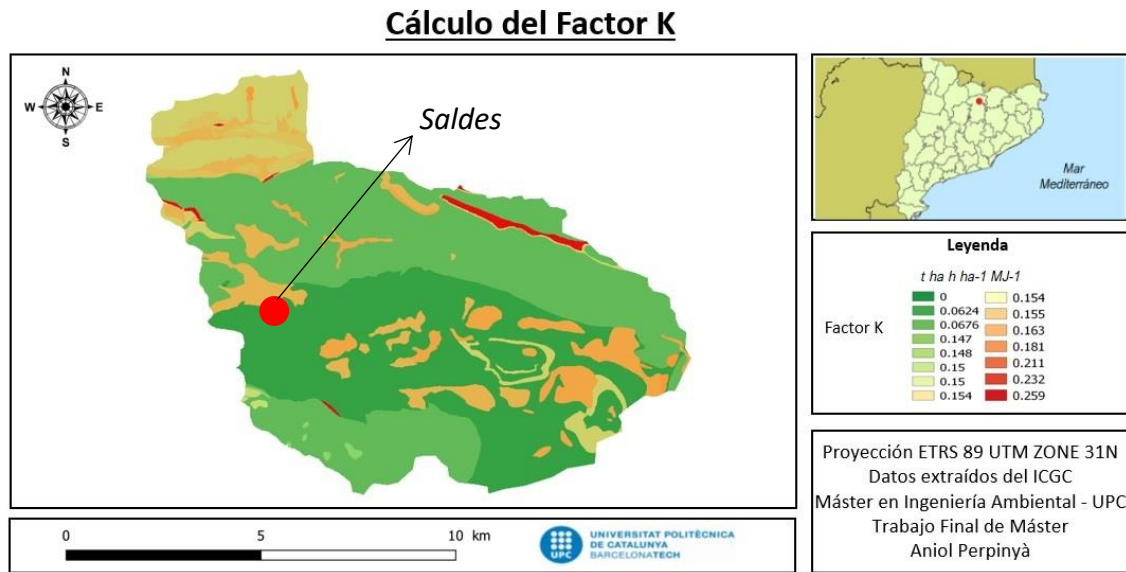


Figura 58: Representación de Factor K de la cuenca de Saldes.

Los suelos donde abundan los materiales de textura muy fina son aquellos donde el factor K es bajo porque el agua no penetra y hay mayor permeabilidad del suelo. Por otro lado, los suelos donde hay presencia de limos el valor del factor K es moderado por la facilidad de la existencia de desprendimientos de partículas que pueden producir escorrentía. Los suelos arenosos o de textura gruesa tiene valores de factor k relativamente bajos. El motivo es que el suelo permite una alta infiltración y no hay percolación superficial.

Finalmente, los valores más altos del factor K son aquellos donde existe presencia de limos. Estos tienen mayor riesgo de erosión por el desprendimiento de estas partículas y tapan los poros del suelo creando capas donde se produce la escorrentía superficial y por ello el aumento de la erosión.

6.3.4 Cálculo y análisis del Factor LS

El cálculo y el análisis del factor LS se divide en dos partes:

Para la determinación del factor L es necesario tener en cuenta la longitud del pendiente en metros (m) definida como la distancia horizontal desde el origen del flujo superficial hasta dónde termina la escorrentía, que normalmente se determina como longitud estándar 22,13m, y por otro lado el gradiente del pendiente (S) (β) fijado a 9%.

El factor L se calcula en base a las fórmulas propuestas por Panagos, Borrelli, & Meusburger, 2015. Con las ecuaciones 5 y 6 se puede obtener el cálculo de la L usando las ecuaciones 7 y 8.

$$F = \frac{\sin\beta/0,0896}{3(\sin\beta)^{0,8} + 0,56} \quad (5)$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (6)$$

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^{m+1} - A(i, j)^{m+1})}{x^m * D^{m+2} * (22,13)^m} \quad (7)$$

$$L = \left(\frac{\Lambda}{22,13} \right)^m \quad (8)$$

Posteriormente se procederá a presentar las diferentes ecuaciones para el cálculo del Factor S donde el ángulo β es la media entre todos los ángulos en la mayor dirección del pendiente representado en la ecuación 9. Hay que destacar que al aplicar esta ecuación en el QGIS – *raster calculator* se deberá hacer un cambio de grados sexagesimales a radianes. Esta conversión equivale a 1º es igual a 0,01745 radiales.

$$S_{(i,j)} = 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 \quad (9)$$

$$S_{(i,j)} = 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5$$

$$\tan \beta_{(i,j)} < 0,09$$

$$\tan_{(i,j)} > 0,09$$

Una vez citadas las diferentes ecuaciones y cálculos para el desarrollo del factor LS en términos globales, en el caso de la cuenca de Saldes, al ser una zona donde existe una alta variabilidad de pendiente no se pueden emplear estas fórmulas directamente, por ello, se usará el programa QGIS para obtener el resultado del factor LS.

Para ello se usará la herramienta *r.watershed* dentro de la pestaña raster, GRASS del mismo programa QGIS. Usando la herramienta *r.watershed* a partir del modelo digital de elevaciones corregido, obtenemos varios elementos que ya han sido comentados en el análisis morfológico de la cuenca de Saldes.

En este caso se escogerá los resultados del LS con el uso de la herramienta *r.watershed*. Para ello se deberá proceder previamente a la eliminación de las áreas conflictivas del modelo digital de elevaciones con el objetivo de tener un DEM sin depresiones, procedimiento el cual ya ha sido realizado y comentando en el apartado 6.2 con la herramienta *r.fill.drill*.

Hay que destacar que el DEM se rellenó anteriormente, por ello el resultado del factor LS queda representado en la figura 59.

Las zonas donde hay más presencia de blanco son aquellas donde existe un mayor pendiente y el factor LS es más elevado. No obstante, las zonas de verde oscuro son donde hay menor pendiente, siendo estas campos y zonas de cultivo donde el factor LS es menor. El factor LS se distribuye de manera coherente a lo largo de toda la cuenca, esto es debido a que Saldes se sitúa en la zona Prepirineo catalán y se caracteriza por tener un alto desnivel y una irregularidad en el relieve.

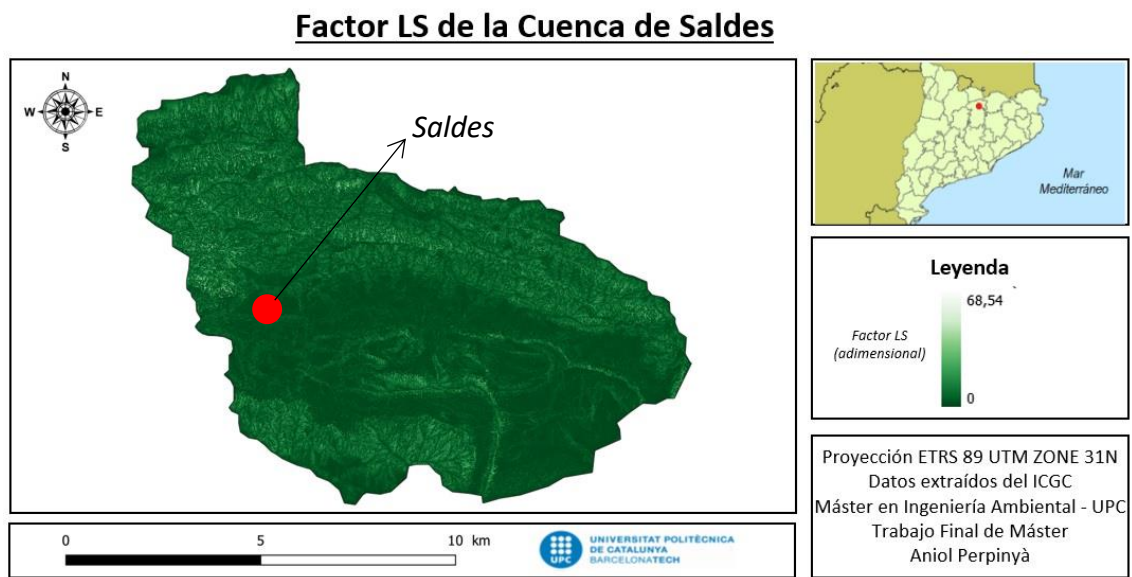


Figura 59: Representación de Factor LS de la cuenca de Saldes.

6.3.5 Cálculo y análisis del Factor P

Para el desarrollo del factor P hay que destacar lo que anteriormente se ha comentado, en relación con que la localización de la cuenca de Saldes se sitúa en un terreno Prepirenaico y por ello las actividades del hombre son limitadas, es decir, no es una zona donde la acción antrópica haya tenido un impacto excesivo debido a la gran diferencia de pendientes de la zona de estudio.

Ha sido necesario tener en cuenta esto porque en la cuenca de Saldes, tal y como se aprecia en los mapas comentados, no existen grandes zonas de cultivo destinadas a la conservación que pudieran llegar a afectar a la morfología del relieve ni a la velocidad de percolación.

Es por este motivo que el factor P, en este caso, debido a la localización geográfica de la cuenca de Saldes, no se puede calcular debido a su inexistente impacto en la zona y por ello se le atribuye un valor de 1.

6.3.6 Cálculo y análisis del Factor A

En el cálculo y el análisis del Factor A se usará una herramienta dentro del mismo QGIS que recibe el nombre de “Raster Calculator”. Esta herramienta nos permite realizar diferentes operaciones combinando las capas que sean necesarias para obtener un resultado de la zona de estudio deseada. Para el Factor A se han multiplicado los diferentes factores del método RUSLE, dando pie a la ecuación 10:

$$A = K * R * LS * C * P \quad (10)$$

Previamente su desarrollo se ha comprobado que todas las capas y/o rásters tienen la proyección correcta (ETRS89 / UTM zone 31N) el tamaño a 2x2, mismo número de filas y columnas etc.

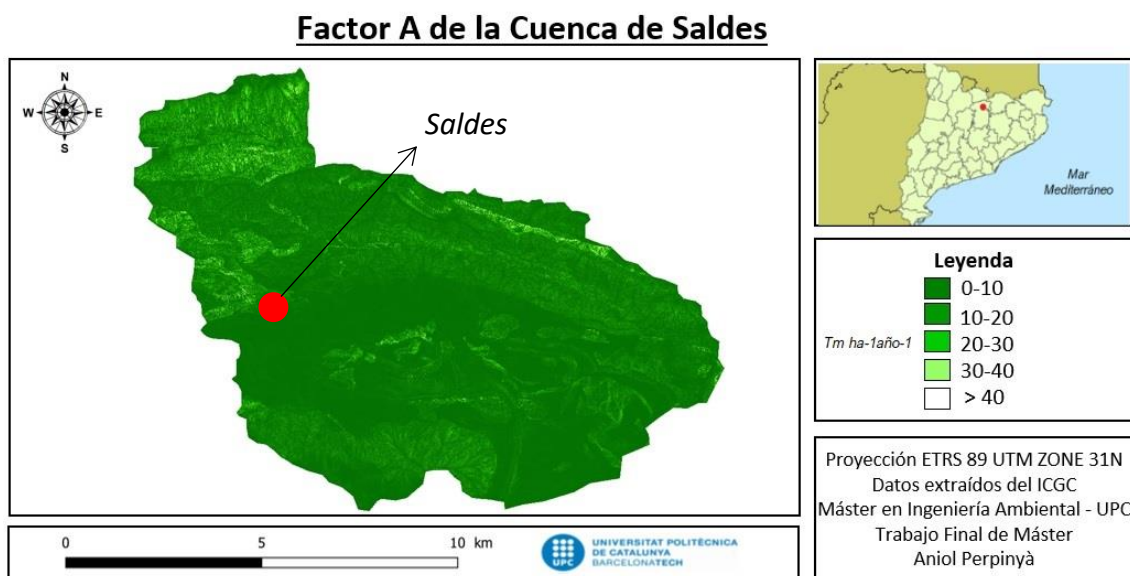


Figura 60: Representación de Factor A de la cuenca de Saldes.

En primer lugar, cabe destacar que en la zona representada al no abundar las zonas urbanas no se han representado en el mapa. No obstante, se puede apreciar como en la zona norte de la cuenca de Saldes, la zona próxima al Pedraforca y la zona N-E, son las que existe mayor incidencia del Factor A, superando las 40 tn/ha/año. Por ende, las zonas donde abunda el verde oscuro es donde menor erosión existe debido a la vegetación.

6.4 Erosión potencial

La erosión potencial es la erosión representada en la zona de estudio sin tener en cuenta las diferentes prácticas de usos del suelo ni la vegetación. Es decir, entendemos la erosión potencial como aquella en la que el suelo es raso. Al no tener en consideración la vegetación i los usos del suelo, los factores C y P quedan excluidos.

Teniendo en cuenta la información comentada la fórmula 11 determina la erosión potencial.

$$K * R * LS \quad (11)$$

El resultado del empleo de esta ecuación en el QGIS se representará en tm/ha/año.

En este caso los valores más altos son consecuencia de que no se tiene en consideración la vegetación de la zona. Esto es debido a que el hecho de que exista vegetación, como ya se ha comentado anteriormente, esta es un elemento cohesionador del suelo que evita los procesos erosivos y reduce el impacto de las gotas de lluvia.

Las zonas donde hay más erosión coinciden con las zonas donde hay más desnivel de la cuenca de Saldes y, en consecuencia, las zonas donde hay menos desnivel existe menos erosión potencial.

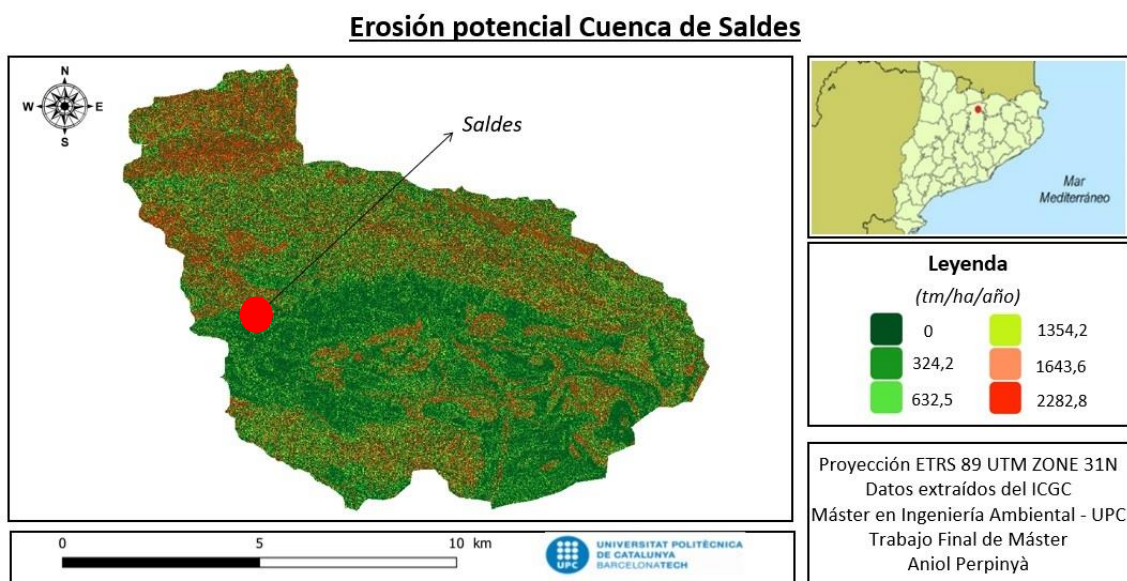


Figura 61: Representación de la erosión potencial de la cuenca de Saldes.

El mapa de erosión potencial de la zona de la cuenca de Saldes, en la figura 62, deja claro cuáles son las zonas donde mayor riesgo de erosión potencial hay en la propia cuenca, no obstante, se ha decidido hacer una ampliación de una de las zonas donde hay menos erosión y una zona donde hay más para poder observar de manera más clara este fenómeno.

En la figura 62 se observa la zona de prados y campos donde hay poca pendiente y un mayor índice de vegetación, por ello, en la zona abunda el color verde oscuro y/o verde claro.

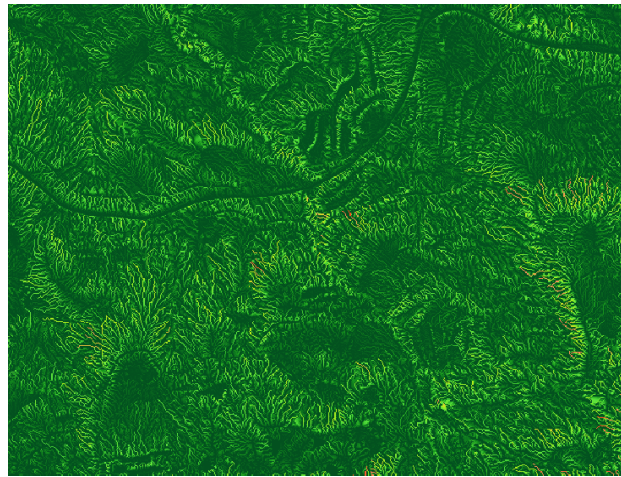


Figura 62: Ampliación de la zona con poca erosión potencial de la cuenca de Saldes.

Por otro lado, en la figura 63 se observa cómo, debido al mayor pendiente y la poca vegetación, abundan los colores rojos y naranjas, representado así una de las zonas con mayor erosión de la cuenca de Saldes por el impacto de gotas de agua y otros fenómenos erosivos.

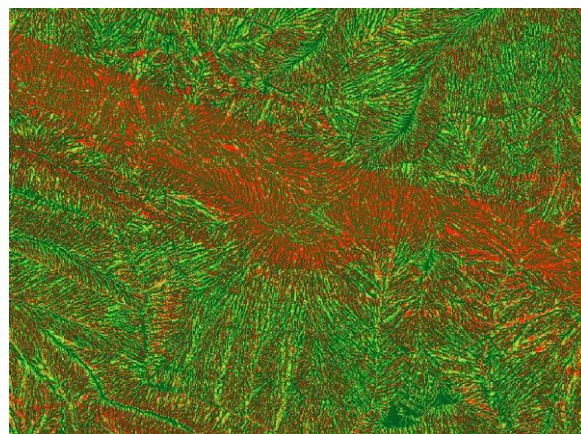


Figura 63: Ampliación de la zona con erosión potencial de la cuenca de Saldes.

Finalmente, al seleccionar toda la cuenca de Saldes, las dos imágenes presentadas anteriormente de dos de las zonas con menor y mayor erosión.

La zona con menor erosión se sitúa en la zona del sur de Saldes caracterizada por tener poco pendiente (azul), hecho ya comentado anteriormente y en segundo lugar la zona más erosionada (naranja) se sitúa por donde pasa el río de Saldes.

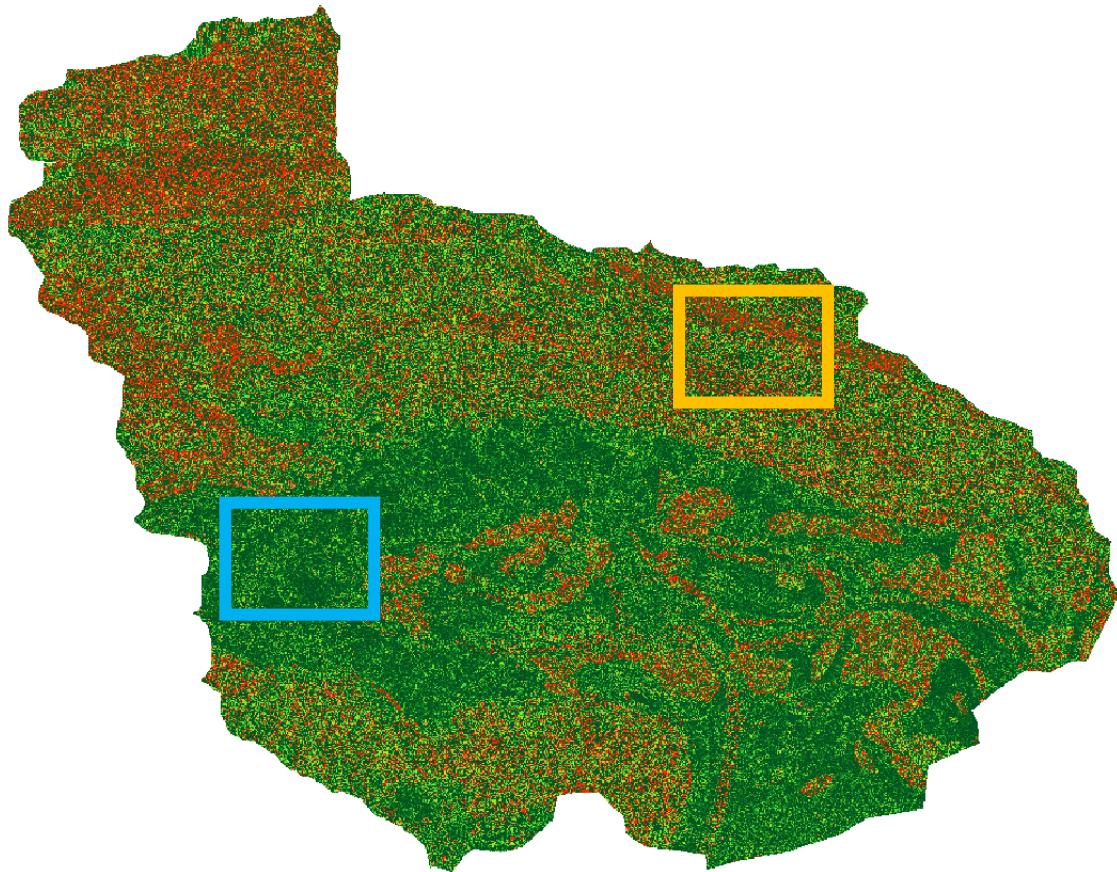


Figura 64: Zonas seleccionadas anteriormente. Poca erosión (azul) y mucha erosión.

7. Conclusiones

Gracias al programa QGIS se ha podido emplear la ecuación RUSLE para poder estimar la pérdida media anual del suelo (tm/ha/año) en la cuenca de Saldes, en el Berguedá. Dicha herramienta ha servido para determinar las diferentes zonas con mayor erosión del suelo de la cuenca.

En primer lugar, se ha analizado la red de drenaje de la cuenca de Saldes. Es una red dendrítica con un drenado formado por 3 órdenes de canales y ninguna de las relaciones de bifurcación supera el valor de 5, por ello es una cuenca bien drenada.

En segundo lugar, gracias a la ecuación RUSLE y el QGIS se observa que la cuenca de Saldes tiene diferentes zonas donde existe erosión del suelo repartidas de manera desigual. Esto se debe a varios factores, como las diferencias topográficas, geológicas, usos del suelo, la variabilidad de pendientes de la cuenca de Saldes, siendo las zonas de mayor pendiente las que más erosión sufren debido a la alta velocidad del agua.

Las zonas donde los suelos están formados por materiales finos no tienen un grado de erosión elevado. Esto es debido a que los mismos suelos, normalmente formados por arcillas, ocupan los espacios que quedan en el sustrato. Por otro lado, los suelos donde abundan materiales como limos, serán los que más fácil erosionarán.

Las zonas donde hay mayor vegetación son las que menos erosión tienen debido a que la propia cubierta vegetal cubre el suelo del impacto de las gotas de agua por la precipitación. Otro de los beneficios de las zonas con mayor cubierta vegetal es que hay menor desprendimiento de partículas y, por ende, sufren una erosión entre 325 tm/ha/año y 635 tm/ha/año.

Finalmente, las zonas situadas en la parte norte de la cuenca de Saldes y zonas cercanas al Pedraforca, son las que mayor grado de erosión presentan debido a que tiene mayor pendiente y por los materiales geológicos como las rocas calcarías, calcarías magras margocalcáreos y bloques calcáreos que hay en la zona hacen que cuando precipita la lluvia arrastra todos los materiales del suelo provocando pérdidas de suelo de hasta 2300 tm/ha/año.

8. Bibliografía

Mariano Moreno-de las Heras, Francesc Gallart, (2016). *Lithology controls the regional distribution and morphological diversity of montane Mediterranean badlands in the upper Llobregat basin (eastern Pyrenees).*

Marco Cavalli, Sebastiano Trevisani, Francesco Comiti, Lorenzo Marchi, (2013). *Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments.*

Sebastiano Trevisani b, Francesco Comiti c, Lorenzo Marchi, (2013). *Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchment - Marco Cavalli.*

Loris Torresani, Vincenzo d'Agostino, Guillaume Piton, (May 2021). *Deciphering sediment Connectivity Index and erosion pattern in a debris flow catchment.*

Yolanda Sánchez, Antonio Miguel Martínez-Graña y Mariano Yene, (Año 2018) *Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte.; Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, España.*

Vasileios Alexandridis 2 and Kaushik Ghosal 3, (8February 2022). *Assessment of Water-Induced Soil Erosion as a Threat to Natura 2000 Protected Areas in Crete Island, Greece Stefanos Stefanidis 1.*

Santasmita Das Bhattacharya, (April 2020). *Journal of the Indian Society of Remote. A Review of RUSLE Model Kaushik Ghosal1.*

Comunidad Andina, (28 al 30 de abril de 2008). *DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA CAN - NOVENA REUNION DE EXPERTOS GUBERNAMENTALES EN ESTADÍSTICAS AMBIENTALES DE LA COMUNIDAD ANDINA.*

Escobar, G. A. M (2008). *Uso De La Ecuación Universal De Pérdidas De Suelo (Usle)*

Vallejo, L. I. G. De. (n.d.). *Luis I. Gonzalez de Vallejo, Mercedes Ferrer, Madrid 2002. INGENIERÍA GEOLÓGICA.*

9. Webgrafía

<http://srv.icgc.cat/vissir>

Web donde se puede acceder a la cartografía de Cataluña para tratar y obtener mapas y otros elementos cartográficos.

<https://www.ecologiaverde.com/>

Sitio web donde se ha consultado el fenómeno de la erosión de los suelos, sus consecuencias y causas.

<https://eos.com/es/blog/agricultura-intensiva/>

Web donde explica de manera pautada y correcta cuales son los diferentes usos de la agricultura y la problemática respecto a los suelos de la agricultura intensiva.

<https://www.losporques.com/tecnologia/como-se-logra-el-riego-artificial.htm>

Web que proporciona información sobre las consecuencias y causas del riego artificial, así como sus usos en los últimos años.

<https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4074/deforestacion-que-es-quien-la-causa-y-por-que-deberia-importarnos/>

Sitio virtual de la organización Green Peace donde se explican las consecuencias y las causas de la deforestación.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Prepirineo>

Wikipedia ofrece una información general sobre la zona de estudio, en este caso sobre el Pre-Pirineo catalán.

<https://www.ruvival.de/es/calculadora-erosion-del-suelo/>

Web explicativa de como calcular la erosión de suelos.

[Centro de Descargas del CNIG \(IGN\)](#)

Centro de descargar oficial del territorio español donde se pueden descargar todo tipo de materiales cartográficos.

<https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>

Web oficial de ESRI. Principal desarrollador de las herramientas de sistemas de información geográfica.

<https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes>

Sitio web donde se explica a nivel teórico como son y que funcionalidades tienen las ortofotos.

10.Anejos

Longitud de la Cuenca de Saldes

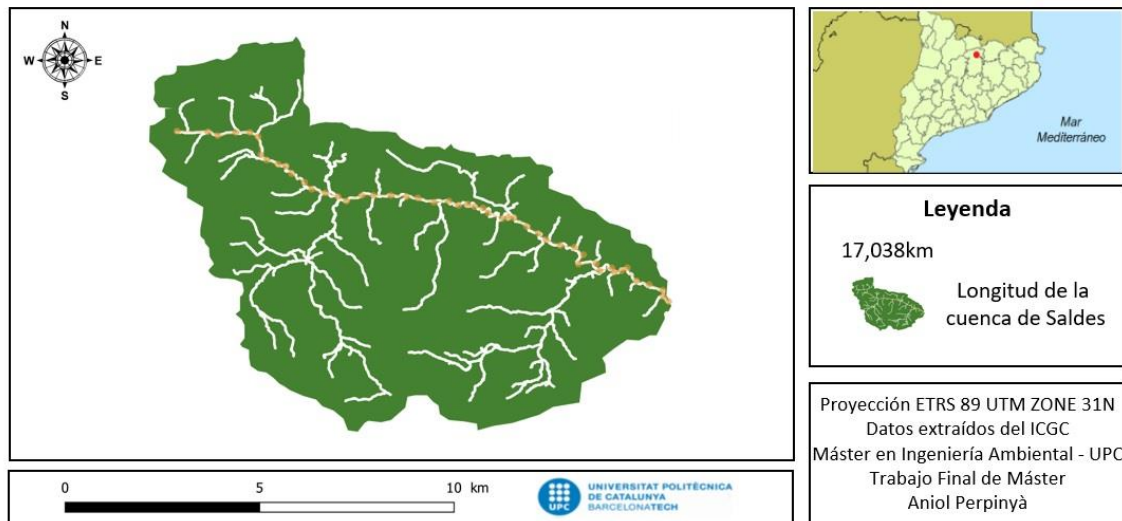


Figura 29: Longitud de la cuenca de Saldes.