

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Restauración ambiental de áreas estuarinas: el papel de la topografía en la evolución del área restaurada

Trabajo fin de Máster
Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

Autora: Évelyn Menéndez Casal

Dirección: Susana Fernández Menéndez
Elena Fernández Iglesias

Julio 2012

Restauración ambiental de áreas estuarinas:
El papel de la topografía en la evolución del área restaurada

ÍNDICE

1. RESUMEN / ABSTRACT	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1.- ANTECEDENTES	2
2.2.- OBJETIVOS	4
2.3.- ÁREA DE ESTUDIO	6
2.3.1.- El estuario de Villaviciosa	6
2.3.2.- Historia reciente	11
2.3.3.- Plan rector; división de la reserva y necesidades de restauración	11
2.3.4.- La ensenada de Selorio	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1.- MATERIAL RECOPIADO PARA EL ANÁLISIS HISTÓRICO	16
3.2.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA	21
3.2.1.- Sistemas de referencia	21
3.2.2.- El modelo de Geoide EGM08-REDNAP	23
3.2.3.- Instrumentación	25
3.3.- EQUIPAMIENTO UTILIZADO	27
3.3.1.- Toma de datos	31
3.4.- PROCESADO DE DATOS. LEICA GEO-OFFICE	36
3.4.1.- Creación de un proyecto	36
3.4.2.- Importar datos crudos	38
3.4.3.- Obtención coordenadas punto base	44
3.4.4.- Importación nube de puntos	46
3.4.5.- Eliminación puntos	47
3.4.6.- Cambio de sistema de coordenadas	48
3.4.7.- Importación resto de puntos	54
3.5.- MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN	56
3.5.1.- IDW (Inverse Distance Weighted)	57
3.5.2.- Kriging	59
3.5.3.- TIN (Triangulated Irregular Network)	60
3.6.- FUNDAMENTOS DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: ANÁLISIS DE AMBIENTES	60
4. RESULTADOS	66
4.1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA	66
4.2.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: MODELOS	67
4.3.- ESCENARIOS ESPERABLES DE LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL	72
5. CONCLUSIONES	77
6. BIBLIOGRAFÍA	79
6.1.- LIBROS Y ARTÍCULOS	79
6.2.- WEBS	80

1. RESUMEN / ABSTRACT

Este trabajo analiza las diversas posibilidades de recuperación medioambiental de la ensenada de Selorio situada en el estuario de Villaviciosa, en Asturias.

La ensenada de Selorio manifiesta una alteración habitual en los estuarios cantábricos, como es la alteración por un relleno artificial ligado a una carretera, bajo el cual solamente se permite el tránsito mareal a través de un reducido drenaje. Para valorar los resultados que pueden ofrecer diferentes actuaciones en la barrera artificial, se han realizado varios modelos predictivos a partir de un Modelo Digital de Elevaciones de la zona, generado a partir de mediciones GPS realizadas sobre el terreno para el presente trabajo.

This work analyzes the different environmental recovery possibilities for Selorio's Cove, located in the Villaviciosa Estuary, in Asturias (NW Spain).

Selorio's Cove shows a common alteration in the Cantabrian estuaries, such as an artificial filling linked to a road, under which the sea transit it is only possible through a small drainage. To assess the results offered by different possible works on the artificial barrier, various predictive models have been performed based on a Digital Elevation Model of the area, which was generated from GPS observations made on the terrain for this work.

2. INTRODUCCIÓN

2.1.- Antecedentes

El término estuario deriva del latín *aestus* (la marea) y *aesto* (el cuerpo). Un estuario es un cuerpo de agua semiencerrado, que se extiende hasta el límite de la influencia mareal, dentro del cual el agua marina entra desde una o más conexiones libres con el mar abierto, o a partir de algún otro cuerpo de agua salino costero, y es significativamente diluida con el agua dulce procedente del drenaje terrestre (Perillo, 1995).

Los estuarios son ambientes con una dinámica compleja que depende de las mareas, el oleaje, el viento y el caudal de los ríos en su desembocadura. Todas estas variables configuran medios que son extremadamente sensibles a pequeños cambios. Así las zonas estuarinas dependen de la frecuencia e intensidad de la inundación y están intensamente relacionadas con la morfología del estuario y la topografía de la zona estuarina. En general, los estuarios son medios que tienden a rellenarse de sedimentos transportados por el río e introducidos por las mareas por lo que el aumento topográfico de los terrenos se produce en condiciones naturales, de forma muy gradual y con pequeñas variaciones en altura que pueden suponer comportamientos dinámicos muy diferentes. En concreto, es habitual encontrar microambientes marcadamente influenciados por diferencias topográficas muy reducidas, muchas de ellas de escala centimétrica.

Los estuarios han sufrido y sufren varios procesos de degradación comunes por su localización costera, junto a otros específicos derivados del desconocimiento de su importancia, de su particular fragilidad ante numerosas actividades impactantes y quizás, de prejuicios comunes a todos los humedales que han sido considerados “medios insalubres” cuyo mejor destino era ser transformados para “sanearlos”.

Las causas de degradación antrópica de los hábitats litorales son muy variadas y afectan de distinto modo a playas, dunas, acantilados y marismas estuarinas. En todos los casos, la expansión de los núcleos urbanos, el desarrollo de industrias sobre tales espacios o su transformación en terrenos de uso agrícola, ganadero o forestal han determinado a lo largo del tiempo su paulatina reducción en superficie y en dinámica.

En algunos estuarios las actividades humanas no han determinado la desaparición de sus marismas aunque en casi todos los casos han llevado a una fuerte reducción de la

superficie que ocupaban; es más, de la superficie que resta, una buena parte está alterada en mayor o menor grado. Entre las actividades que han contribuido y contribuyen a tal degradación, cabe destacar las más significativas (Fernández Prieto, 1997):

- La construcción de escolleras y la realización de dragados destinados a facilitar la navegabilidad.
- Los vertidos de origen industrial, minero, urbano o rural que contaminan las aguas continentales del curso fluvial, en cuya desembocadura se forma el estuario.
- El proceso de reclamado de las marismas, mediante la construcción de diques, rellenos y realización de drenajes, destinados para uso urbano o industrial o, en otros casos, uso agrícola o ganadero.
- Vertidos localizados de escombros y otros residuos sólidos.
- La explotación de moluscos y cebo para pesca que cuando se practica de forma intensa determina perturbaciones notables en las llanuras fangosas; más modernamente la implantación y explotación de cultivos marinos que suponen frecuentemente impactos más intensos sobre las marismas.

En el cantábrico, el proceso de reclamado está despertando especial interés en los últimos años debido a que la Dirección General de Costas ha finalizado prácticamente los deslindes de DPMT (Dominio Público Marítimo y Terrestre), siendo su prioridad actual la recuperación de terrenos reclamados que ofrecen más posibilidad de recuperación de espacios estuarinos sin grandes inversiones. En este sentido mencionar algunas actuaciones de recuperación de marismas en el cantábrico como por ejemplo las actuaciones realizadas en la ría de Santoña en Cantabria (Sánchez, 2006), en el estuario de Urola en Vizcaya (CAPV, 2007) y más recientemente en el estuario de Muskiz, también en Vizcaya (INDUROT, 2009). La retirada de rellenos, el rebajamiento de cotas, las excavaciones de canales mareales y la plantación de especies halófilas son ejecuciones habituales. Sin embargo, también se han detectado recuperaciones semi-accidentales de marismas inducidas por la rotura de diques perimetrales, abandono de labores de mantenimiento e incluso el abandono de los usos agropecuarios. Recuperaciones de este tipo se han observado en estuarios como el de Oyambre, San Vicente de la Barquera (Cantabria), Villaviciosa (Asturias) y Urdaibai (Vizcaya), donde se pone de manifiesto como pequeños

cambios son suficientes para promover la recuperación de la vegetación de marisma, sin necesidad de realizar importantes movimientos de tierra o recurrir a plantaciones.

2.2.- **Objetivos**

En el presente trabajo se ha seleccionado el estuario de Villaviciosa, en concreto, la ensenada de Selorio, caracterizada por el grado de alteración artificial, en función de las cuales se valorarán las posibles actuaciones de recuperación más apropiadas para este ambiente. El enclave seleccionado manifiesta una alteración habitual en los estuarios, especialmente en el Cantábrico. En concreto la influencia mareal esperable en condiciones naturales se encuentra reducida por un relleno artificial ligado a una carretera general y a la existencia de un drenaje artificial.

Se persigue determinar cuál es el método más adecuado para mejorar las condiciones ecológicas de la zona de actuación. Para definir los objetivos concretos de este trabajo hay que tener en cuenta una serie de definiciones sobre posibles intervenciones en un medio natural (Bradshaw, 1997):

- *Restauración* (restoration) implica devolver el ecosistema a su estado original, anterior a la degradación.
- La *Rehabilitación* (rehabilitation) o *regeneración* se refiere a la recuperación del sistema a un estado previo, pero no necesariamente al óptimo. Implica una cierta mejora de las condiciones, pero no la máxima posible que se alcanzaría en el estado original.
- *Reclamation*, término equivalente a las denominadas actuaciones de *Mejora* según la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (González del Tánago y García de Jalón, 2007). No implica la vuelta del sistema a su estado original, sino a otro adecuado y útil.

Cualquiera de las intervenciones descritas tendrá unos resultados ambientales variables. Así, para predecir el resultado final y con ello elegir la intervención correcta es necesario una información lo más detallada posible de la morfología actual. Sólo con esta información se podrán visualizar futuros escenarios dependientes de la intervención elegida.

La selección de una u otra opción no es tarea fácil, interviniendo múltiples factores a tener en cuenta: características de los suelos, capacidad de amortiguación de cambios de la zona a recuperar y de las zonas naturales adyacentes, repercusión de los cambios en el ecosistema, repercusión de los cambios en los usos del suelo, etc.

Por tanto, el objetivo fundamental de este trabajo es visualizar el resultado final de diferentes intervenciones de restauración ecológica diseñadas en función de las características ambientales actuales y el resultado que se quiere lograr. Alcanzar este objetivo final requiere hacer un levantamiento topográfico lo más detallado posible del área a restaurar, para ello es necesario tomar cotas in situ. Con estas cotas se pretende reconstruir la topografía del área, para ello se usarán métodos de interpolación espacial; además es necesario explorar los posibles resultados obtenidos aplicando diferentes métodos de interpolación. En este trabajo probaremos aquellos que comúnmente son usados en la reconstrucción de la superficie topográfica de referencia. Cada método de interpolación proporciona una aproximación diferente a la morfología del área por eso la elección del más ajustado a nuestros datos es clave a la hora de visualizar el resultado que queremos alcanzar con la intervención en el medio. Con estos ensayos pretendemos demostrar que el análisis topográfico es una pieza fundamental en el diseño de las restauraciones ecológicas de ambientes estuarinos.

Para alcanzar este objetivo se plantean las siguientes etapas de trabajo:

- Evolución del área de estudio para analizar el antes y el después de dicha intervención y las consecuencias de las actuaciones. Valorar la idoneidad de las zonas externas a la barrera como referente de las condiciones naturales.
- Análisis del área de estudio en la actualidad: mapa topográfico. Para alcanzar este objetivo es fundamental realizar un trabajo dónde la precisión topográfica será clave. Se realizará un trabajo de toma de cotas topográficas para obtener una escala de detalle mayor a la existente (Topografía 1:1000 de la Demarcación de Costas en Asturias).
- Análisis del área de estudio en la actualidad: cartografía de ambientes estuarinos. Trabajos de campo para el reconocimiento de evidencias mareales y análisis de gabinete para establecer relaciones entre cotas topográficas más apropiadas para el desarrollo de los diferentes ambientes estuarinos.

- Análisis de impactos artificiales de cara a su consideración en el diseño de actuaciones de restauración.

En función de los análisis realizados se plantearán soluciones alternativas al estado actual para reducir impactos y mejorar su recuperación.

2.3.- Área de estudio

2.3.1.- *El estuario de Villaviciosa*

El presente estudio se encuentra en la Reserva Natural Parcial, ésta pertenece en su totalidad al concejo de Villaviciosa, uno de los 20 concejos costeros de Principado de Asturias, que limita al norte con el mar Cantábrico; al sur con los términos municipales de Sariego, Piloña y Cabrales; al este con el concejo de Colunga; y al oeste con el de Gijón. La capital del concejo, también llamada Villaviciosa se encuentra situada en la cola del estuario y, es el principal núcleo de población. La Reserva presenta una planta de forma triangular, típica de estuario, con una longitud de aproximadamente 8 Km (desde el puente de Güetes hasta la playa de Rodiles) y una anchura que oscila entre los 1000 m a la altura de Misiego y los 200 en su parte meridional. Abarca una superficie de 1085 hectáreas distribuidas a lo largo del valle estuarino, limitado al sur por el núcleo urbano de Villaviciosa y al norte por las puntas de Rodiles y Mesnada.

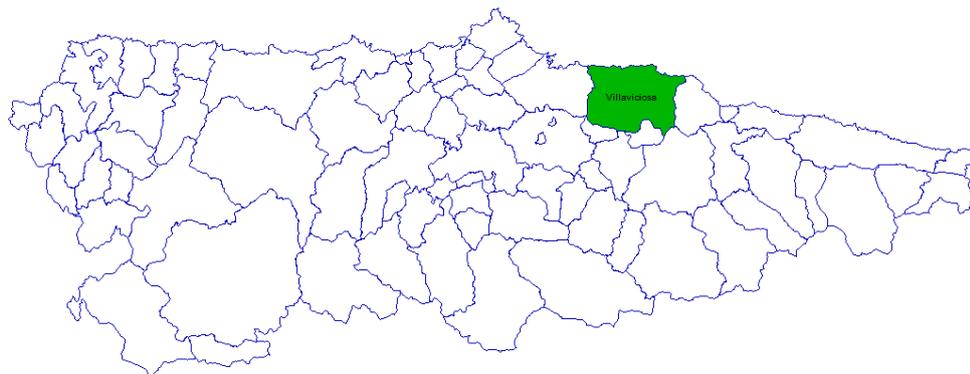


Figura 1. *Situación concejo de Villaviciosa.*

La Reserva Natural Parcial fue creada para proteger las marismas que alberga el estuario. La reserva es pequeña pero engloba la mayor parte de las marismas del estuario y algo del territorio circundante.

Los límites de la Reserva, tal y como indica el decreto 61/1995, quedan definidos en el margen izquierdo del estuario por la carretera que comunica la localidad de Villaviciosa con el puerto de El Puntal, continuando desde aquí por la línea de máximas pleamares hasta la punta de la Mesnada. En el margen derecho del estuario la Reserva queda limitada por la carretera N-632, desde Villaviciosa hasta el pueblo de Villaverde y, a partir de este punto, por la carretera de Sebrayo hasta la primera casa de esta localidad; luego continúa por el camino que atraviesa el río del Sordo, empalmando, por los límites de fincas, con la carretera N-632 en el punto kilométrico 33.3 y siguiendo por ésta hasta el cruce de Rodiles. Continúa por esta última carretera hasta su encuentro con el camino de La Espina por el que sigue hasta enlazar con el camino que sale a la playa de Rodiles. Finalmente, el límite se separa de la citada carretera para incluir la totalidad del área arqueológica de Rodiles y continúa recto hasta la Punta de Rodiles.

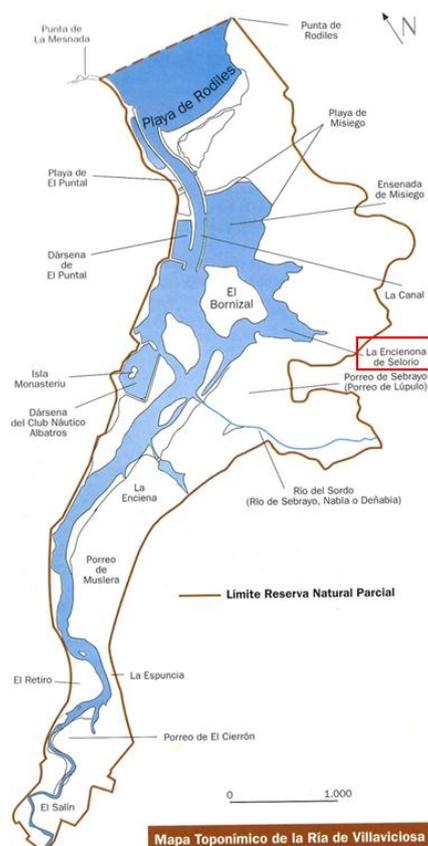


Figura 2. Mapa límite de la Reserva Natural Parcial (tomado de Arce (1996)). Se señala en rojo la zona objeto de estudio.

El estuario natural de Villaviciosa es uno de los estuarios mejor conservados y de mayor calidad ambiental de la costa cantábrica, siendo el enclave más importante desde el punto de vista biogeográfico de toda la costa asturiana. Las características de la vegetación son únicas entre las rías asturianas, destacando la presencia de importantes comunidades vegetales halófilas, alguna de las cuales son consideradas como hábitats prioritarios por la Directiva 92/43/CE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. El interés faunístico es también muy alto, constituyendo la segunda zona estuarina en importancia para la invernada y paso migratorio de las poblaciones de aves acuáticas. La presencia de algunas especies nidificantes y las comunidades de invertebrados marinos son también de gran valor e importancia de la ría, por todo ello, en el año 1995 fue incluido en la Red Regional de Espacios Naturales Protegidos del Principado de Asturias bajo figura de Reserva Natural Parcial (Decreto 61/95, de 27 de abril del Gobierno del Principado de Asturias). Además, este espacio está catalogado como LIC (Lugar de Interés Comunitario) y ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves).

La originalidad, riqueza y calidad de su vegetación marismeña, con una flora altamente exclusiva y su capacidad de acogida de aves limícolas migrantes e invernantes otorgan un valor único a la ría de La Villa, zona húmeda de importancia nacional según ambas variables. Son igualmente notables sus comunidades de invertebrados, de las cuales nutren la mayoría de aves residentes (Arce, 1997).

Como ocurre con casi toda la totalidad de los estuarios cantábricos, sobre este sistema se superpone un modelado antrópico que ha modificado las condiciones naturales originales del estuario. Las presiones antrópicas más importantes en extensión se relacionan con la demanda de terrenos de marisma para su uso como zonas de pasto y cultivo, habiéndose desecado una superficie que representa cerca del 35%. A este aprovechamiento agropecuario hay que sumar otros impactos más severos ligados al desarrollo industrial (fábricas de Nestle y Sidra Gaitero), al crecimiento de la localidad de Villaviciosa (acelerado notablemente en los últimos años) así como la construcción de viales (ejemplo, la construcción de la autovía A8, que atraviesa la cola estuarina mediante un falso túnel subterráneo) que han ocupado una superficie estuarina del 7%.

La gestión de la Reserva Natural se rige por el Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva (PRUG), un documento de carácter legal en el que se establecen las directrices

en las que se basa la regulación de la Reserva. En la actualidad, se encuentra vigente el II PRUG aprobado en el 2002 (Decreto 153/2002, de 28 de noviembre. BOPA núm. 297 de 26 de diciembre).

Las principales directrices de PRUG son las siguientes:

- Evitar la sobreexplotación de los recursos naturales.
- Ordenar las actividades humanas, evitando los perjuicios sobre el medio y sobre la calidad de vida de la población y favoreciendo las iniciativas de desarrollo sostenible.
- Incrementar el valor natural del espacio, eliminando gradualmente las especies exóticas y abordando tareas de restauración.
- Promover programas de interpretación y conocimiento del medio natural y mantener el Centro de Interpretación de la Reserva, promoviendo su utilización para la información de visitantes y el desarrollo de actividades de educación ambiental.

El estuario presenta varias elongaciones laterales por la zona oriental, representadas por las enseñas de Sebrayo, Selorio y Misiego, a través de las cuales el estuario se ensancha debido a la desembocadura de pequeños arroyos laterales. En el presente proyecto se estudiará la ensenada de Selorio (Figura 2), cuya influencia mareal se encuentra notablemente mermada por la barrera ligada al relleno de una carretera general (Figura 3), reduciendo de forma importante la actividad mareal esperable en condiciones naturales. Esto ocurre a pesar de presentar cotas topográficas características de terrenos muy activos, comparables a los ubicados en el lado opuesto de la carretera, representados por una llanura intermareal fangosa (Figura 3).

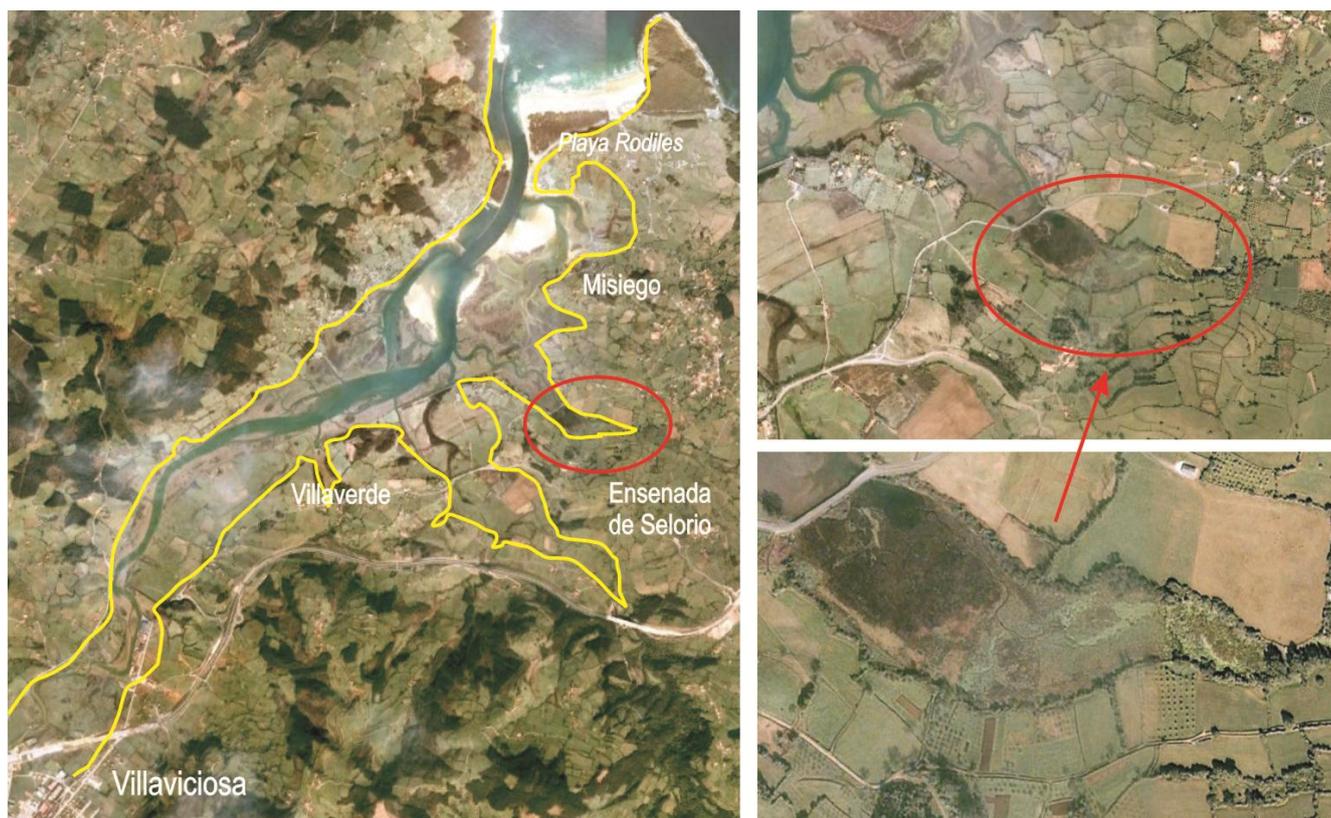


Figura 3. *Situación ensenada de Selorio.*

Estas alteraciones son muy frecuentes en los estuarios cantábricos, y en los últimos años se están incrementando los proyectos de restauración en este tipo de ámbitos, generalmente bajo la dirección de las Demarcaciones de Costas regionales y la Dirección General de Costas. La base de muchos proyectos de restauración parte de actuaciones generalmente sencillas, como la retirada de las barreras artificiales o la ampliación de las vías de conexión entre las zonas estuarinas naturales y las parcialmente desecadas. La topografía de los terrenos que se van a recuperar representan un factor determinante que sin embargo plantea muchas dudas debido a la escasez de ensayos que puedan servir de referencia, ya que es fundamental conocer cómo influyen las cotas topográficas en la funcionalidad mareal de los sistemas estuarinos a recuperar.

2.3.2.- Historia reciente

El origen de la ría se remonta al último período glacial würmiense, en el que la congelación de las aguas hizo que el mar se retirase. Una vez pasada la glaciación, el deshielo trasladó la línea de costa varios kilómetros tierra adentro para retirarse después, poco a poco, hasta su nivel actual dejando una zona húmeda que ha tenido mucha influencia en la evolución histórica de la zona.

El estuario de Villaviciosa ha tenido un protagonismo esencial en la organización del poblamiento de la villa y su concejo, ya desde los primeros asentamientos en el Asturiense (7340-4000 a.C.), así como en su actividad comercial, desarrollada entre el siglo XVI y los años treinta del XX a través de la navegación de cabotaje. La convivencia entre el hombre y la ría no plantea fricciones hasta los años sesenta del siglo XIX, cuando se emprende la subasta y el relleno de las llanuras mareales dentro de la desamortización general de Madoz, de cuya ejecución son fruto los actuales “porreos” que bordean el cauce. Posteriormente, en las décadas de 1870 y 1880 se gestan unas obras de canalización ideadas para solventar los problemas de navegabilidad que planteaba la colmatación del estuario, adjudicadas con demora, en 1892, y llevadas a cabo a lo largo de casi cuatro décadas con continuas y prolongadas interrupciones, fruto de las cuales sólo se consumó una mínima parte del proyecto: se acanaló la desembocadura (La Canal) y se construyó una dársena en El Puntal.

La industrialización de principios de siglo que impulsó la economía local, trajo a la larga los serios problemas de contaminación por vertidos que, junto con episodios de caza abusiva, crearon una situación crítica a principios de los años setenta, actualmente superada en virtud de obras de saneamiento y medidas proteccionistas, si bien la primera problemática persiste en términos significativos (Arce, 1997).

2.3.3.- Plan rector; división de la reserva y necesidades de restauración

El Plan Rector se establece con el objetivo de permitir una gestión diferencial del espacio, una zonificación de este territorio. Cada una de las cuatro zonas establecidas responden a características diferentes desde el punto de vista de valores naturales, paisajísticos o culturales, de su estado de conservación o de los aprovechamientos y

actividades productivas que se desarrollan en ellas, estableciéndose normas, utilización y destinos diferentes para cada una. Las cuatro zonas son:

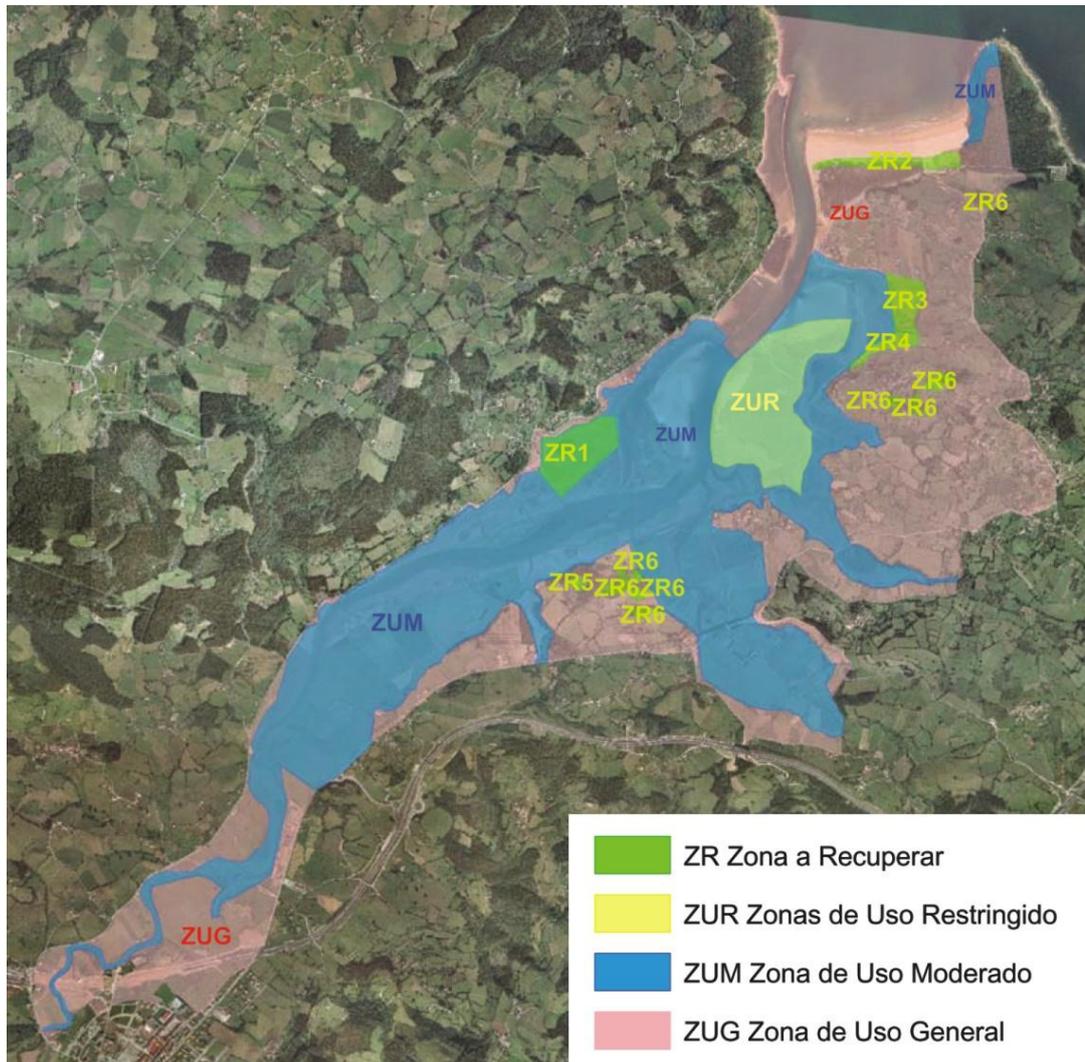


Figura 4. Zonificación del estuario de Villaviciosa.

- *Zonas a restaurar:* Son zonas puntuales que han sufrido algún tipo de alteración o variación de sus características iniciales que ha afectado a su valor ambiental y en las que se prevé la realización de actuaciones tendentes a su recuperación o restauración.
- *Zonas de uso restringido:* Son zonas de alto valor ecológico cuya finalidad principal es la conservación y en las que existen importantes limitaciones para el desarrollo de la mayor parte de las actividades y actuaciones.

- *Zonas de uso general:* Son zonas en las que, debido a su menor valor ecológico o a su situación o interés, las únicas restricciones para el desarrollo de actividades o actuaciones son las establecidas con carácter general para la totalidad de la Reserva. Muchas de estas zonas tienen una clara vocación de uso y disfrute público.
- *Zonas de uso moderado:* Son zonas que mantienen un elevado valor y en las que la finalidad de conservación prima frente a otros objetivos, aunque en ellas se permite el desarrollo de algunas actividades y actuaciones compatibles: actividades agrícolas y ganaderas tradicionales, restauración de vegetación autóctona, pesca marítima de recreo desde costa, marisqueo a pie, recuperación de bancos naturales de moluscos, recogida de cebo, cultivos marinos de moluscos con determinadas condiciones, actividades y deportes náuticos con determinadas condiciones, programas de educación ambiental e interpretación de la naturaleza, y actividades de uso y disfrute de los visitantes con determinadas condiciones. En esta categoría se encuentra el área de estudio.

En estas zonas se mantiene la vocación conservacionista, sin menoscabo de las limitaciones que se puedan deducir de la aplicación de Plan Especial de Protección Paisajística, permitiéndose una serie de usos.

2.3.4.- La ensenada de Selorio

La ensenada de Selorio comparte muchas de las características de los denominados “porreos”. Los porreos son terrenos que sin ser ambientes naturales, forman parte sustancial del paisaje de muchas rías, con especial intensidad en Villaviciosa, e incluso de su ecología. Se trata de antiguas llanuras de marea en las que crecían juncales y otras comunidades subhalófilas que el hombre cerró mediante diques o cárcavos y rellenó con vistas a su uso agropecuario. En el caso de Selorio, la estructura que actúa como dique es el relleno de la carretera N-632. Aunque en el resto de los porreos del río han dominado las pequeñas explotaciones agropecuarias, modo de vida tradicional de los habitantes de la ría, en el caso de Selorio la mayor demanda de terreno ha estado destinada a la ganadería vacuna y, en los últimos años, al pastoreo de caballos.

Buena parte del estuario ha sufrido desde finales del siglo pasado un proceso de reclamado, mediante la construcción de diques y canales de drenaje, que han originado extensas superficies de terrenos parcialmente desecados. En Selorio, esta red de canales de

drenaje se encuentra más difuminada, debido a que en la ensenada desemboca el arroyo Fumpalaín que actúa como drenaje natural.

Al igual que ocurre en los porreos, en Selorio también encontramos dos ambientes diferenciados. Por un lado, los canales de drenaje y zonas bajas unidas a ellas que, como consecuencia de su conexión a través de los diques con el canal del estuario, que se encharcan en las pleamares. En concreto, la carretera ejerce un represamiento en las aguas de la desembocadura del arroyo Fumpalaín que ha favorecido la creación de una charca permanente.



Figura 5. *Charca de Selorio en contacto con los juncals de marisma.*

Por otro, en la zona en contacto con la charca se desarrolla un ambiente de marisma dominado por un desarrollo masivo de juncals. Estos juncals conectan a su vez con terrenos más elevados y alejados de la zona de entrada mareal, que sólo se inundan en las pleamares más fuertes o en las épocas de lluvias más intensas, en las que los suelos son muy poco salobres y más o menos húmedos.



Figura 6. *Zona alta de la ensenada de Selorio.*

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para caracterizar la zona de estudio se plantean tres análisis principales: a) análisis histórico de la evolución de la zona de estudio; b) levantamiento topográfico de detalle, cuya metodología se detalla a continuación y c) cartografía de ambientes, basada en el análisis de las ortofotos más recientes y en los trabajos de campo, analizando los indicadores geomorfológicos y botánicos presentes en los terrenos. La topografía y el análisis de los rangos mareales ayudarán a concretar estos aspectos.

3.1.- Material recopilado para el análisis histórico

El trabajo parte del análisis de la evolución reciente de los estuarios mediante fotografías aéreas correspondientes a los años 1956-57 (1:33.000), 1969-70 (1:18.000), 1985 (1:30.000), 1989-90 (1:5.000), 1993 (1:10.000) y 1995 (1:18.000), que permiten la identificación de los cambios más importantes que han ocurrido desde el año 1956, tanto de carácter natural como los generados por actuaciones humanas.

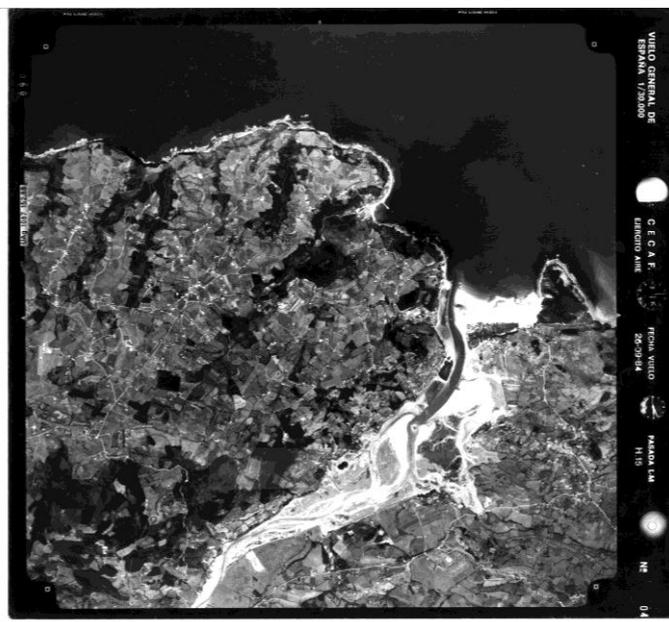
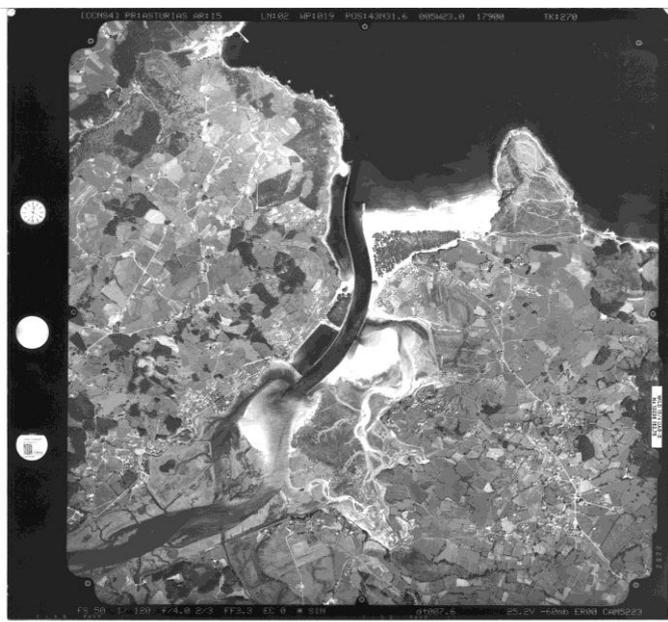




Figura 7. Arriba a la izquierda foto aérea del vuelo de 1995. Arriba a la derecha la de 1984. A la izquierda de 1956.

Adicionalmente, el Instituto Geográfico Nacional ha escaneado los trabajos topográficos realizados por la administración española entre 1870 y 1968 a escala 1:25,000, cubriendo gran parte del territorio. La cartografía disponible en el área de estudio es del año 1922, como se muestra en la Figura 8.

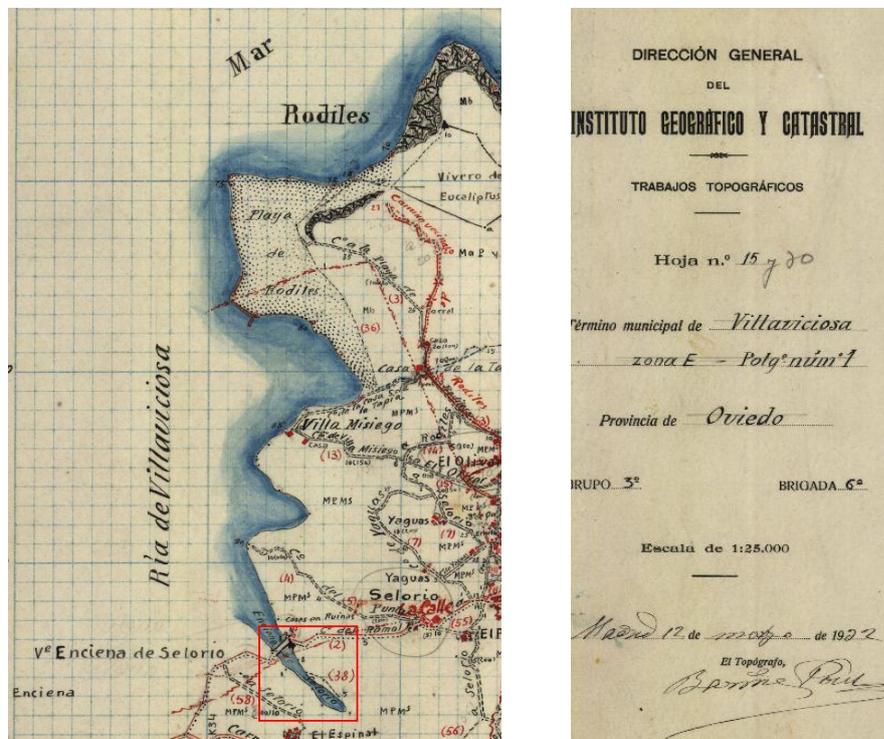


Figura 8. En 1922 ya existía la carretera que cruzaba la ensenada de Selorio, aunque como puede observarse la ensenada es definida como lámina de agua en vez de marisma.

Según la Figura 4 se puede observar que nuestra zona de estudio pertenece a las zonas de uso moderado, donde resulta recomendable la solicitud de un permiso para llevar a cabo nuestro estudio. El permiso es solicitado y aprobado como se muestra en los siguientes documentos.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
INDUROT
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y
ORDENACION DEL TERRITORIO

Edificio de Investigación - Campus de Mieres
Mieres 33600 Asturias España
Tel. 985458118 Fax 985458110
E-mail: indurot@indurot.uniovi.es
http://www.indurot.uniovi.es



Dirección General de Recursos Naturales
Consejería de Agroganadería y Recursos Autóctonos
C/ Coronel Aranda, nº 2
Oviedo 33005

A la atención de D. Óscar Rodríguez

Estimado Sr.:

Solicitamos permiso para acceder a la **Reserva Natural Parcial de la ría de Villaviciosa** (concretamente a la Zona de Uso Moderado **ensenada de Seforio**, por detrás de la carretera que la corta) con el fin de realizar tareas vinculadas al proyecto fin de Máster (de Teledetección y SIG, Universidad de Oviedo) de Evelyn Menéndez sobre *"Restauración ambiental de áreas estuarinas, el papel de la topografía en la evolución del área restaurada"*.

Los trabajos que se realizarán consistirán básicamente en la toma de cotas topográficas mediante GPS durante los días 25 y 30 de abril. No es necesaria la *recogida de muestras, sólo se necesita clavar una estaca de madera en el terreno que se retirará al finalizar el trabajo*. Se utilizará un vehículo de la Universidad de Oviedo Nissan Terrano matrícula 0395-CFS.

Las personas que formarán parte del equipo investigador son:

Susana Fernández Menéndez, DNI: 09394329W.

Elena Fernández Iglesias, DNI: 11433281G.

Evelyn Menéndez Casal, DNI: 71659854L.

Diego Fernández García, DNI: 71676554K.

Gracias, un saludo

Mieres, 20 de abril de 2012

El Director del INDUROT



Fdo.: Miguel Ángel Álvarez García

Figura 9. Permiso solicitado al Principado para la realización del estudio.

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERÍA DE AGROGANADERÍA Y RECURSOS AUTÓCTONOS

VICECONSEJERÍA DE RECURSOS AUTÓCTONOS
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS NATURALES

ADMÓN. PRINCIPADO DE ASTURIAS
Reg.Salida Nº2012020714013627
24/04/2012 13:05:20

SERVICIO DE ESPACIOS Y ESPECIES PROTEGIDAS
Expte.: 2012/012911
Destinatario: Universidad de Oviedo - INDUROT Edificio de Investigación Campus de Mieres 33600 - MIERES
Asunto: Solicitud de permiso para realizar tareas vinculadas con proyecto de fin de máster

Con fecha 20 de ABRIL de 2012 se recibe fax remitido por D. Miguel Ángel Álvarez García, director de Indurot solicitando autorización para que Dña. Evelyn Menéndez tomen datos topográficos en la Ensenada de Selorio de la Reserva Natural Parcial de Villaviciosa, durante los días 25 y 30 de abril de 2012.

Visto el **PLAN RECTOR DE USO Y GESTIÓN DE LA RESERVA NATURAL PARCIAL DE LA RÍA DE VILLAVICIOSA**, así como el informe emitido por la guardería adscrita a la misma, se propone

AUTORIZAR

El acceso y la toma de muestras de suelos en la Reserva los días 25 y 30 de abril de 2012, de acuerdo con las siguientes condiciones:

- El equipo que realizará la toma de datos estará formado por las siguientes personas:

Dña. Susana Fernández Menéndez	D.N.I. 09.394.329-W
Dña. Elena Fernández Iglesias	D.N.I. 11433281-G
Dña. Evelyn Menéndez Casal	D.N.I. 1.659854-L
D. Diego Fernández García	D.N.I. 71676554-K

- Para las labores se utilizará un vehículo Nissan Terrano, matrícula 0395 CFS
- Previamente a la realización de los trabajos, el equipo deberá ponerse en contacto con la Guardería de la zona (Tfno. 985-890602), con el fin de coordinar la visita.
- Las personas autorizadas responderán civil y penalmente en cuanto a daños a terceros y estarán obligados a respetar la legislación de Conservación de la Naturaleza.
- Al finalizar los trabajos el responsable del estudio deberá informar al Servicio de Conservación del Medio Natural de los resultados y remitirá una copia del mismo en que se citará expresamente la colaboración de la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Gobierno del Principado de Asturias.

Oviedo, a 23 de abril de 2012

EL DIRECTOR CONSERVADOR
DE LA RNP DE LA RIA DE VILLAVICIOSA

Fdo. Antonio Alba Moratilla

C/ Coronel Aranda, 2 33005 Oviedo. Tfno.: 985 10 55 00

Figura 10. Ejemplo de respuesta afirmativa a la solicitud de estudio.

3.2.- **Levantamiento topográfico de la zona**

Un levantamiento topográfico consiste en la toma de coordenadas (X, Y, Z) de puntos en una zona de estudio para determinar el relieve. Consta de un levantamiento planimétrico (X, Y) y un levantamiento altimétrico (Z).

Para realizar el levantamiento en este caso se ha elegido un método de GPS diferencial debido a que en medios con buena visibilidad y reducidas obstrucciones este método es rápido y proporciona una resolución espacial adecuada (precisión centimétrica en este caso). Un aspecto clave del método es el sistema de referencia en el que se toman los datos. Debido a la importancia de los sistemas de referencia, a continuación se hará una introducción explicativa de los diferentes sistemas utilizados en el presente proyecto.

3.2.1.- **Sistemas de referencia**

- **Sistema de referencia WGS-84**

Éste es el sistema de referencia utilizado por la tecnología GPS.

El sistema WGS-84 (World Geodetic System) es un sistema geodésico mundial, apoyado en el elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System) y en la red geodésica asociada del mismo nombre.

Su definición geométrica es:

- $a=6.378.137$ metros (semieje mayor).
- $b=6.356.752$ metros (semieje menor).
- $f=1/298,257223563$ (aplanamiento).

El sistema coordenado WGS-84 es un sistema cartesiano centrado, definido por:

- Origen: centro de masas de la Tierra (geocentro).
- Eje z: dirección del polo de referencia IERS (corresponde a la dirección del polo convencional terrestre en la época 1984,0)

- Eje X: intersección del meridiano de referencia IERS y el plano que pasando por el origen es perpendicular a eje Z.
- Eje Y: completa un sistema ortogonal dextrógiro.

Las alturas en este sistema son alturas elipsoidales respecto al elipsoide WGS-84.

Con este sistema de referencia se ha trabajado tanto en campo como en el procesamiento posterior de los datos con el software de post-proceso.

- **Sistema de referencia ED-50**

Éste es el sistema en el que tenemos la cartografía de la zona y por tanto es el sistema al que se transformarán las coordenadas WGS-84 tomadas con el GPS.

Éste es el sistema oficial en España, fue adoptado para la Cartografía Nacional en 1970 por el Instituto Geográfico Nacional.

El elipsoide de referencia es el elipsoide de Hayford de 1909, que también se conoce como Internacional desde 1924. Sus datos geométricos son:

- $a = 6.378.388$ m (semieje mayor).
- $b = 6.356.912$ m (semieje menor).
- Aplanamiento: $1/f = 1/297$
- Eje vertical paralelo al eje de giro de la Tierra
- Semieje mayor o semieje ecuatorial de 6.378.388 metros.
- Excentricidad al cuadrado: 0,006722670022.

El Datum (Punto Astronómico Fundamental) es la Torre de Helmert, situada en el Observatorio de Postdam (Alemania); el Meridiano de Greenwich se toma como origen de longitudes y el Ecuador como origen de latitudes.

Las coordenadas geodésicas obtenidas bajo este sistema son transformadas a coordenadas planas mediante la proyección cartográfica UTM (Universal Transversa

Mercator), proyección oficial vigente en España. Estos vértices tienen coordenadas elipsoidales (φ, λ) o en proyección UTM (X_{UTM}, Y_{UTM}) y su altitud es ortométrica (H).

Una vez obtenidas la coordenadas ED-50 se ha podido importar sobre la cartografía y trabajar con los datos en ArcGis.

3.2.2.- El modelo de Geoide EGM08-REDNAP

En el caso del posicionamiento por satélite, se habla de alturas elipsoidales, pero para nuestro trabajo necesitaremos alturas ortométricas. Éstas se pueden relacionar con las alturas elipsoidales mediante una sencilla fórmula y la ayuda de un modelo de geoide. El geoide es otra superficie de referencia usada en geodesia que representa la (superficie de referencia) sobre la cual se miden las alturas ortométricas.

$$h=N+H$$

Donde h es la altura elipsoidal, H la altura ortométrica y N la ondulación del geoide sobre el elipsoide. La información ofrecida por el modelo de geoide es el valor de N sobre un elipsoide de referencia dado. Existen varios modelos de geoide publicados por la Península Ibérica.

El Centro de Observaciones Geodésicas publicó a finales de 2009 el modelo de geoide EGM08-REDNAP, adaptando el modelo gravimétrico mundial Earth Gravitational Model 2008 (EGM08) al marco de referencia vertical dado por la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP).

Las fuentes de datos que se han utilizado para la creación de una superficie de corrección a la ondulación gravimétrica han sido señales de REDNAP (con altitud ortométrica), en donde se ha determinado la altitud elipsoidal mediante GPS (casi 14.000 señales).

Las diferencias entre los valores observados y los calculados por el modelo generaron una superficie de corrección y adaptación a REDNAP del modelo original EGM2008 gravimétrico. Para la generación de la superficie de corrección se eligió el algoritmo de superficie de mínima curvatura.

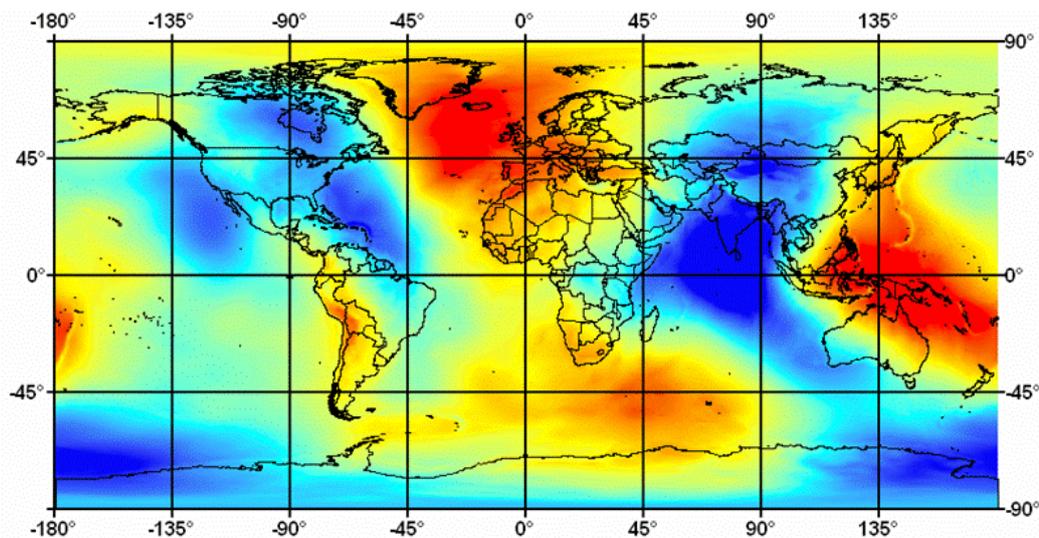


Figura 11. *Modelo mundial de geoide EGM2008 (Fuente: <http://earth-info.nga.mil>)*

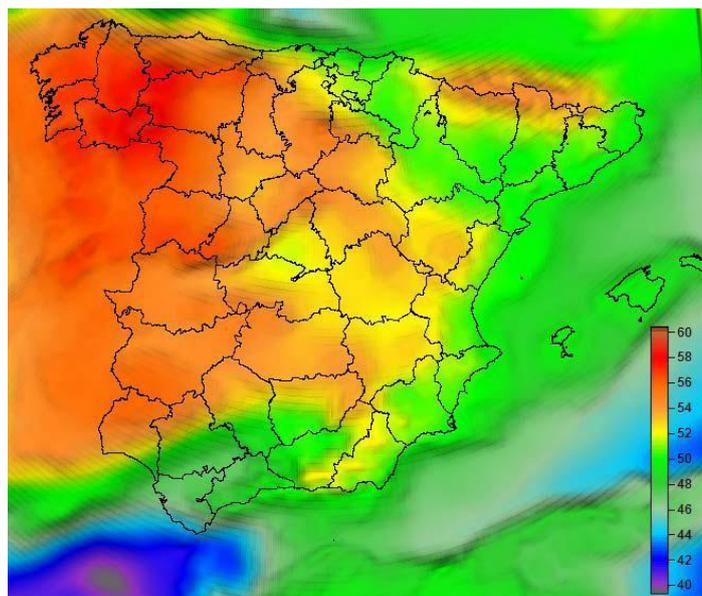


Figura 12. *Modelo de geoide EGM 2008 en Península y Baleares*

El modelo EGM08-REDNAP se ha dispuesto en un servidor FTP público del Centro de Observaciones Geodésicas en una carpeta denominada geoides, donde se pueden encontrar en formato ASCII los dos modelos para Península y Canarias y en otros formatos de casas comerciales (Leica , Topcon y Trimble) para su utilización directa en receptores GPS RTK, así como en formato GeoLab para su utilización con este software de ajuste de redes geodésicas. Así mismo, a través del Programa de Aplicaciones

Geodésicas (PAG) el usuario puede obtener los datos de ondulación del geoide y desviación de la vertical en toda España.

3.2.3.- Instrumentación

- Gps (Global Positioning System)

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (X, Y, Z), partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Ahora bien, mientras los relojes de los satélites son muy precisos, los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo coste y, por tanto, imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan *pseudodistancias*. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones.

El GPS está dividido en tres segmentos:

- Segmento espacial: contiene los satélites emisores de señales.
- Segmento de control: gobierna el sistema.
- Segmento usuario: incluye todos los diferentes tipos de receptores.

Actualmente consta de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) distribuidos en seis planos orbitales inclinados 55° respecto al ecuador y distribuidos en forma equidistante. Los satélites se mueven a una altura aproximada de 20.600 km., completando dos revoluciones por día sidéreo. El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día.

A continuación, se expondrán los diferentes métodos para la toma de datos con GPS:

1) Método estático

- a. Estático convencional: las sesiones de medición son de 1 hora de duración o mayores. Es el que brinda la mayor precisión en el posicionamiento GPS.
- b. Estático rápido: de menor precisión que la brindada por el estático convencional. Se realizan acortándose el tiempo de duración de las sesiones (10 minutos de medición diferencial para líneas de hasta 5 km, debiendo aumentarse 2 minutos por cada km adicional). Se recomienda no medir vectores superiores a 10 km.

2) Método dinámico

- a. Cinemático: el receptor remoto se encuentra en movimiento, ocupando cada punto uno o dos minutos. Para resolver ambigüedades al comienzo de la medición se inicializará la misma realizando medición diferencial sobre una línea base, así que el equipo remoto puede comenzar a medir cinemáticamente. Al finalizar la medición cinemática el receptor remoto reocupará el punto de partida con el fin de permitir la revisión de continuidad de ambigüedades.
- b. Pseudocinemático: las sesiones tienen una duración de 5 a 10 minutos. El receptor reocupa la estación inicial después de una hora.
- c. OTF: similar al cinemático, no requiere inicialización, debiendo permanecer el receptor remoto en cada punto dos o tres minutos o 10 a 15 minutos, depende del receptor utilizado. Durante el lapso de medición diferencial no se debe perder la señal de un mínimo de cuatro satélites, en caso de ocurrir esto, no es necesario recuperación alguna, ya que basta con un nuevo período de estabilización que permita la resolución de ambigüedades en el procesamiento anterior.
- d. RTK (tiempo real): Este método requiere receptores que utilicen de forma simultánea las constelaciones satelitales GPS y GLONASS. Las

ambigüedades se resuelven en movimiento. Para la obtención de buenos resultados la distancia máxima aconsejada de separación entre la base y el receptor remoto es de 20 km. Éste es el que ha sido utilizado en el actual proyecto por ser el que más se adapta a nuestras necesidades.



Figura 13. *Medición en tiempo real.*

3.3.- **Equipamiento utilizado**

Una vez hecho un estudio previo de la zona mediante fotos aéreas de diferentes años, recopilación de diversa información (altura de pleamares...), de obtener los permisos pertinentes y de elegir el método de medición que más se adapta a nuestras necesidades, se lleva a cabo la elección de los instrumentos adecuados. Se plantea realizar las mediciones con un GPS Leica 1200 y se consigue una pareja de GPS's, ambos propiedad de la Universidad de Oviedo.

Los equipos utilizados son:

- La estación de referencia de la Escuela Politécnica de Mieres, equipada con un receptor Leica GPS1200 Pro, y el GPS Leica 1200 (receptor GX 1230) con antena AX1202.
- Dos receptores LEICA GPS1200.

a) **Estación de Referencia de la EPM**

La estación permanente GPS del Campus de Mieres comienza a funcionar en Abril de 2005 con el fin de dar servicio a la comunidad Universitaria y profesionales del sector que precisen de observaciones GPS de calidad.

El acceso a los datos es gratuito y se encuentran disponibles en formato LB2 de Leica y en formato RINEX, con distintos intervalos.

a. Equipamiento

i. El receptor GPS y la antena.

La estación permanente GPS de la EUIT de Mieres está equipada con un receptor *Leica GRX 1200 Pro* con 12 canales para la portadora de fase L1 y otros 12 para la portadora L2. Dispone de código C/A sobre la portadora L1 y código P sobre L2 aun cuando éste está encriptado. Está equipada con antena geodésica L1/L2 tipo “choke ring” y cono de protección climático.

El registro de datos, su almacenamiento y la conversión al formato RINEX se realizan con el programa *Leica Spider*. Los datos se registran en formato LB2 y RINEX.



Figura 14. *Componentes antena.*

b. Comunicaciones.

La estación viene equipada con una radio-modem Satelline 3AS/ASD, mediante la cual se emiten continuamente la corrección diferencial para tiempo real en formato Leica, a través del canal 0 del radio-modem que permite trabajar en un entorno de 5 a 10 km de la estación de referencia.

La antena se encuentra situada en la parte NW del Campus de Mieres, montada sobre un mástil de acero inoxidable rematado en su extremo con una placa metálica provista de centrado forzoso por tornillo que materializa el punto de estacionamiento, al que están referidas las coordenadas de la estación.

c. Coordenadas estación de referencia.

La estación dispone de coordenadas en los sistemas de referencia geodésicos ETRS 89 (Red REGENTE) y ED50, referidos ambos al centrado forzoso de la antena.

b) GPS Leica 1200 (receptor GX 1230)



Figura 15. *Receptor GPS Leica 1200*

Este instrumento puede utilizarse sobre un trípode para mediciones en estático, o sobre pilar de hormigón. También existe la posibilidad de portarlo con mochila para

poder desplazarse libremente por el campo en el caso de realizar mediciones en cinemático.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

Descripción resumida	
Receptor	GX 1230 / ATX 1230
Nº canales	12 L1+12 L2
Medidas en L1	Fase portadora de onda completa con SA. Código C/A con técnica de correlación estrecha
Medidas en L2	Fase portadora de onda completa con SA desactivado o en código P2/P auxiliar bajo SA. Funciona igual con SA o sin ella
Medidas independientes	Medidas independientes en códigos y fase en L1 y L2
Antena GPS	
Antena Topográfica Estándar	AX 1202
Plano de Tierra	Plano de Tierra incluido
Dimensiones (diámetro x altura)	170x62 mm.
Terminal	
Tipo	RX1210 con pantalla táctil
Precisión en la medición y en la posición	
Precisión de las mediciones de código y fase (independiente de la SA)	
Fase Portadora L1	0,2mm. Emc
Fase Portadora L2	0,2mm. Emc
Código (Pseudodistancia) L1	2cm. Emc
Código (Pseudodistancia) L2	2cm. Emc
Precisión emc con postprocesamiento	
Estático y Estático Rápido (fase) con antena estándar	Horizontal: 5mm.+0,5ppm. Vertical: 10mm+0,5ppm
Cinemático (fase), en movimiento después de la inicialización	Horizontal: 10mm.+1ppm. Vertical: 20mm.+1ppm.
Sólo Código	Típicamente 25cm.
Precisión emc en tiempo real (RTK)	
Estático rápido (fase) Estático después de la inicialización	Horizontal: 5mm.+0,5ppm. Vertical: 10mm.+0,5ppm.
Cinemático (fase), después de la inicialización	Horizontal: 10mm.+1ppm. Vertical: 20mm.+1ppm.
Sólo Código	Típicamente 25cm.
Precisión con un solo receptor en modo navegación	
Precisión de Navegación	5-10m. emc para cada coordenada
Degradación	Degradación posible a la SA

3.3.1.- Toma de datos

Para la planificación óptima de un levantamiento GPS debe considerarse varios parámetros tales como, el lugar, la configuración de los satélites, el número y el tipo de receptores a utilizar y los aspectos económicos. De la zona se ha hecho un estudio previo, recopilando bibliografía, analizando fotos aéreas históricas de los vuelos realizados en la zona así como revisando la cartografía existente para saber qué información podría sernos útil. Teniendo en cuenta esta información, el número de receptores serán dos y el tipo de medición RTK por considerarse el método más útil por la gran cantidad de datos que se deben tomar. Los instrumentos han sido cedidos en préstamo por la Universidad de Oviedo para los días de salida al campo por tratarse de un proyecto fin de Máster.

En la primera salida de campo, llevada a cabo el 25 de abril, acudimos para ver en persona las condiciones del terreno; aunque se haya hecho un estudio previo mediante fotos aéreas, la visita de campo es fundamental para obtener una visión de la zona en detalle, así se pueden valorar si las condiciones han variado. Se llega a campo a las 9.30, la pleamar para ese día es a las 07:28 horas y es de 3.73 m mientras que la bajamar es a las 13:26 horas y de 1.13 m. Estos niveles son importantes para minimizar en lo posible el efecto del encharcamiento mareal, facilitando el acceso y la toma de datos en algunos terrenos.

En las dos primeras horas se debate cuáles son las zonas más interesantes para la toma de datos para su posterior estudio. Los ambientes representados en la actualidad se asocian a una influencia mareal limitada por el efecto barrera de la carretera que secciona la ensenada. Cualquier modificación que se plantee en las propuestas de restauración sobre esta barrera, inducirá cambios en los ambientes representados en la ensenada.

Por estos motivos, se plantea hacer hincapié en las zonas de tránsito entre diferentes ambientes, zonas en las que la vegetación cambia notablemente debido a los pequeños cambios altimétricos que se producen en el terreno, ligeras variaciones en la topografía que llevan a grandes cambios geomorfológicos, con repercusión tanto en la fauna como especialmente en la flora.



Figura 16. *Primera salida a campo.*

Una de los momentos más importantes es elegir la ubicación de la base, punto desde el que se obtendrán las coordenadas del resto de puntos. La base de referencia será materializada mediante una estaca de unos 30 centímetros de largo con una cabeza de 2.5x2.5 centímetros; en el centro de ésta se introducirá un clavo el cual será el punto de estacionamiento (Figuras 18 y 19).

En la planificación de un trabajo GPS se plantean tres consideraciones a la hora de elegir un punto:

1. Que no existan obstrucciones en el horizonte por encima de los 20° de elevación que provoquen pérdidas en la recepción de la señal.
2. Que no existan superficies reflectantes en los alrededores de la antena que no provoquen “multipath”.
3. Que no existan instalaciones eléctricas cercanas que puedan provocar distorsiones en las medidas.

Una vez transcurrido el debate previo se procede a buscar el lugar más adecuado para la colocación de la base. Debido a que la zona es muy llana, con variaciones en altura muy suaves y que en marea alta parte importante se encharca, se busca una zona donde esto no ocurra, donde no haya interferencias en el GPS por la proximidad de árboles o estructuras que no nos permitan conseguir una señal adecuada.

La estaca no es clavada del todo para su mejor localización en la zona de trabajo en días posteriores, sobresale unos 15 cm como se puede observar en la Figura 19.



Figura 17. *Situación del emplazamiento de la estaca.*



Figura 18. *Se procede a clavar la estaca que actuará como base en nuestro proyecto.*



Figura 19. *La estaca una vez clavada (sobresale para su rápida búsqueda).*

Posteriormente se procede al estacionamiento del GPS que estará fijo y el cuál obtendrá las coordenadas de la base, paso fundamental ya que el resto de puntos serán

calculados a través de éste de referencia. Por lo tanto la precisión del proyecto dependerá de nuestra precisión y buen estacionamiento en este punto.



Figura 20. *Estacionamiento en punto base.*

Este GPS es el que está referenciado a la antena situada en el tejado de la Escuela Politécnica de Mieres y cuyos datos técnicos han sido expuestos en párrafos anteriores.

Una vez estacionado el instrumento y configurado, se procede a montar el equipo móvil, el cuál será el que obtenga las coordenadas del resto de puntos que conforman nuestra nube.

Mientras se toman el resto de puntos que conforman la nube, el GPS que permanece fijo capta la señal de la antena de la escuela, tomaremos tantos puntos como consideraremos necesario.

Figura 21. *Toma de datos*

El total de días que se salieron al campo fueron seis (25 de Abril, 4, 5, 6, 22 y 23 de Mayo) obteniendo un total de 2383 puntos con precisión inferior a 5 cm.

Una vez tomados una selección de puntos que consideramos importantes se procede al día siguiente a la descarga de datos y a la realización del post-proceso mediante el software Leica Geo-Office.

3.4.- Procesado de datos. Leica Geo-Office



Mediante el software Leica Geo-Office procesaremos los datos tomados en campo días anteriores, los pasos a seguir son los siguientes:

3.4.1.- Creación de un proyecto

En un primer momento se debe abrir el programa y crear un proyecto nuevo para ello se pincha en el menú vertical, situado a la izquierda y pinchar en *Proyectos* (Projects).

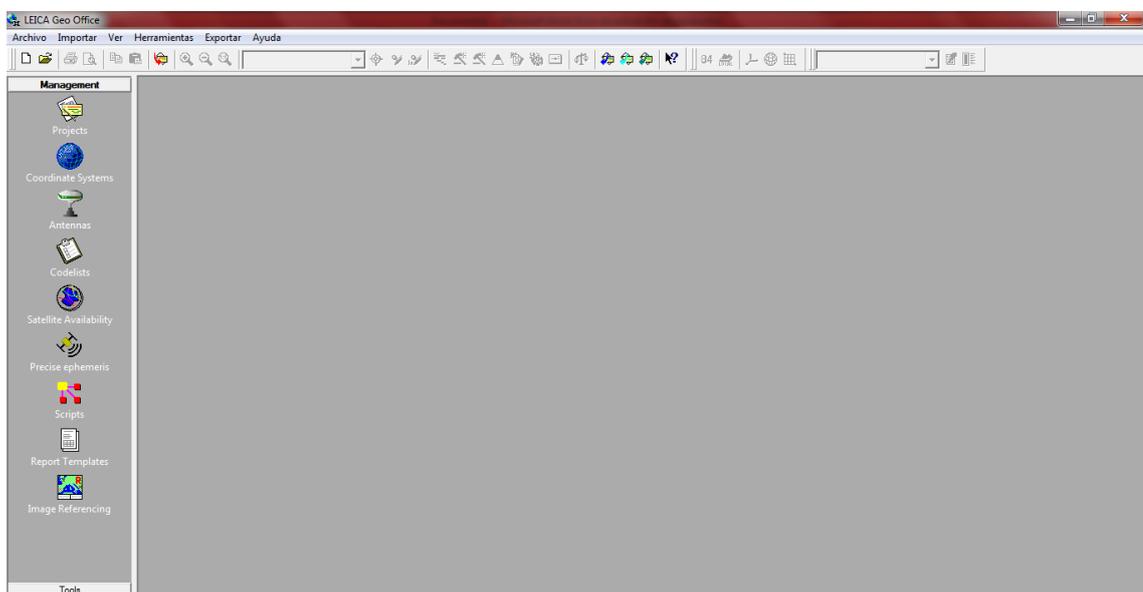


Figura 22. Visualización general del programa.

Una vez dentro de la carpeta se pincha con el botón derecho sobre la carpeta *Proyectos* y a continuación en *Nuevo*.

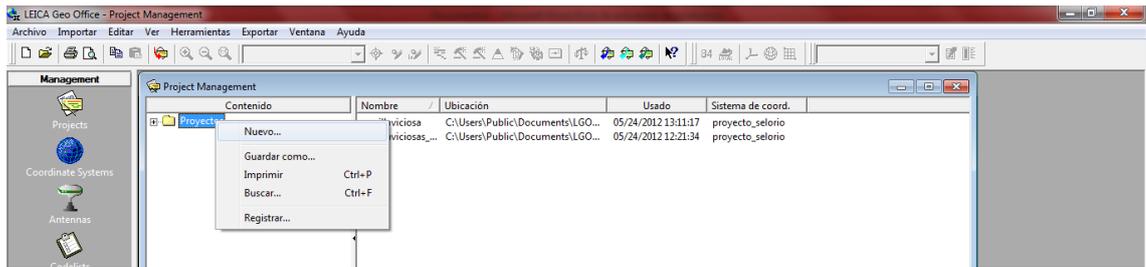


Figura 23. Creación de un nuevo proyecto.

Seguidamente aparece una ventana como la de la figura 24, esta ventana corresponde a la de creación de trabajos. En la pestaña *General* de la ventana se da nombre al proyecto (en este caso VILLAVICIOSA) y la ubicación en la que se desee guardarlo; en la pestaña *Coordenadas*, se pone WGS 1984 ya que éste es el sistema con el que trabaja el GPS y será con los datos con los que se va a trabajar; y por último en *Plantilla de lista de códigos* ponemos en clase de instrumento SYSTEM1200.

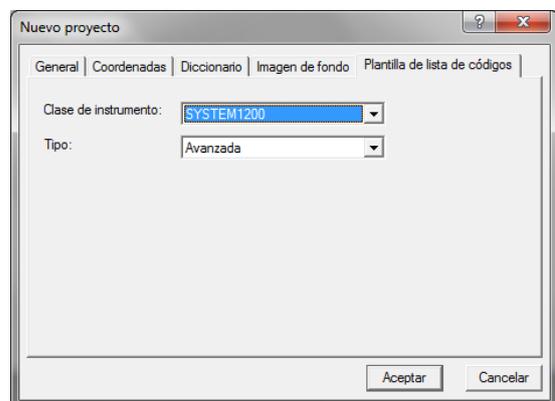
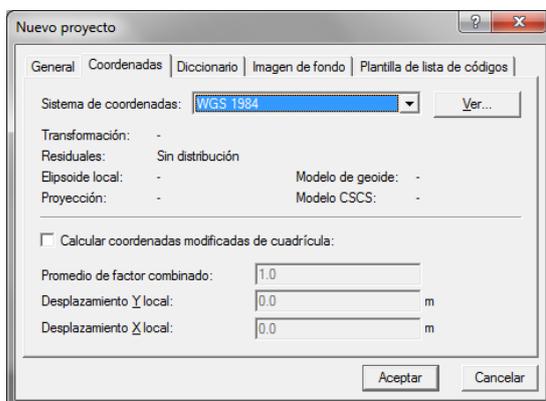
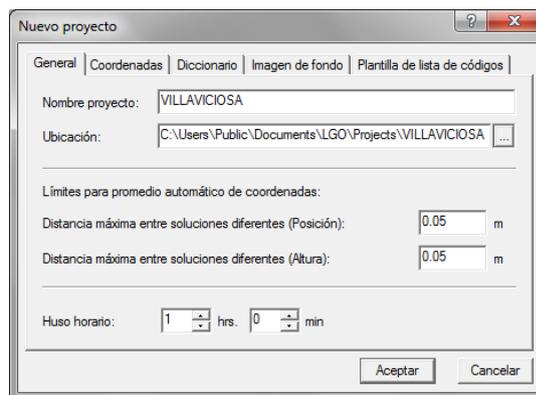


Figura 24. Pasos para la creación de un nuevo proyecto.

Cuando se tenga la configuración lista se pincha en Aceptar, automáticamente es guardado y aparecerá en la lista de los proyectos almacenados por el software.

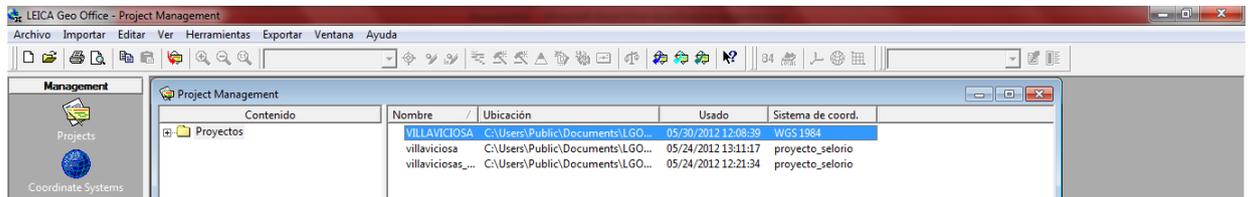


Figura 25. Directorio de trabajos existentes en el software.

Para acceder al proyecto creado se debe hacer doble clic sobre él dentro de la carpeta de Proyectos, una vez que estemos dentro podemos observar que en la parte inferior de la ventana aparecen una serie de pestañas, a través de alguna de ella se podrá visualizar el contenido del proyecto, generar informes de resultado y diversas tareas.

En la pestaña Ver/Editar (*View/Edit*) podemos ver la representación gráfica de los puntos tomados así como configurar la visualización de dicha información geográfica. En la pestaña Puntos (*Points*) podemos ver los puntos existentes en nuestro proyecto con sus coordenadas, podemos editar el tipo de coordenadas y el tipo de información asociada a los puntos que queremos visualizar.

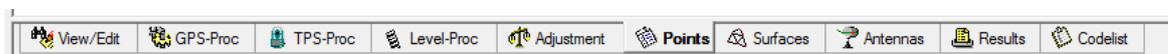


Figura 26. Barra de distribución de pestañas.

3.4.2.- Importar datos crudos

Una vez creado el proyecto procederemos a importar los puntos tomados en campo, en un primer momento importaremos los datos obtenidos por el GPS fijo,

descargaremos los datos del GPS al ordenador y a continuación, desde el software Importar/Datos Crudos (*Raw Data*).



Figura 27. Paso 1 para la importación de datos crudos.

Una vez hecho esto aparecerá una ventana como la de la Figura 28, se seleccionaran los datos de la carpeta adecuada, se asignará en el tipo de archivo Datos crudos Sistema1200, por último se pinchará en Importar.

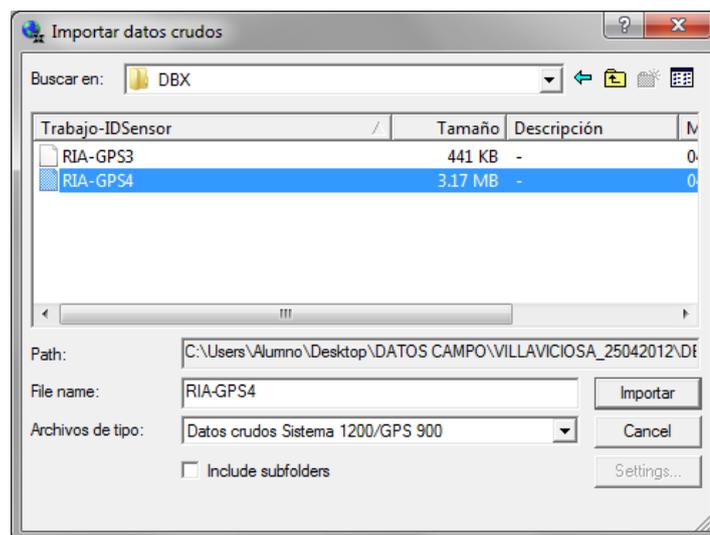


Figura 28. Paso 2 para la importación de datos crudos.

Una vez importados los datos se asignan al proyecto correspondiente, se selecciona dicho trabajo y se pincha en Asignar como se puede ver en la figura siguiente.

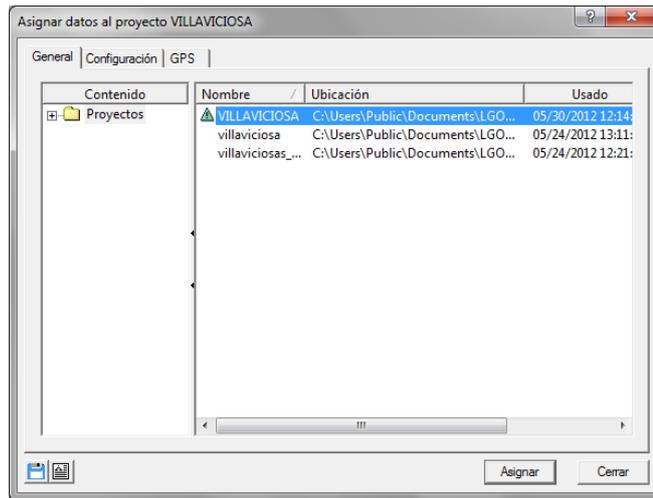


Figura 29. Asignación de datos crudos a nuestro proyecto.

Instantáneamente se podrá ver el punto base, tanto gráfica como numéricamente con sus coordenadas.

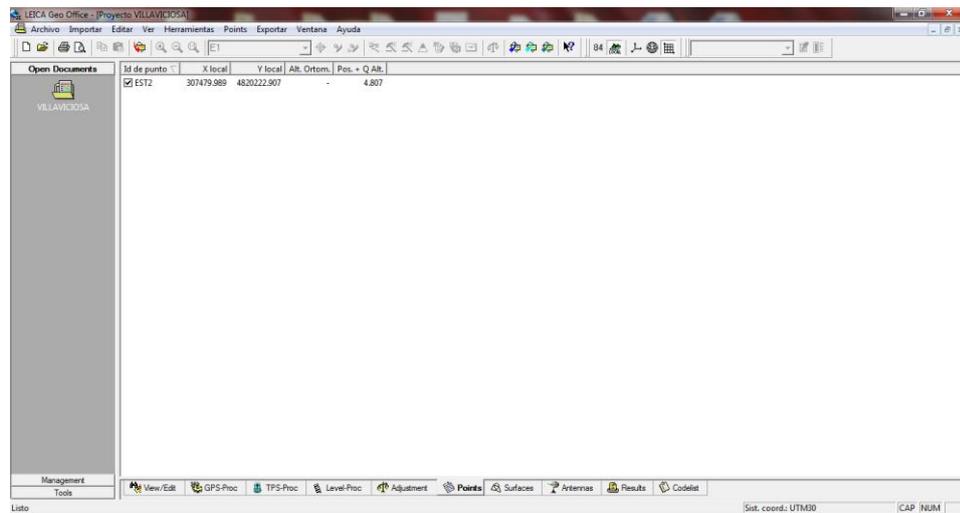


Figura 30. Coordenadas del punto base.

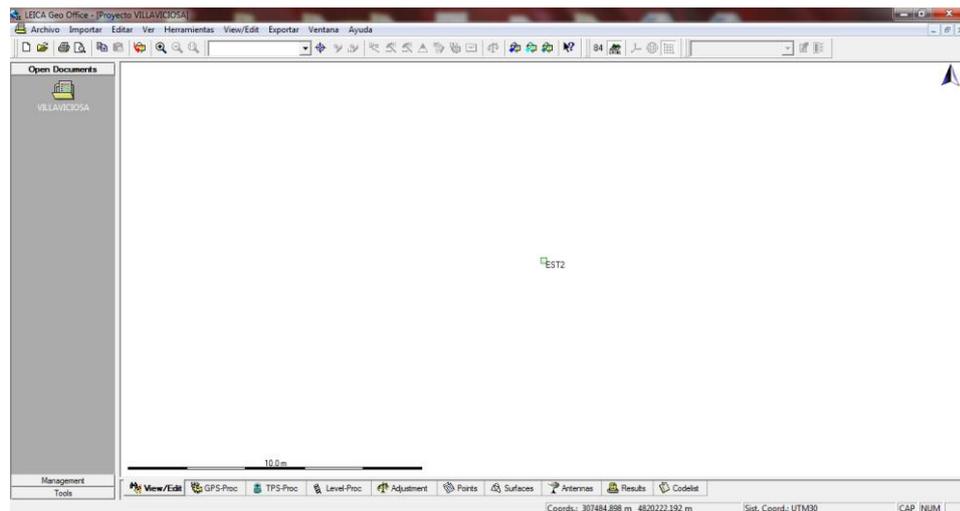


Figura 31. Visualización gráfica del punto base.

Una vez que se ha importado el punto base se debe darle sus coordenadas verdaderas, para ello debemos descargarnos de la página de la Universidad de Oviedo los archivos RINEX de la Estación de Referencia correspondientes al primer día en el que se salió al campo y también a las horas en las que se ha estado trabajando, podemos descargar dichos datos a través del enlace: http://www.unioviedo.es/refgps/ERGM_DATA/RINEX/.

Los formatos disponibles son dos:

- Formato de intercambio independiente del receptor (RINEX)
- Leica de doble frecuencia '*Leica Binary 2'* (LB2).

El intervalo de registro de datos en ambos formatos es de 5 segundos.

Los archivos generados son de una hora de observación, existiendo 24 archivos para cada día almacenados por la hora en tiempo UTC de comienzo del archivo.

Los archivos que nos interesan son los RINEX.

Los datos brutos GPS de la estación son almacenados en archivos comprimidos en formato zip, organizados en carpetas por años. Dentro de cada carpeta anual hay otras 12 carpetas, una para cada mes, y dentro de cada carpeta mensual hay otra

carpeta para cada día. Cada día completo lo conforman 24 archivos, uno por cada intervalo horario. Cada archivo queda nombrado de la siguiente forma:

ERGMXXXa.m00.zip

Donde:

ERGM es el indicativo de la estación. (Estación de Referencia Gps campus de Mieres)

XXX es el día del año en que se registraron los datos que se desean. Tiene formato numérico de tres dígitos y varía de **001** para el 1 de enero hasta **365** para el 31 de diciembre, en años no bisiestos.

a es el archivo horario dentro del día. Es una 'a' para el intervalo horario desde las 00:00 UTC hasta las 01:00 UTC, una 'b' para los datos desde las 01:00 UTC hasta las 02:00 UTC, y finalmente una 'x' para el archivo desde las 23:00 UTC a las 24:00 UTC.

m00 hace referencia al formato del archivo m00 para formato LB2 o bien RNX para archivos RINEX.

zip es la extensión del archivo comprimido.

En el caso de ficheros RINEX al descomprimirse dará lugar a dos ficheros, en uno se incluyen las observaciones y en el otro los datos de navegación.

Una vez en la página y como se muestra en la figura 33 se elige el año, el mes, el día y dentro del día descargarnos las horas en las que hemos estado tomando datos en campo.

Index of /refgps/ERGM_DATA/RINEX/2012/04/25

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
ergm116a.rnx.zip	25-Apr-2012 03:15	1.3M	
ergm116b.rnx.zip	25-Apr-2012 04:15	1.5M	
ergm116c.rnx.zip	25-Apr-2012 05:15	1.3M	
ergm116d.rnx.zip	25-Apr-2012 06:15	1.2M	
ergm116e.rnx.zip	25-Apr-2012 07:15	1.0M	
ergm116f.rnx.zip	25-Apr-2012 08:15	1.0M	
ergm116g.rnx.zip	25-Apr-2012 09:15	1.3M	
ergm116h.rnx.zip	25-Apr-2012 10:15	1.2M	
ergm116i.rnx.zip	25-Apr-2012 11:15	1.1M	
ergm116j.rnx.zip	25-Apr-2012 12:15	1.1M	
ergm116k.rnx.zip	25-Apr-2012 13:15	1.1M	
ergm116l.rnx.zip	25-Apr-2012 14:15	1.0M	
ergm116m.rnx.zip	25-Apr-2012 15:15	1.1M	
ergm116n.rnx.zip	25-Apr-2012 16:15	1.0M	
ergm116o.rnx.zip	25-Apr-2012 17:15	1.0M	
ergm116p.rnx.zip	25-Apr-2012 18:15	1.2M	
ergm116q.rnx.zip	25-Apr-2012 19:15	1.3M	
ergm116r.rnx.zip	25-Apr-2012 20:15	1.1M	
ergm116s.rnx.zip	25-Apr-2012 21:15	1.0M	
ergm116t.rnx.zip	25-Apr-2012 22:15	923K	
ergm116u.rnx.zip	25-Apr-2012 23:15	971K	
ergm116v.rnx.zip	26-Apr-2012 00:15	1.0M	
ergm116w.rnx.zip	26-Apr-2012 01:15	1.0M	
ergm116x.rnx.zip	26-Apr-2012 02:15	1.2M	

Apache/2.2.8 (Ubuntu) Server at www.unioviado.es Port 80

Figura 32. Directorio desde el que se pueden descargar los datos de la antena de referencia.

Una vez descargados se volverá al software y a través del anterior desplegable, Importar/Datos Crudos, cargamos los nuevos datos, el proceso es el mismo con excepción del tipo de archivo a seleccionar que en este caso es RINEX. Se seleccionan todos los archivos descargados y se pincha en el botón Importar, se asignan los nuevos datos a nuestro proyecto.

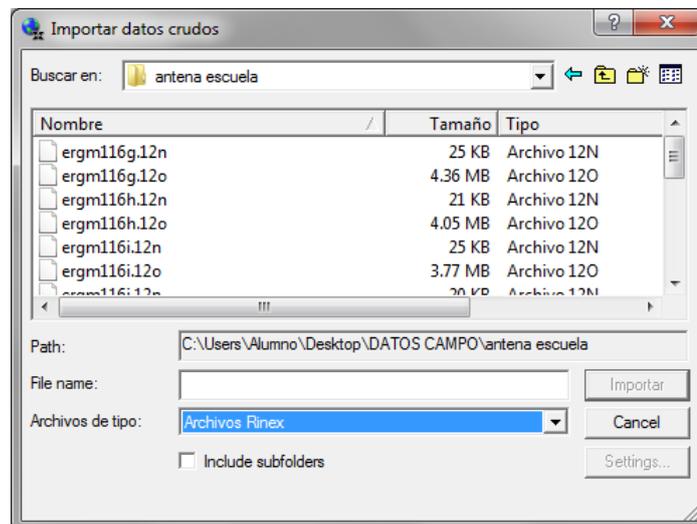


Figura 33. Importación de los datos descargados de la antena de referencia.

3.4.3.- Obtención coordenadas punto base

Una vez asignados los datos automáticamente aparece la antena de referencia de la escuela, ahora ya podemos transmitir las coordenadas de ésta a nuestro punto base.

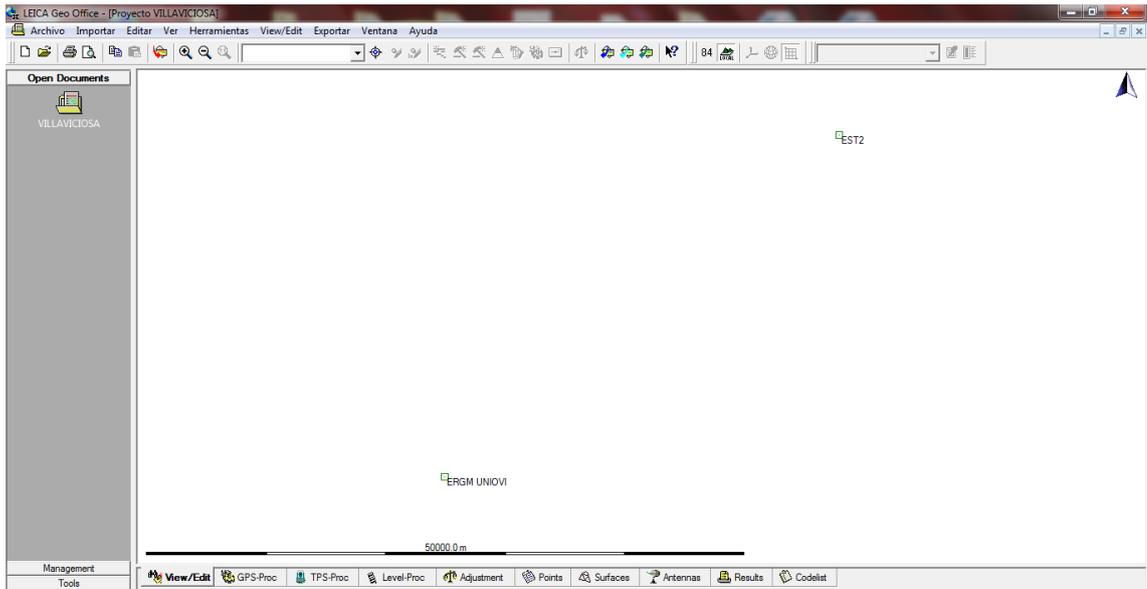


Figura 34. Visualización de la estación de referencia y el punto base.

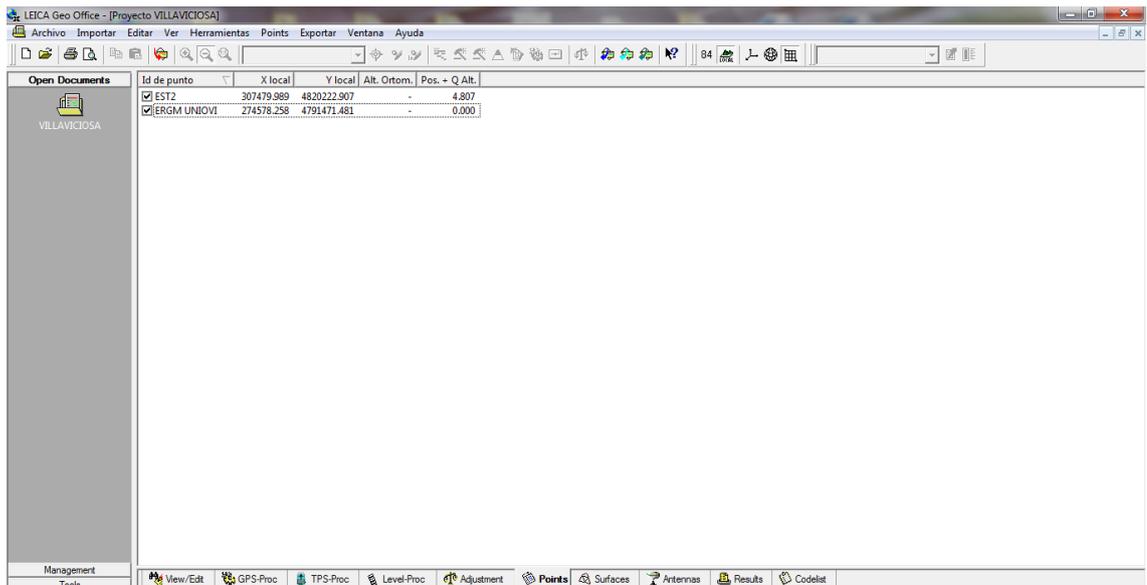


Figura 35. Coordenadas de la estación de referencia y coordenadas arbitrarias del punto base.

Una vez que se obtienen los dos puntos, desde la pestaña GPS-Proc pondremos como transmisor de coordenadas a la EGMUniovi y como receptor a EST2 que es nuestro punto base, tal como se muestra en la figura siguiente, y se pinchará en la herramienta Procesar de la barra de tareas. Una vez procesado debemos guardar el proceso en la siguiente pantalla que nos aparece para poder trabajar posteriormente con esos datos.

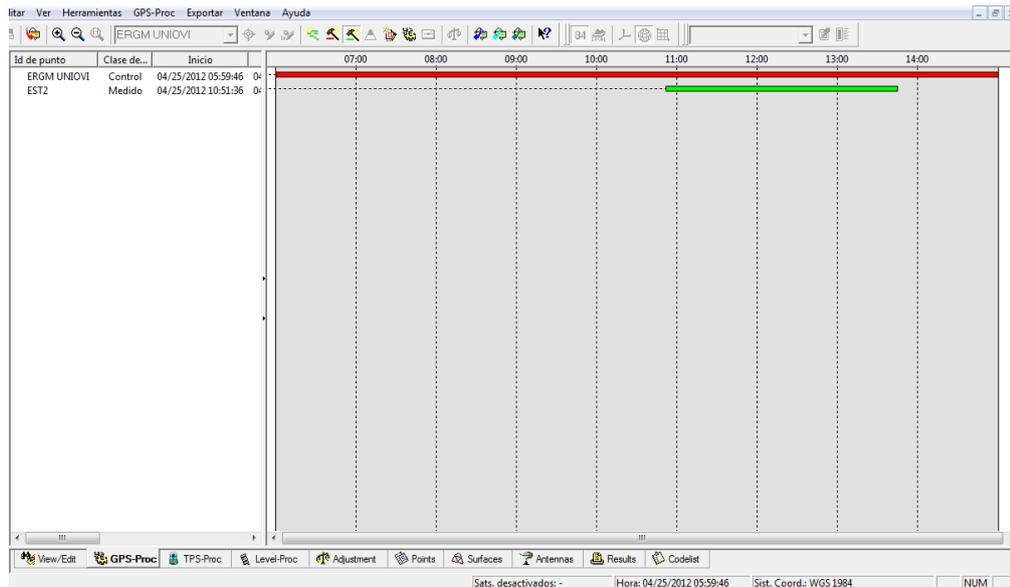


Figura 36. *Trasmisión de coordenadas de la estación de referencia al punto base para la obtención de las verdaderas coordenadas del punto.*

Una vez que tenemos nuestra base con sus coordenadas reales debemos importar el resto de puntos medidos. El procedimiento es exactamente el mismo, importamos datos crudos, asignamos a nuestro proyecto y automáticamente los puntos serán recalculados a partir de las nuevas coordenadas de la base.

3.4.4.- Importación nube de puntos

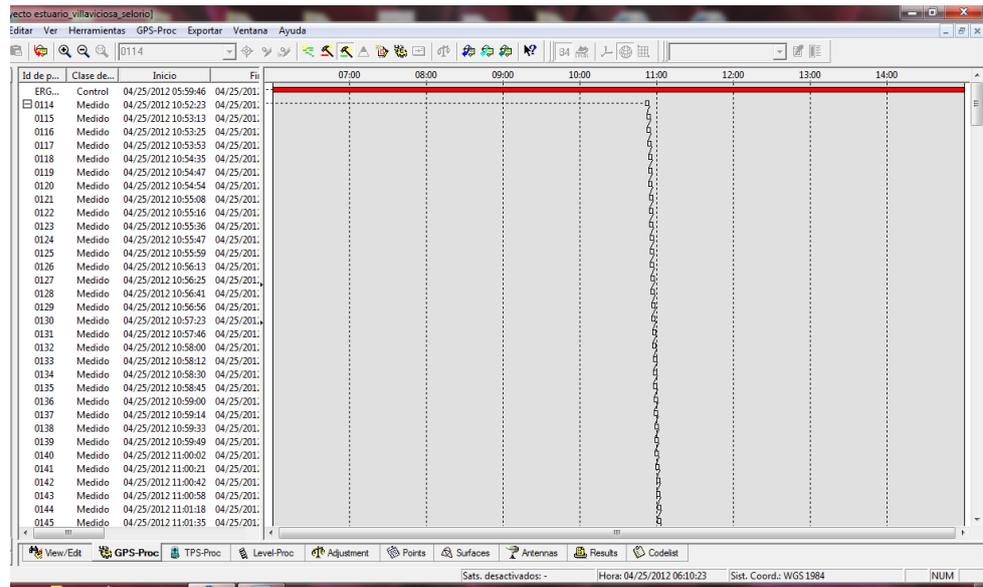


Figura 37. Visualización de coordenadas de la nube de puntos.

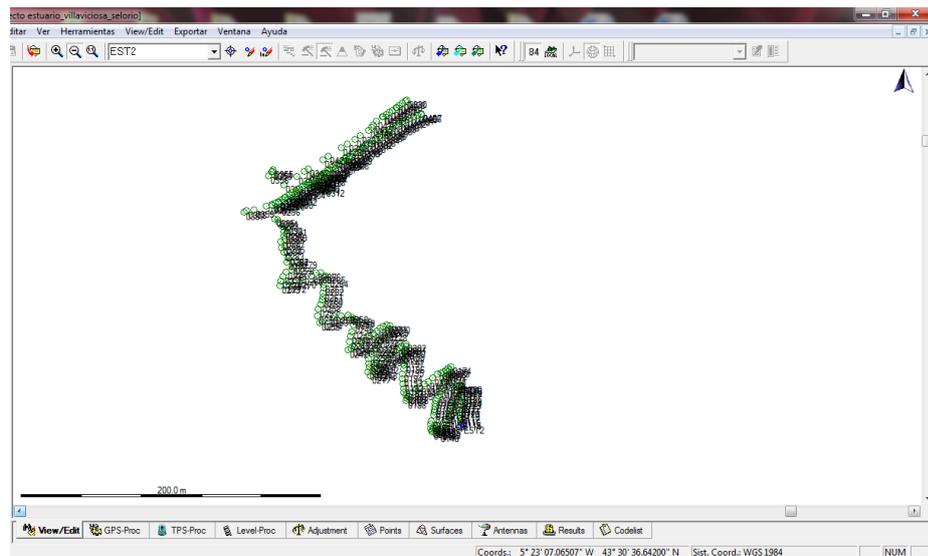


Figura 38. Visualización gráfica de la nube de puntos del día 1.

Las coordenadas se transmiten de la antena a la base, como podemos ver en la figura siguiente, y de la base al resto de los puntos.

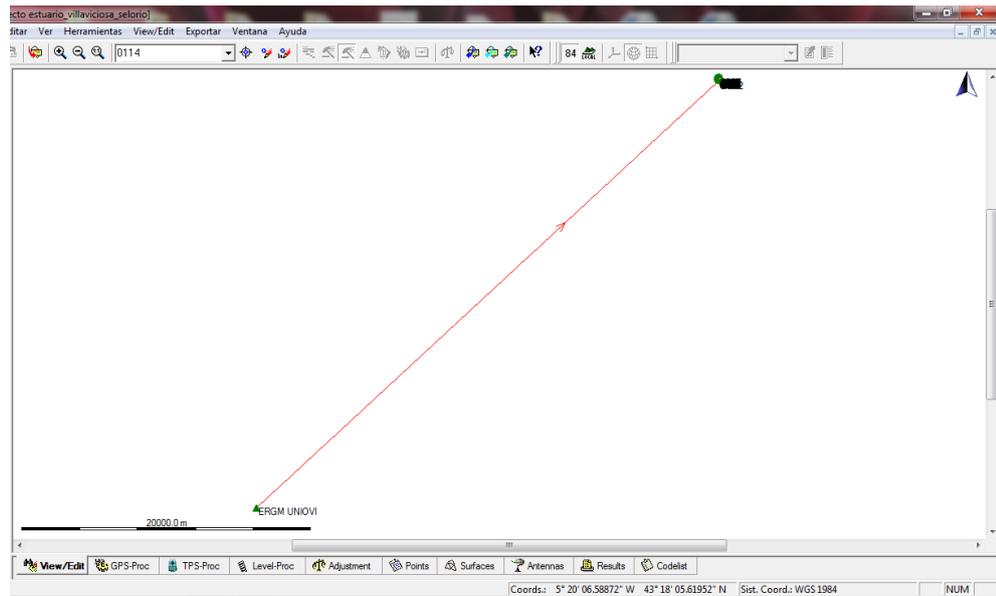


Figura 39. *Trasmisión de coordenadas desde la base de referencia al punto base y automáticamente a la nube de puntos.*

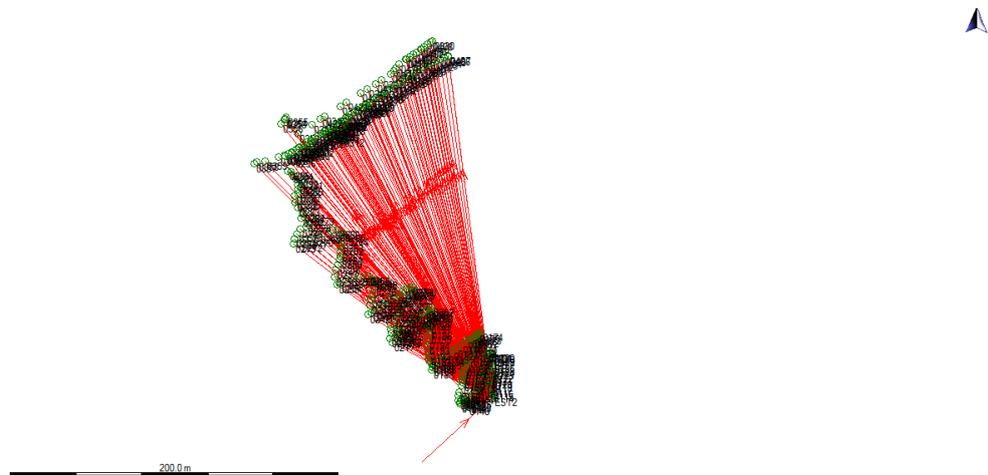


Figura 40. *Ampliación. Trasmisión de las coordenadas desde el punto base al resto de puntos.*

3.4.5.- Eliminación puntos

Una vez que tengamos los puntos importados, desde la ventana de Puntos podemos ver el error de cada punto en la columna Pos.+Q.Alt. En nuestro caso eliminaremos todos aquellos que tengan un error superior a 5 cm.

3.4.6.- Cambio de sistema de coordenadas.

Cuando ya se han filtrado los puntos, pasamos a cambiar el sistema de coordenadas. Recordemos que hasta el momento se ha estado trabajando WGS-84 pero que nuestra cartografía se encuentra en ED-50 y, por lo tanto, debemos cambiar las coordenadas de sistema para que a la hora de importarlos coincidan exactamente con la zona.

Se debe descargar de la página del IGN (www.ign.es) la rejilla nTV2 para el cambio de coordenadas de WGS-84 a ED-50, así como el modelo del geoide EGM2008 para el cambio de alturas elipsoidales a alturas ortométrica.

Descarga del modelo del geoide:

1. Accedemos a la página del IGN, en el apartado de Datos Geodésicos localizaremos la sección de Modelo de Geoide EGM08-REDNAP.



Figura 41. Paso 1 para la descarga del modelo del geoide.

2. Se accederá al directorio que se puede ver en la figura siguiente, se selecciona la carpeta *leica* y a continuación se debe descargar EGM08_REDNAP.GEM

Directorio /geoides/ de FTP en ftp.geodesia.ign.es

Para ver este servidor FTP en el Explorador de Windows, haga clic en **Página** y después en **Abrir el sitio FTP en el Explorador de Windows**.

[Subir al directorio de nivel superior](#)

12/05/2010 12:00	Directorio	ascii
02/10/2012 10:59	Directorio	ashtech
04/08/2011 12:00	Directorio	geolab
02/10/2012 10:58	5,315	leeme.txt
02/14/2011 12:00	Directorio	leica
12/05/2010 12:00	Directorio	topcon
12/05/2010 12:00	Directorio	trimble

Figura 42. Paso 2 para la descarga del modelo del geoides.

Directorio /geoides/leica/ de FTP en ftp.geodesia.ign.es

Para ver este servidor FTP en el Explorador de Windows, haga clic en **Página** y después en **Abrir el sitio FTP en el Explorador de Windows**.

[Subir al directorio de nivel superior](#)

12/05/2010 12:00	910,129	EGM08_REDNAF.GEM
02/14/2011 12:00	80,269	EGM08_REDNAF_CANARIAS.GEM

Figura 43. Paso 3 para la descarga del modelo del geoides.

También se debe descargar en el apartado de Herramientas la rejilla nTV2.

Restauración ambiental de áreas estuarinas: El papel de la topografía en la evolución del área restaurada



Figura 44. Paso 1 para la descarga de la rejilla.

Rejilla para cambio de Datum entre ED50 y ETRS89 (en formato NTV2)

La rejilla de transformación de datum constituye la herramienta oficial para la transformación de datum entre ED50 y ETRS89 en España. Fue avalada por el Grupo de Trabajo para la transición a ETRS89 compuesto por todas las Comunidades Autónomas y los Ministerios de Fomento (IGN) y Defensa. Consta de dos rejillas, una para la península (PENR2009.gsb, anteriormente llamada R2009v9.gsb siendo idéntica a ésta) y otra para Baleares denominada BALR2009.gsb. Ambas rejillas están en formato NTV2 y contienen los incrementos en longitud y latitud entre estos dos datums. Esta transformación no destruye topología alguna, es eficiente y continua con un grado de acuerdo de solo algunos centímetros sobre todo el territorio.

[Rejilla Península](#) [Rejilla Baleares](#) [Más documentación](#)

Infraestructura geodésica del Instituto Geográfico Nacional

Fichero kmz con toda la infraestructura geodésica del Instituto Geográfico Nacional: Red de Estaciones Permanentes GNSS (ERGNSS), Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP), Red Geodésica Española por Técnicas Espaciales (REGENTE) y Red Geodésica de Orden Inferior (ROI).

Cada señal tiene el correspondiente enlace a su ficha en formato PDF con todos los datos (Nombre, número, coordenadas, fotografía, croquis, acceso, etc).

El fichero se actualiza automáticamente cada mes, de tal forma que tenga los datos actualizados y contiene en su nombre la fecha de generación (por ej. Geodesia1012011.kmz)

[Acceso al fichero](#)

Distribución de Hojas (ETRS89)

Distribución de Hojas según el nuevo Sistema Geodésico de Referencia (ETRS89).

Figura 45. Paso 2 para la descarga de la rejilla.

Una vez descargado tanto el modelo de geoides como la rejilla, se irá al Leica Geo-Office. En el menú de la izquierda se pincha en Sistema de Coordenadas (*Coordinate Systems*) y se creará uno adecuado a las necesidades de nuestro proyecto mediante los siguientes pasos:

- Se introducirá primero el modelo del geoid. Para ello se irá a la carpeta Geoid, botón derecho, *nuevo*, se pondrá el nombre que se quiera asignar y se le indica la ruta dónde tenemos el archivo anteriormente descargado.

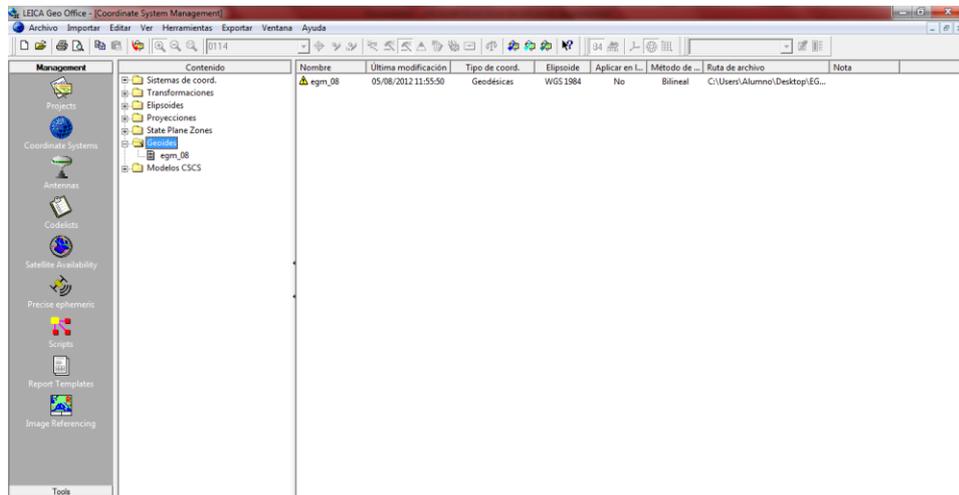


Figura 46. Paso 1 para la reacción del modelo del geoid.

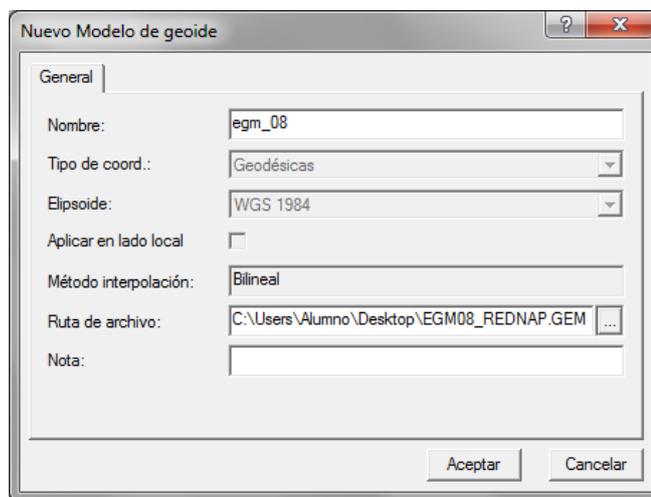


Figura 47. Paso 2 para la reacción del modelo del geoid.

- En la carpeta Modelos CSCS, se pincha con el botón derecho sobre ella y nuevo, a continuación se pone un nombre así como la ruta del archivo descargado desde la página del IGN como se muestra a continuación.

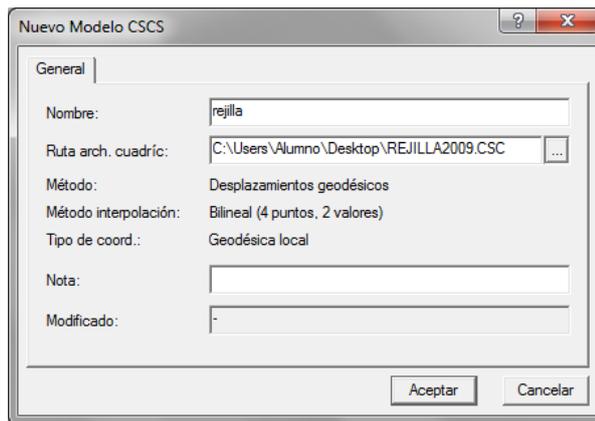


Figura 48. Creación de la nueva rejilla.

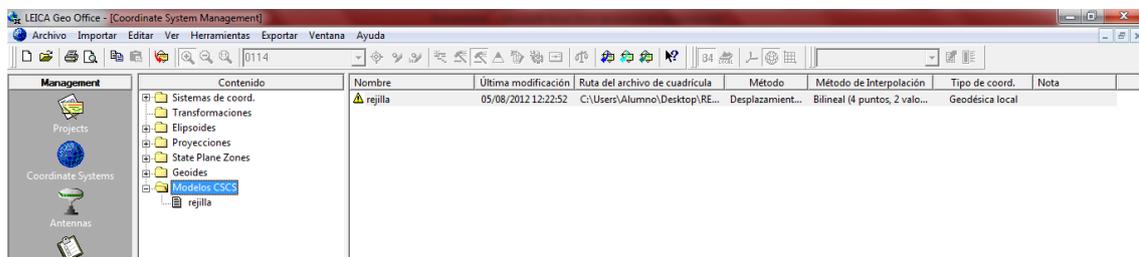


Figura 49. Comprobación de la nueva rejilla creada.

- Una vez que se ha creado el Modelo CSCS y el Geoide que se necesitaba, se procede a la creación del nuevo Sistema de Coordenadas, como se puede ver en la figura, se pinchará sobre la carpeta Sistemas de Coordenadas, botón derecho, *nuevo* y a continuación se introduce nombre del sistema y Geoide y Modelo CSCS creado anteriormente.

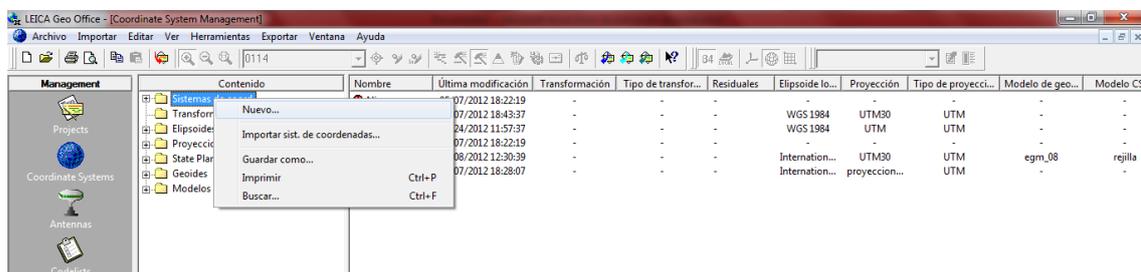


Figura 50. Paso 1 para la creación de un nuevo sistema de coordenadas.

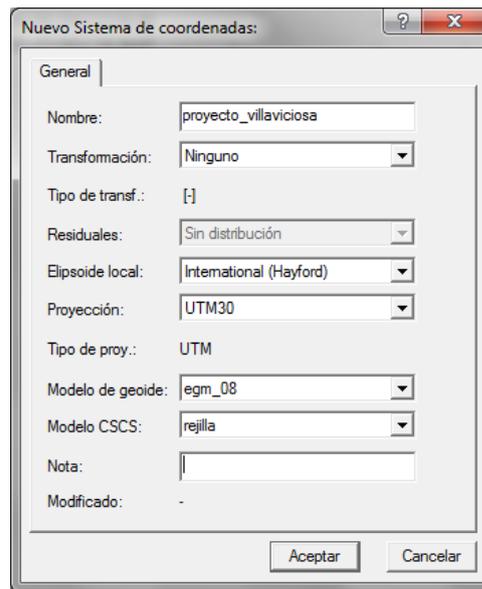


Figura 51. Paso 2 para la creación de un nuevo sistema de coordenadas.

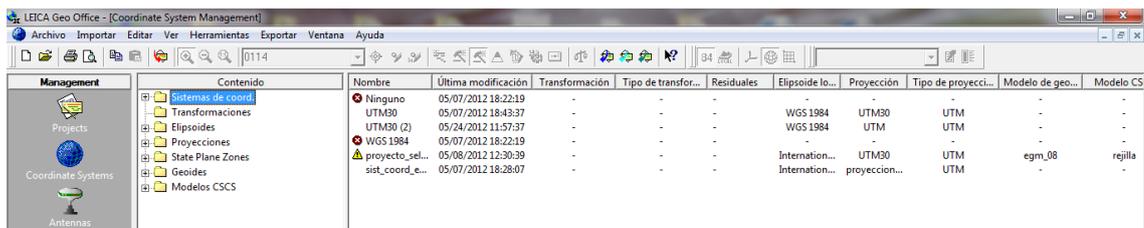


Figura 52. Visualización del nuevo sistema de coordenadas creadas.

Una vez creado el nuevo Sistema de Coordenadas y en el menú vertical en el apartado de Proyectos, sobre el proyecto en que se está trabajando (VILLAVICIOSA), botón derecho, propiedades y en la pestaña coordenadas introducimos el sistema creado.

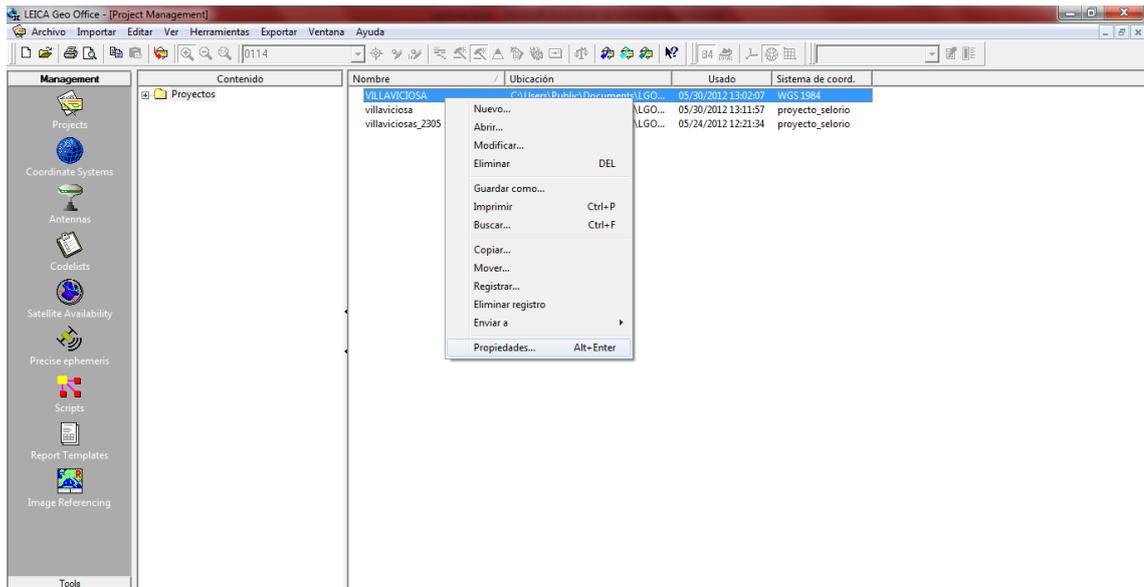


Figura 53. Paso 1 para el cambio de coordenadas del proyecto.

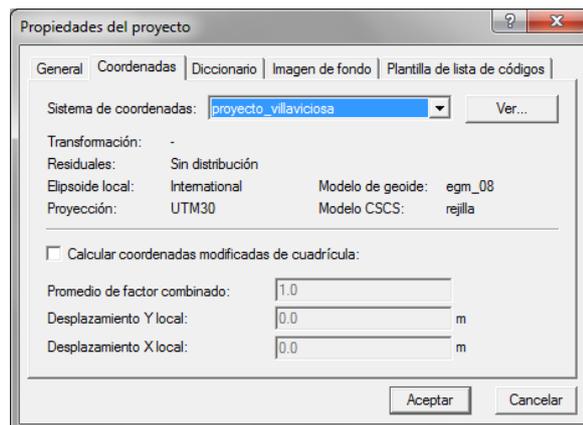


Figura 54. Paso 2 para el cambio de coordenadas del proyecto.

3.4.7.- Importación resto de puntos

En la primera salida al campo se obtuvieron 311 puntos de los cuales 304 tenían la precisión aceptable.

Se volvió a campo los días 4, 5 y 6 de mayo para obtener más puntos se tomó datos en los lugares dónde el primer día no se había podido tomar. Estos tres días se llegó en torno a las 9:30 al lugar, el día 4 la bajamar fue a las 9:38, con un valor de 0.60 m, y se trabajó hasta la 14:00 horas, el día 5 fue a las 10:25 de 1.40 y se estuvo

hasta la 14:30 y el 6 fue a las 11:11 de 0.31 m, y se estuvo hasta que se terminó el trabajo previsto sobre las 15 horas.

Una vez descargados los datos, procesados mediante el Leica Geo-Office, obtuvimos 1173 puntos, de los cuales 1159 eran válidos. Fueron transformados a ED-50 y a continuación fueron unidos con los anteriores, convertidos a shapefile y representados. Una vez visualizado en su conjunto sobre la cartografía se consideró que se debería volver a campo para tomar puntos de relleno en la zona más cercana a la carretera, en dos rellenos artificiales de relevancia para el estudio y en la parte final del arroyo y de sus microcanales. Para ello se realizaron nuevas salidas al campo los días 22 y 23 de mayo. Los puntos finales que se obtuvieron fueron 2383.

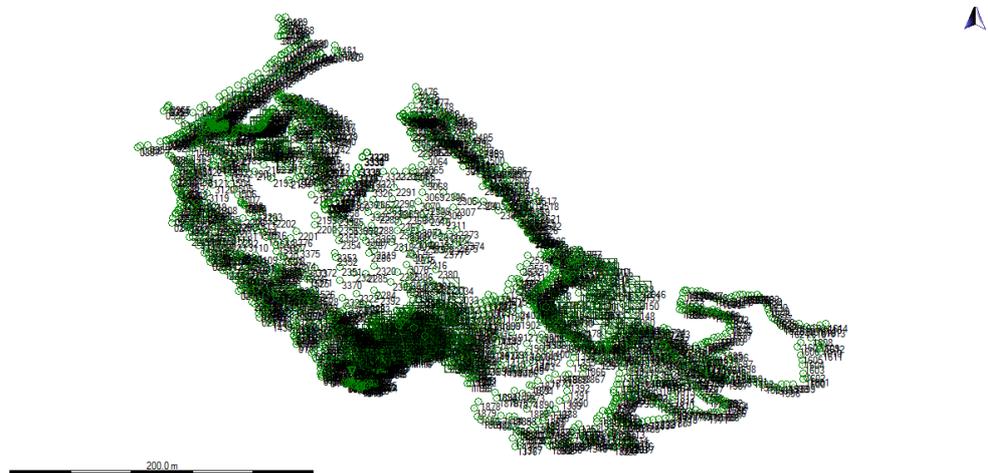


Figura 55. *Visualización puntos finales.*

Una vez obtenidos los puntos en el sistema de coordenadas adecuado se ha pasado a la utilización del software ArcGis dónde en un primer momento se han importado todos los puntos como se muestra en la Figura 56 y posteriormente se han hecho los correspondientes modelos.

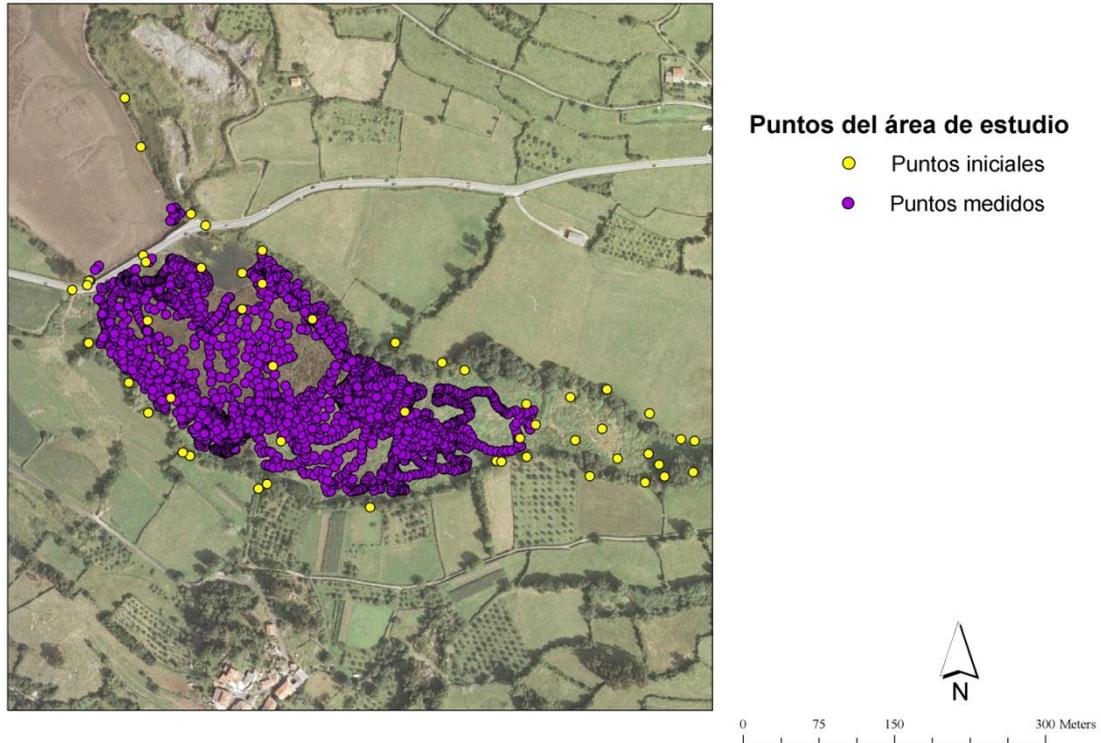


Figura 56. Puntos iniciales y medidos del área de estudio

3.5.- Métodos de interpolación

Para construir el modelo digital de elevaciones a partir de los puntos tomados en el campo debemos seleccionar un método de interpolación. La interpolación se puede definir como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales con valores reales) (Bosque, 1992). La elevada importancia que tiene la exactitud del levantamiento topográfico en la modelización de la restauración ambiental de estuarios deriva principalmente del control que la topografía ejerce sobre la inundación de los terrenos. Por tanto, el método de interpolación elegido para la reconstrucción de la superficie del terreno y su ajuste a la realidad es de gran importancia para la modelización del resultado de las intervenciones en el medio. En este proyecto hemos seleccionado tres métodos de interpolación al uso: IDW; Kriging y TIN. Hemos seleccionado estos métodos porque son los más usados y aparecen por defecto en los módulos de análisis espacial convencional de los sistemas de información geográfica más usados.

Para la obtención de los modelos en un área concreta hemos usado una máscara dibujando un polígono que representa el contorno de la zona de estudio. Posteriormente hemos obtenido los diferentes modelos (IDW, Kriging, TIN) mediante el módulo Spatial Analysis de Arc-map 9.3. Los modelos han sido pasados a formato raster y mediante la herramienta Extract by de Spatial Analyst Tools se han recortado por la máscara.

A continuación hacemos una revisión de los diferentes métodos y sus características fundamentales:

3.5.1.- IDW (Inverse Distance Weighted)

La media ponderada por el inverso de la distancia, denominada en inglés Inverse Distance Weighted (IDW), asume que las cosas que están más cerca son más parecidas que las que están más lejos. Para predecir el valor de un lugar no muestral, utilizará los valores de los lugares muestrales que haya alrededor del lugar que se va a predecir. Los valores de los lugares más próximos al que se va a predecir tendrán más influencia y por lo tanto más peso que los que está más lejos. Este peso disminuye con la distancia. La fórmula general es:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda \times Z(S_i)$$

Donde $Z(S_0)$ es el valor que intentamos predecir para el lugar S_0 ; N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán tenidos en cuenta en la predicción; λ_i es el peso asignado a cada punto muestral que vamos a usar. Estos pesos decrecen con la distancia. $Z(S_i)$ es el valor observado del lugar S_i .

La fórmula para determinar los pesos es:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}$$

A medida que la distancia se hace más grande, el peso es reducido por un factor p , es decir, que a medida que se incrementa la distancia entre los puntos observados y el

punto calculado, el peso que tendrá un punto muestral sobre el predicho decrecerá exponencialmente; d_{i0} es la distancia entre el lugar de predicción S_0 y cada lugar muestral, S_i los pesos de los lugares utilizados para la predicción serán escalados de tal forma que su suma sea 1.

El óptimo valor de p se determina haciendo mínimo el error de predicción o error cuadrático medio, que tiene la siguiente fórmula:

$$EMC = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\hat{Z}(S_i) - z(S_i))^2}{n}}$$

Utiliza potencias más grandes que 1. Por defecto se usa $p=2$ que se conoce como distancia inversa al cuadrado.

Otra cuestión importante es determinar el número de vecinos a tener en cuenta para calcular el valor predicho. Esto dependerá del tipo de datos y de la superficie que intentemos crear. Por defecto el programa establece 15 vecinos y un mínimo de 10.

Si no hay influencias direccionales en los pesos de los datos, consideraremos los puntos igualmente en todas direcciones y, la forma de búsqueda de vecindad será un círculo pero si hay influencia direccional en los datos entonces adoptaremos la forma de una elipse con el eje mayor paralelo al fenómeno considerado. El ajuste a esta forma está justificado porque los lugares situados en la misma dirección que el fenómeno desde un lugar de predicción son mucho más similares a medida que las distancias aumentan que si están situados perpendiculares al fenómeno.

La superficie calculada usando la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW) dependerá de la potencia del parámetro p y de la estrategia de la búsqueda de vecindad. El IDW es un interpolador exacto, donde los valores máximo y mínimo en la superficie interpolada pueden solamente ocurrir en los puntos muestrales.

La superficie de salida es sensible al agrupamiento de puntos, a variaciones locales captadas por el proceso de vecindad y a valores extremos.

La superficie calculada usando la media ponderada por el inverso de la distancia dependerá de la potencia del parámetro p y de la estrategia de búsqueda de vecindad. El

IDW es un interpolador exacto, donde los valores máximo y mínimo en la superficie interpolada pueden solamente ocurrir en los puntos muestrales.

La superficie de salida es sensible al agrupamiento de puntos, a variaciones locales captadas por el proceso de vecindad y a valores extremos (MORENO, 2007).

3.5.2.- Kriging

Los objetivos de las técnicas de interpolación geoestadísticas son generar superficies que incorporan las propiedades estadísticas de los datos muestrales y que proporcionan una medida del error de las mismas, siendo este último el indicador de una buena o mala predicción. Todos los métodos geoestadísticos forman parte de la familia del kriging. En el Analista Geoestadístico son posibles el kriging ordinario, el kriging simple, el kriging universal, el de probabilidad, el indicador y el disyuntivo. Estos mismos tipos se repiten en el cokriging, utilizado cuando se analiza más de una variable.

El más frecuente y el utilizado en el desarrollo de este proyecto es el *kriging ordinario*, también llamado, *kriging puntual* que asume que la variable es estacionaria y que no tiene tendencia, su ecuación es: $Z(s)=\mu(s)+\varepsilon(s)$, siendo $Z(s)$ la variable de interés; $\mu(s)$ una constante (media) desconocida, $\varepsilon(s)$ los errores aleatorios; s simplemente indica el lugar con unas determinadas coordenadas espaciales X (longitud) e Y (latitud).

El kriging ordinario usa semivariogramas o covarianzas (que son formas matemáticas de expresar la autocorrelación). También permite transformaciones de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error (MORENO, 2007).

Mediante el uso de un radio de búsqueda variable, se puede especificar el número de puntos que se van a utilizar en el cálculo del valor de la celda interpolada, esto hace que la variable radio para cada celda interpolada dependa de cómo de lejos tenga que extenderse para llegar a alcanzar el número especificado de puntos de entrada (BRATT & BOOTH, 2002).

3.5.3.- TIN (Triangulated Irregular Network)

Se trata de una red de triángulos irregulares interconectada, en la que se registran las coordenada X e Y de los nodos que definen los triángulos y el valor de la elevación (Z) de dichos nodos, así como la contigüidad de los triángulos.

Los TIN son una forma eficiente de almacenar y analizar las superficies.

La estructura TIN presenta las siguientes ventajas (Bosque, 1992):

- Se pueden incluir más puntos (mediante triángulos más pequeños) allí donde el relieve es más accidentado.
- No se da más importancia a ninguna dirección en particular, debido a lo irregular de la red.
- Se pueden recoger puntos críticos de la superficie (cimas, líneas de ruptura, pendientes, talweg...)

3.6.- *Fundamentos de la restauración ecológica: análisis de ambientes*

A partir de la información cartográfica, el estudio de fotografías históricas de los estuarios, el intenso trabajo de campo realizado, que ha permitido el detallado levantamiento topográfico de la zona, la altura de las pleamares y la distribución de ambientes estuarinos en condiciones naturales atendiendo a la altura de los terrenos con respecto al cero de Alicante (INDUROT, 2001-2007), se pueden reconocer las siguientes zonas con diferentes características geomorfológicas y comportamientos dinámicos:

- *La llanura fangosa*: se ubica por debajo de 1.5 m y presenta una frecuencia de inundación mareal diaria con calados importantes que limitan el asentamiento de la vegetación. En la zona más próxima a la carretera se reconoce una laguna permanente, también visible en los fotogramas históricos, fruto del represamiento que ejerce el relleno artificial (Figura 57).



Figura 57. *Llanura fangosa.*

- *La marisma:* existe una transición hacia la marisma entre 1.5 a 1.7 m, empieza a aparecer una marisma inferior o incipiente entre 1.7 a 2 m, hay una marisma bien desarrollada en el rango de 2 a 2,5 y entre 2,5 a 3 m está la marisma madura. Son terrenos también sometidos a una elevada frecuencia de inundación aunque con calados menores y, en consecuencia, menor intensidad de procesos erosivos y sedimento más estable, permitiendo el asentamiento de vegetación. En el área de estudio están dominados por juncos marítimos (Figura 58).



Figura 58. *Marisma.*

- *Transición fluvial:* por encima de 3 m llegarían mareas equinocciales con temporales de bajas presiones, dominando ya un ambiente netamente dulceacuícola (Figura 59).





Figura 59. *Transición fluvial.*

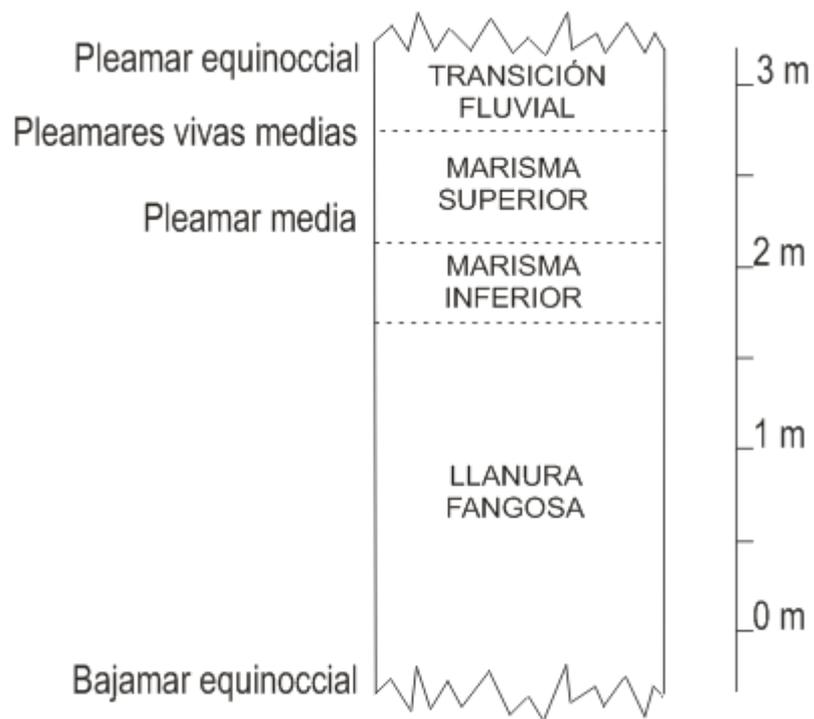


Figura 60. *Distribución de ambientes en el estuario de Villaviciosa, con respecto al 0 de Alicante y al estado de la marea (INDUROT, 2001-2007).*

- *Elementos artificiales:* destaca el relleno de la carretera N-632, barrera topográfica que limita la entrada de las mareas naturales, concentrando el flujo hacia la ensenada de Selorio a través de un pequeño drenaje (Figura 61).



Figura 61. *Elemento artificial: drenaje actual.*

4. RESULTADOS

4.1.- **Evolución histórica**

La fuente documental más antigua recopilada se corresponde con el mapa topográfico del año 1922. En él se observa cómo a pesar de que la carretera ya estaba construida, la ensenada de Selorio es cartografiada como una lámina de agua, al igual que los terrenos ubicados al otro lado de la carretera y que dominan la zona interna y natural del estuario, representados por llanuras intermareales fangosas con escasa o nula vegetación. Este aspecto señalaría que la ensenada, en origen representada por una llanura intermareal fangosa, evolucionó entre los años 1922 y 1957 hacia la marisma reconocible en los fotogramas posteriores y en la actualidad. En síntesis, se estima que la dinámica de los terrenos de la ensenada lleva reducida con respecto a sus características naturales unas 7 u 8 décadas.

Con el objetivo de intentar obtener información sobre las alteraciones introducidas artificialmente en la ensenada de Selorio, se han recopilado y analizado las imágenes aéreas correspondientes a los años 1956 (Vuelo Americano AMS a escala 1:33 000), 1995 (Principado de Asturias a escala 1:15 000), 2003 (SigPac, a escala 1:10 000) y 1985. Esta información, sumada a las observaciones realizadas durante los trabajos de campo, permite identificar los cambios producidos en la ensenada desde el año 1956 a la actualidad que, junto a la carretera, pueden estar interfiriendo en la dinámica natural.

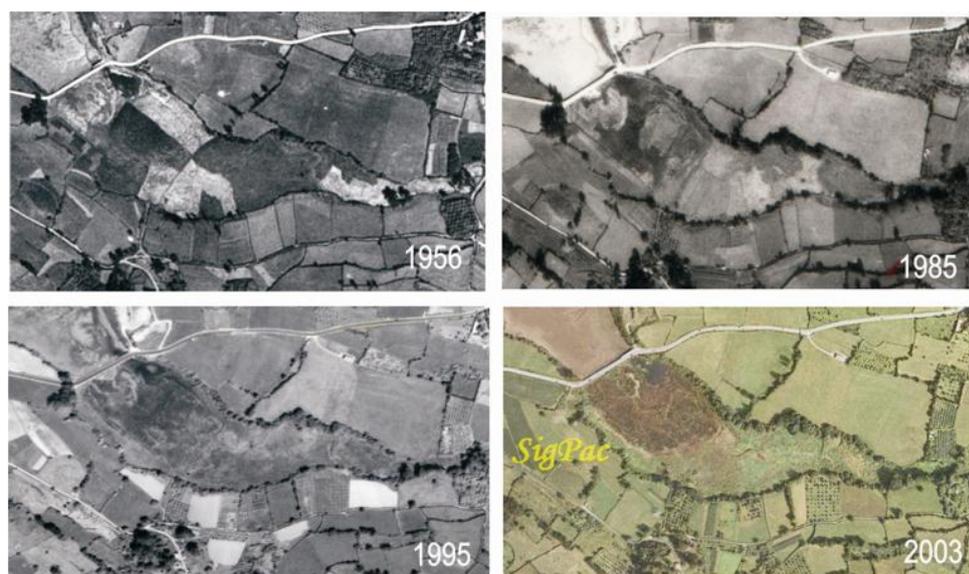


Figura 62. *Evolución reciente de la ensenada de Selorio.*

La tendencia observada en los terrenos de marisma se centra en un abandono de las labores agropecuarias. En la imagen más antigua disponible, tomada en el año 1956, la ensenada ya se encontraba modificada por la presencia de la carretera, observándose como una zona que en condiciones naturales debería representar una llanura intermareal con escasa o nula vegetación, estaba convertida en una zona con escasez de evidencias mareales, dominando un intensivo uso agropecuario. Este hecho posiblemente esté favorecido por las estructuras de contención de las mareas habilitadas en las parcelas, habitualmente utilizadas para conseguir una desecación más efectiva de los terrenos que posibilitaba su aprovechamiento como zonas de prados y cultivos.

Sin embargo, en la imagen correspondiente al año 1995 ya se hace patente el abandono de las labores agropecuarias, aspecto también reflejado en la imagen de 2003. El parcelario aparece muy pobremente definido y las zonas de marisma han aumentado significativamente su extensión, poniendo de manifiesto una tendencia a la recuperación de los terrenos anteriormente reclamados. Durante la campaña de campo y a través del análisis de las imágenes más recientes, se ha podido constatar que esta situación de abandono y de deterioro de las parcelas ha continuado, dominando un ambiente representado por marismas y zonas húmedas dulceacuícolas.

4.2.- **Levantamiento topográfico: modelos**

A continuación presentamos los diferentes modelos construidos usando los tres métodos de interpolación seleccionados. La clasificación de los modelos está realizada usando cuantiles. Los cuantiles son valores de la distribución que la dividen en partes iguales, es decir, en intervalos, que comprenden el mismo número de valores. Para una mejor visualización hemos usado la misma gama de colores y el mismo número de clases, pero los límites de las clases no presentan los mismos valores debido al uso de los cuantiles.

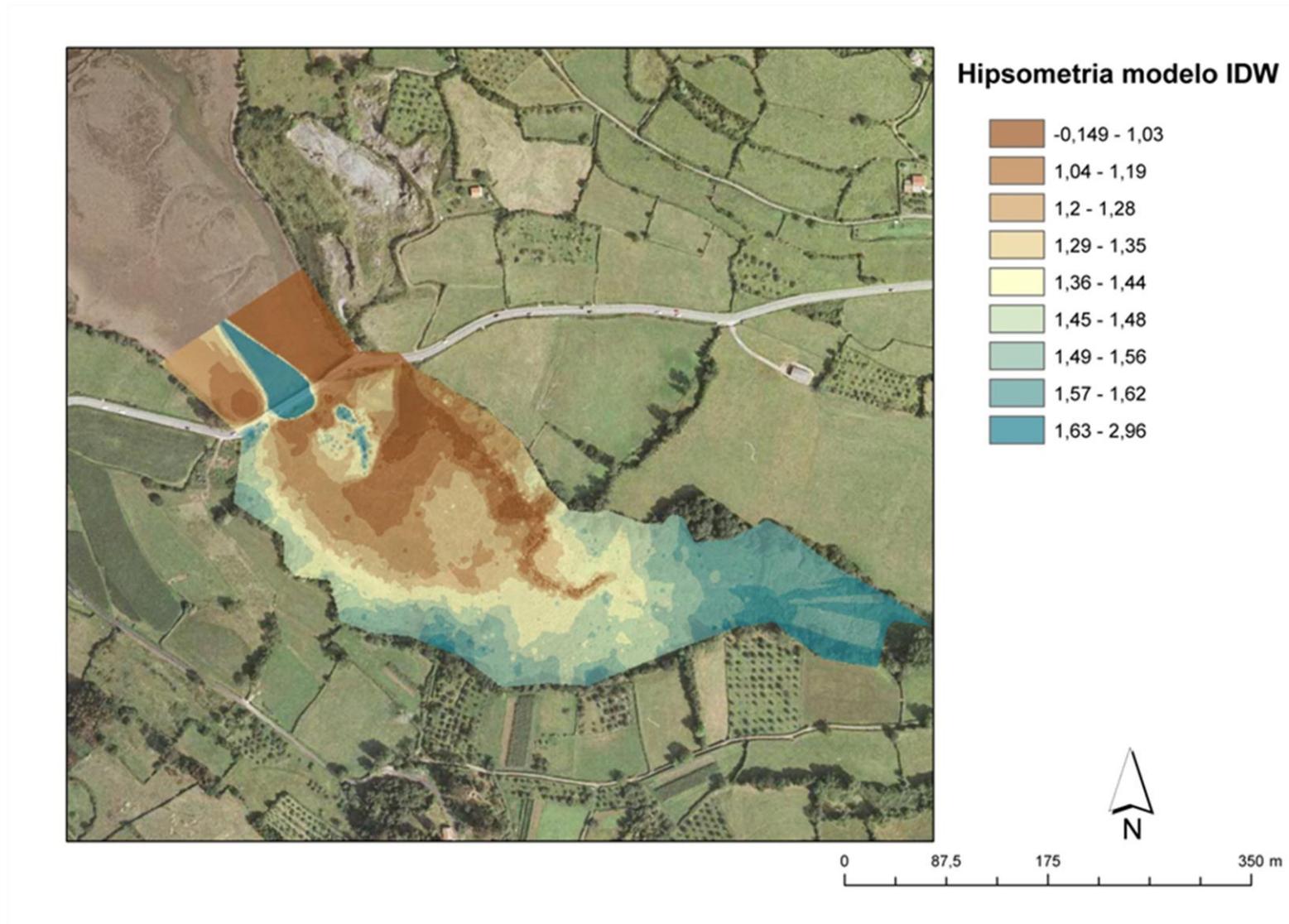


Figura 63. *Hipsometría modelo IDW*

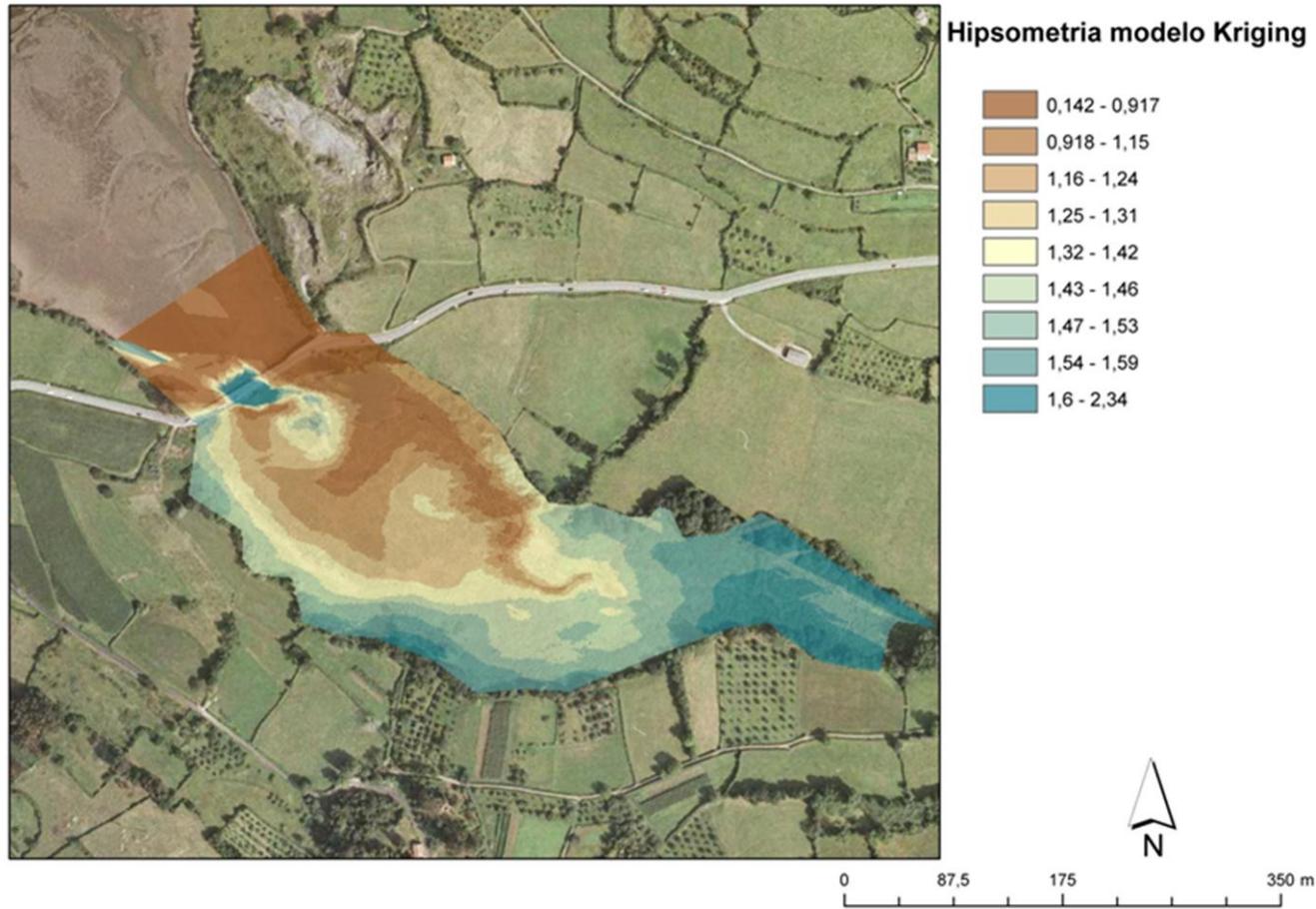


Figura 64. *Hipsometría modelo Kriging*

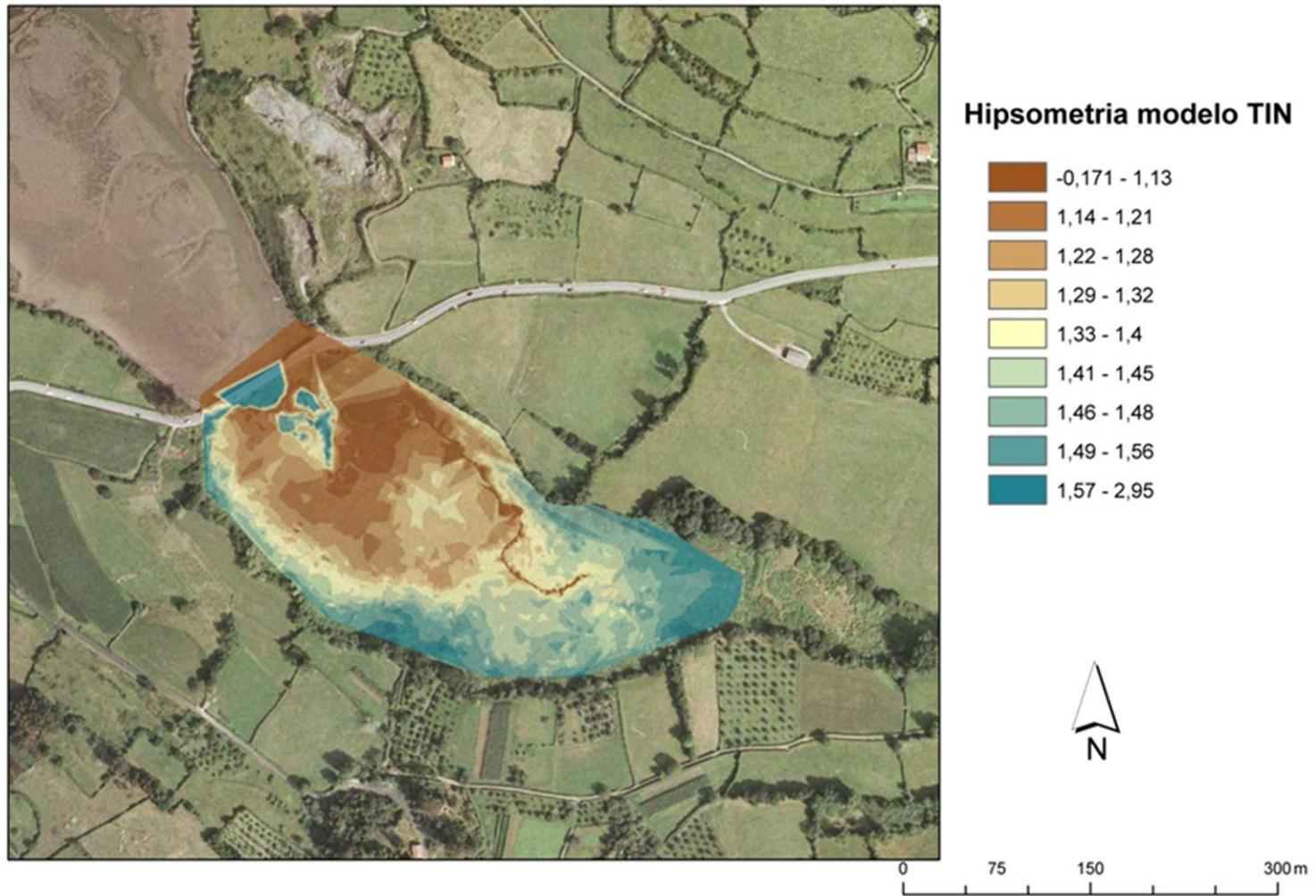


Figura 65. *Hipsometría modelo TIN*

Validación y selección de modelos

Para conocer que método de interpolación ofrece un mejor resultado hemos usado como población de validación 22 puntos procedentes del levantamiento topográfico elaborado por Demarcación de Costas en Asturias a escala 1:1000 en los años 90.

Hemos calculado el error medio absoluto EMA.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i|$$

ELEVATION	estimado IDW	estimado Kriging	estimado TIN
1,790	1,149	1,264	1,046
0,860	1,543	1,454	-9999,000
1,530	1,603	1,568	-9999,000
0,360	1,643	1,624	-9999,000
1,600	1,599	1,575	-9999,000
1,600	1,611	1,587	-9999,000
1,720	1,618	1,617	-9999,000
1,610	1,603	1,601	1,598
1,600	1,618	1,569	-9999,000
1,730	1,617	1,615	-9999,000
1,840	1,031	1,095	0,883
1,430	1,091	1,076	1,091
1,980	1,272	1,301	-9999,000
0,780	1,325	1,180	1,200
0,790	0,939	0,984	1,092
3,380	2,548	1,366	1,939
1,250	1,325	1,301	1,329
1,120	1,222	1,242	1,225
0,850	1,032	0,977	1,105
2,840	2,646	1,734	2,769
1,250	1,433	1,480	1,457
1,120	1,387	1,394	1,425
	RME= 0,23	RME= 0,41	RME= 0,32

Figura 66. Errores medios absolutos de los diferentes modelos.

De los tres métodos de interpolación ensayados, el que presenta un valor EMA más bajo es el modelo construido usando el método estadístico de inverso de la distancia (IDW). El modelo construido usando TIN tienen un valor de EMA superior (0,32), a pesar de haber sido calculado con una población de datos menor. Por tanto, para la modelización de las diferentes intervenciones en el medio que queremos comparar usaremos como base

topográfica el MDE que presenta un EMA más bajo, es decir el modelo construido con el método de interpolación conocido como IDW.

4.3.- **Escenarios esperables de la restauración ambiental**

Los diferentes escenarios modelizados representarían las condiciones finales que se alcanzarían con una intervención de restauración total o de vuelta a las condiciones naturales. En el esquema adjunto se han simplificado las consecuencias que tendrían las intervenciones de restauración, con la retirada completa del efecto de la carretera, y la de regeneración o rehabilitación, con la ampliación del drenaje de la carretera, en la dinámica de la marea y en los diferentes ecosistemas de la ensenada.

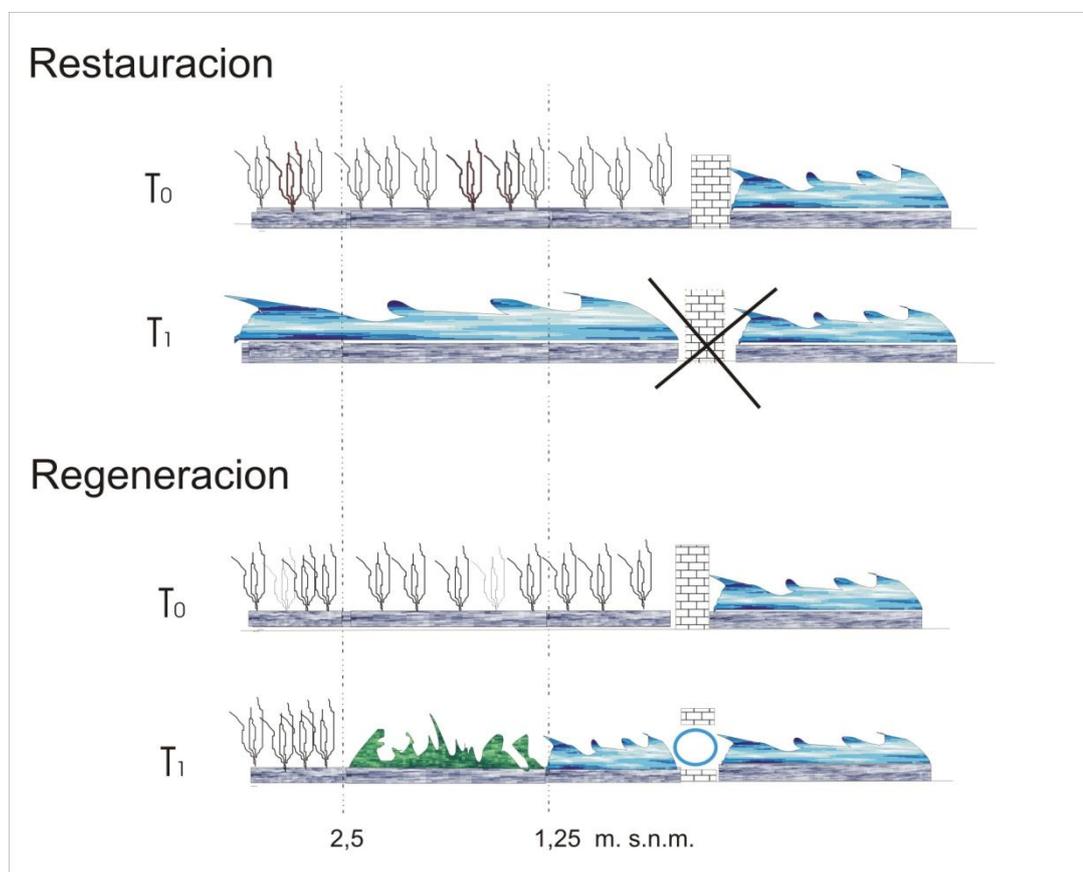


Figura 67. Esquemas de restauración y regeneración.

Para el caso de la restauración, la intervención en el medio implicaría quitar la carretera, que es la principal barrera para la entrada de la marea. En el escenario 1 podemos ver el resultado final de esta intervención. La mayor parte del territorio se convertiría en una llanura fangosa (ver figura 77 y leyenda), el ambiente representado en la zona externa y natural de la ensenada, caracterizado por la escasa o nula cubierta vegetal.

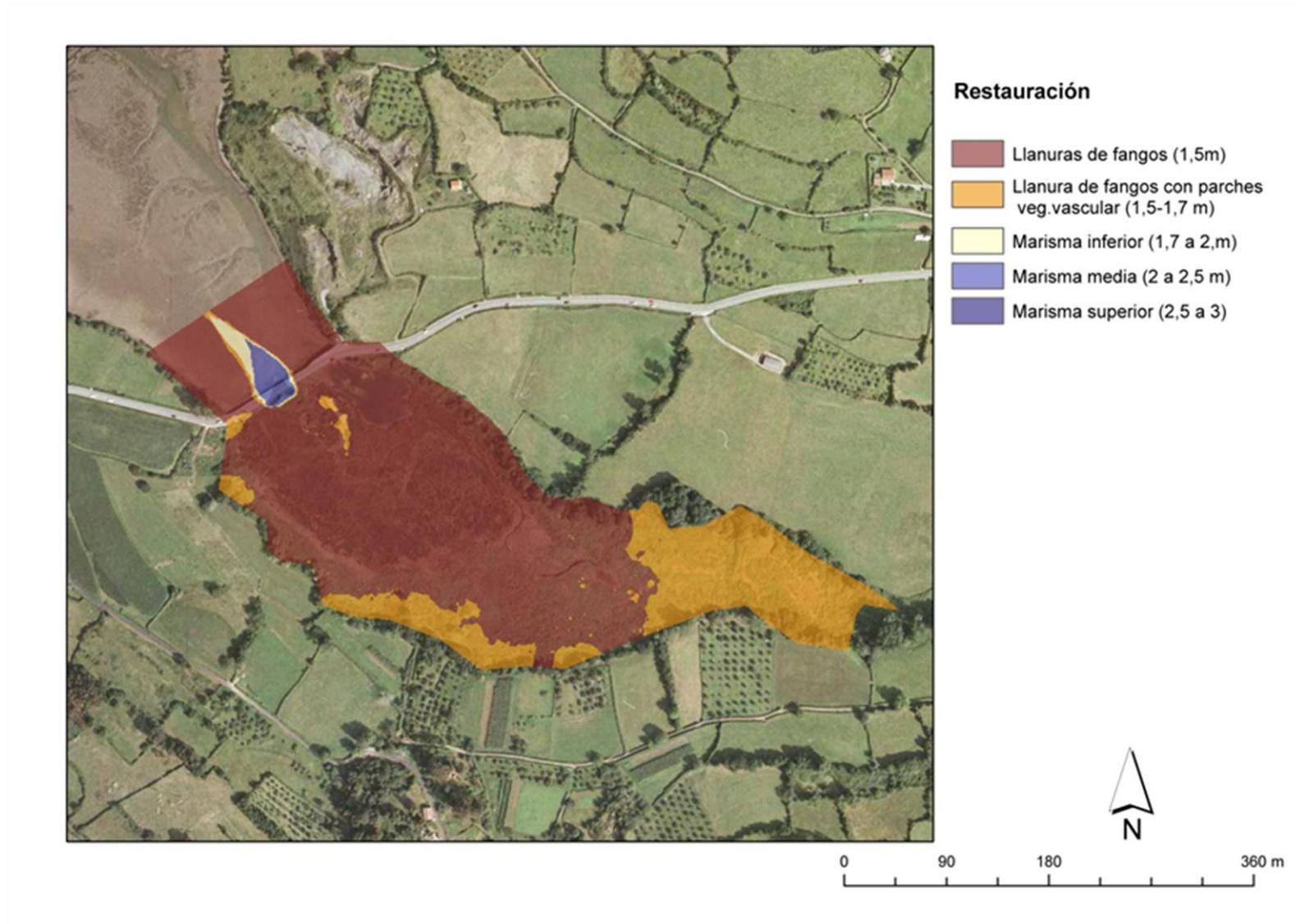


Figura 68. Restauración (eliminación carretera actual)

En el caso de una intervención de regeneración natural, se contempla la ampliación del drenaje inferior de la carretera, aumentando la entrada de la marea hacia la zona interna de la ensenada. La altura de la abertura en el muro condicionará el resultado final. Como la frecuencia de la marea es de unas seis horas entre pico de marea alta y baja, y el empuje del agua al otro lado del muro no es un fenómeno continuo sino que tiene un período de tiempo dado, se ha considerado que durante el tiempo que dure el empuje de la marea el agua entrará en la zona regenerada en un caudal que dependerá del tamaño de la apertura. Durante la bajamar la zona regenerada se irá vaciando nuevamente de agua. El resultado de una abertura a diferentes alturas (1,25 o 1,35 m sobre el nivel del mar) que podemos visualizarlo en los escenarios 1 y 2.

La selección de la altura final dependerá en gran medida del escenario que queramos recrear pero, en cualquier caso, esa decisión deberá tomarse con criterios ecológicos.

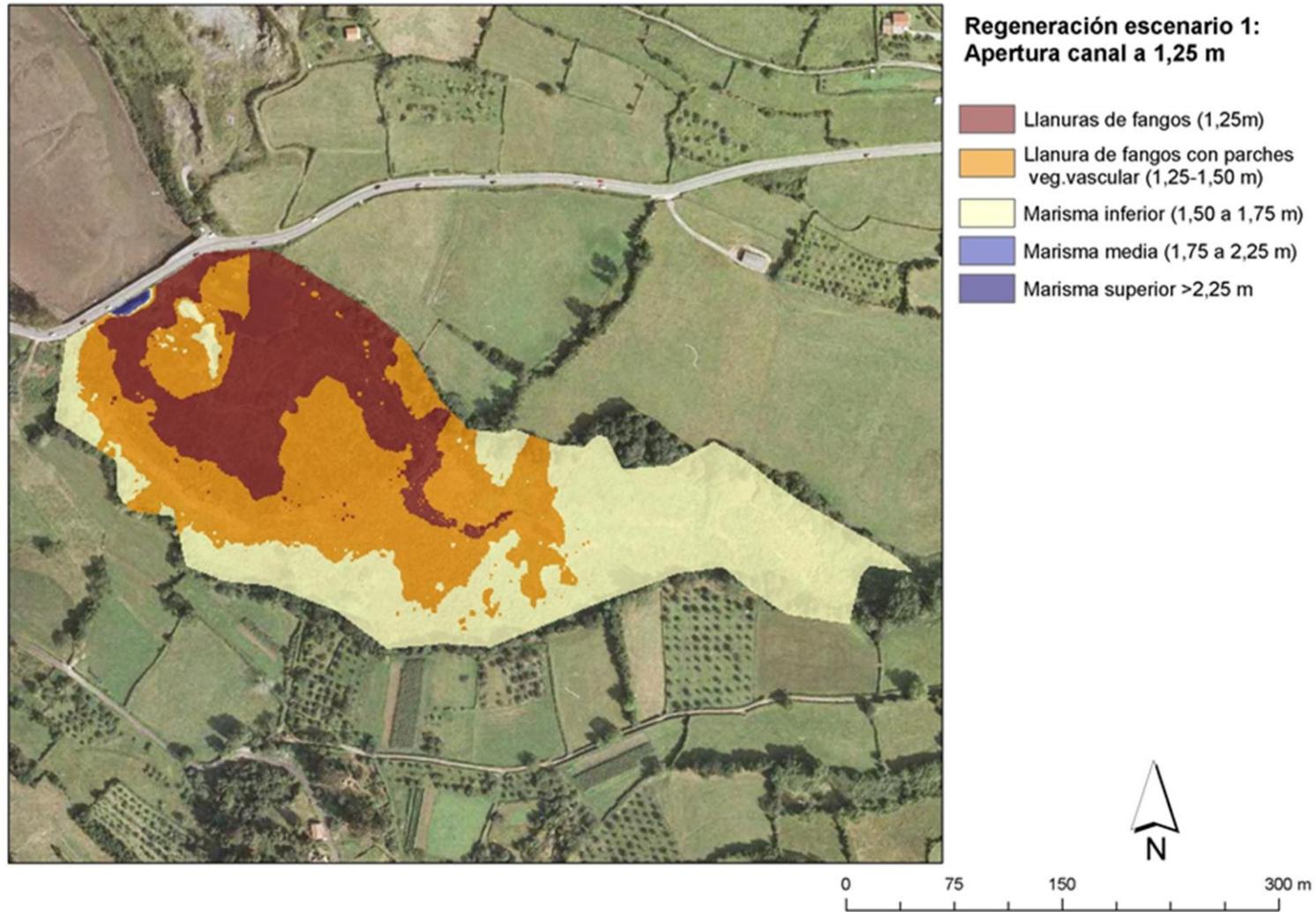


Figura 69. *Regeneración escenario 1 (apertura a 1.25 m)*

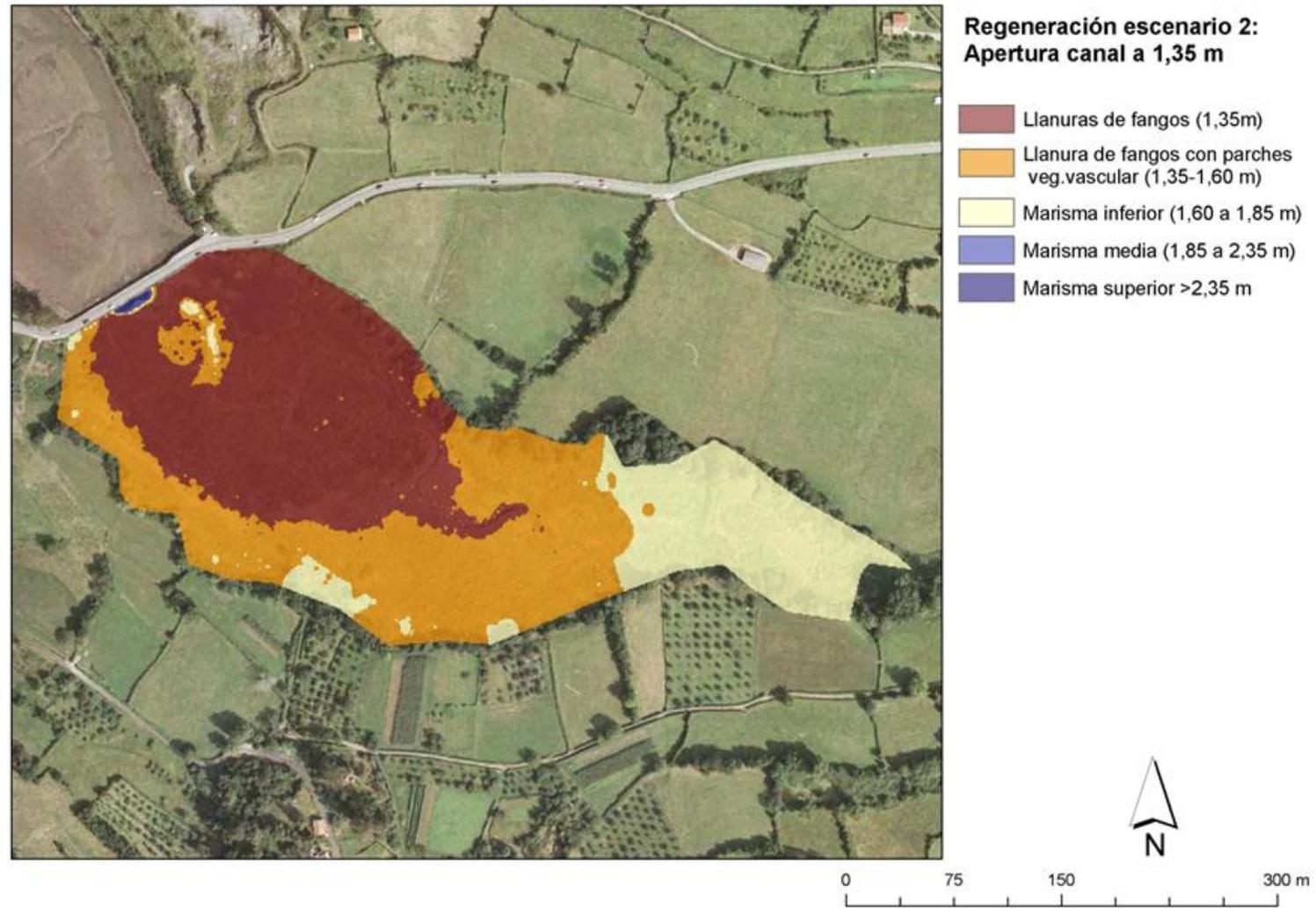


Figura 70. *Regeneración escenario 2 (apertura a 1.35 m)*

5. CONCLUSIONES

De este ensayo podemos sacar alguna conclusión de carácter general que afecta a la planificación de las labores de restauración ecológica en estuarios. También otras conclusiones de tipo metodológico respecto a los métodos de interpolación más adecuados para superficies con poca variabilidad en altitud, como es el caso de las llanuras fluviales y estuarinas. En este caso, los métodos estadísticos que interpolan superficies se han revelado como los más exactos para la interpolación.

A continuación enumeramos las conclusiones más relevantes:

1.- Resulta de gran utilidad realizar levantamientos topográficos de mucho detalle en áreas estuarinas, adaptados a la zona que se pretende recuperar y a escala adecuada al proyecto (1:1000 o incluso de mayor detalle), permitiendo diseñar una intervención en la que a partir de la construcción de modelos como los presentados en este estudio, se obtiene una aproximación de los resultados o imágenes objetivo.

2.- Respecto a los métodos para reproducir la superficie topográfica. El método estadístico que mejor parece aproximar la superficie topográfica en nuestro caso es el método del Inverso de la Distancia. En su favor cuenta el hecho de que la población de datos usados en la validación era de pequeño tamaño así que aunque en nuestro caso sea el método estadístico más adecuado no podríamos generalizar puesto que en el caso de tener una población de validación de datos de mayor tamaño el método que mejor se ajustaría podría ser otro.

3.- El estudio evolutivo a partir de documentos históricos y fotografías aéreas antiguas ha permitido constatar que la principal alteración del área de estudio se asocia a la carretera N-632, que entre los años 1922 y 1957 introduce una barrera a la entrada mareal. Aunque con posterioridad se reconocen alteraciones de los terrenos, en relación con el uso del suelo para usos agropecuarios, estas actividades y su incidencia en la dinámica natural desaparece en los años 90. Por estos motivos, el diseño de medidas debe centrarse en reducir la limitación mareal que ejerce la carretera.

4.- Teniendo en cuenta las características del terreno y los modelos realizados, la actuación más recomendable sería la *regeneración* o *rehabilitación*. En concreto, una ampliación del drenaje de la carretera permitiría una mayor entrada mareal, con la consiguiente expansión de los terrenos de marisma en detrimento de los dulceacuícolas, produciéndose una recuperación parcial de las condiciones naturales de la ensenada. Con

ello conseguiríamos una variedad de unidades ecológicas que en la actualidad no abundan en la ría de Villaviciosa debido a la larga historia de polderización que ha sufrido la zona. Estrategias desarrolladas en ambientes de este tipo en España apoyan este planteamiento, especialmente por su buena relación coste-beneficio, donde a partir de medidas sencillas se obtiene una notable mejora del sistema estuarino degradado.

5.- La utilización del GPS ha requerido una inversión de tiempo importante en la toma de datos, cubriendo sobradamente los objetivos perseguidos en el presente trabajo. No obstante, los resultados pueden mejorarse de forma significativa mediante la combinación con productos derivados del LIDAR, cada vez más extendidos en España, en especial en una zona donde las variaciones en altura son mínimas, como es el caso de áreas estuarinas como la analizada.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1.- Libros y artículos

- ARCE, L. M. (1996): *La Ría de Villaviciosa. Guía de la naturaleza*. Ediciones TREA S.L.
- ARCE, L. M. (1997): *Guía de los espacios naturales de Asturias*. Ediciones TREA S.L.
- BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de información geográfica*. Madrid, Rialp.
- BRADSHAW, A. D. 1997. What do we mean by restoration?. Restoration ecology and sustainable development., eds. Krystyna M., Urbanska, Nigel R., Webb, Edwards P. University Press, Cambridge.
- BRATT, S. & BOOTH, B. (): *Using ArcGis 3D Analyst*.
- CAPV (2007). Modificación del Plan Territorial Sectorial de Zonas húmedas de la CAPV. Informe Inédito.
- FERNÁNDEZ PRIETO, J.A. Y BUENO, A. (1997): *La Reserva Natural Parcial de la Ría de Villaviciosa*. Cuadernos de Medio Ambiente, 2. Servicio Central de Publicaciones del Principado de Asturias. Oviedo
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. Y GARCÍA DE JALÓN, D. (2007). Guía Metodológica para la elaboración de Proyectos de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente. 318 pp.
- INDUROT (2001-2007). Caracterización ambiental de las ensenadas y porreos del estuario de Villaviciosa. Asesoramientos científico-técnicos a la Demarcación de Costas en Asturias, de la Dirección General de Costas. Informes inéditos.
- INDUROT (2009). Análisis de las obras de restauración relativas al “Proyecto para la recuperación ambiental y paisajística de las instalaciones de CLH en la playa de La Arena, en el término municipal de Múskiz (Vizcaya)”. Informe inédito Tragsatec para la Demarcación de Costas del País Vasco, Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino.

- MORENO JIMÉNEZ, A. (2007): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, RA-MA
- PERILLO, G.M.E. (1995): Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. En: G.M.E. Perillo (Ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam, The Netherlands, pp. 17-48.
- Sánchez, C. (2006). La recuperación de la marisma de Montehano. Monte Buciero, 12, 161-173.

6.2.- Webs

- ArcGis Resource Centre
<http://resources.arcgis.com/>
- Ayuda Web ArcGis
<http://resources.arcgis.com/es/content/web-based-help>
- Centro de interpretación de la Ría de Villaviciosa
<http://www.riadevillaviciosa.org>
- Instituto Geográfico Nacional
<http://www.ign.es>
- NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)
<http://earth-info.nga.mil>
- Universidad de Oviedo. Estación de referencia GPS del Campus de Mieres.
http://www.unioviedo.es/refgps/ERGM_DATA/RINEX/