

TRABAJO FIN DE MÁSTER

"PRÁCTICAS EN EMPRESA: REALIZACIÓN DE CARTOGRAFIA DE COSTA RICA A ESCALA 1.200.000 MEDIANTE TÉCNICAS DE GENERALIZACIÓN."

Autor: Edgar Limeres Fernández

Director: D. Daniel Ballarín Ferrer

**Máster Universitario en
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Septiembre de 2016



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

A lo largo de este trabajo se recoge mi experiencia y participación en el proceso de generalización cartográfica de Costa Rica realizado en la empresa Seresco S.A. en el marco del convenio de prácticas curriculares entre la UniZar y dicha empresa. Tras una breve aproximación a la zona de estudio, describiendo la geografía y organización de Costa Rica, en estas páginas se habla del concepto teórico de la generalización cartográfica, los procesos que conlleva y su utilidad. Así mismo, una vez superados estos aspectos introductorios, se describe con detalle el software utilizado, del que se ha alternado constantemente su uso a lo largo del trabajo, así como la descripción de las diferentes capas y los procesos y herramientas que han sido necesarias para su generalización. Cada una de estas capas, alberga el total de elementos que aparecerán en la cartografía final y han presentado una serie de particularidades que han determinado la manera de trabajar con ellas. Cabe destacar también, el uso de técnicas de teledetección a la hora de solventar problemas relacionados con la ausencia de información en ciertas zonas. En esta línea, se habla de la utilidad de la teledetección, así como del proceso seguido por la empresa en la compra y utilización de imágenes satélite. En definitiva, en este documento se recoge la información de dos meses de trabajo diario que muestra todo el proceso de conversión de una cartografía escala 1.25.000 a escala 1.200.000 desde el comienzo hasta el final.

Palabras Clave: *Generalización, cartografía, teledetección, Costa Rica,*

Abstract

Throughout this project, I compiled my experience and involvement in the process of cartographic generalization in Costa Rica by the company Seresco S.A. in the framework agreement for internship between UniZar and said company. After a small approach to the area of analysis, describing Costa Rica's geography and organization, we address the theoretical concept of cartographic generalization, its methods, and utility. Likewise, once these introductory aspects are discussed, we describe in detail the software used, which has been changed constantly throughout the project, as well as the description of the different layers, processes and tools used for its generalization. Each one of these layers contain the total of the elements which will appear in the final mapping. They have presented a series of features which have determined the method used to work with them. It should be noted the use of remote sensing techniques in order to solve problems related to the lack of information in certain areas. Along these lines, we discuss the benefits of remote sensing, as well as the purchasing process and application of satellite imagery. In short, this document gathers the information produced after two months of daily work, which explains the conversion process of a 1.25.000 scale map to a 1.200.000 scale map from the starting point to the end.

Key words: *Generalization, cartography, remote sensing, Costa Rica,*

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Objetivos, metodología y cronograma..	5
3. Aproximacion a la zona de estudio: costa Rica	10
3.1 Introducción.	10
3.2 Organización territorial.....	10
3.3 Clima	11
3.4 Relieve.....	12
3.5 Cartografía en Costa Rica.	12
4. Generalización cartográfica	14
4.1 Concepto y objetivos.....	14
4.2. Proceso de generalización:	15
4.2.1 En base de datos.....	16
4.2.2 En cartografía	17
5 Aplicación práctica de la generalización..	20
5.1. Software utilizado.....	20
5.1.1 ArcGis 10.3.....	20
5.1.2 Qgis.....	20
5.1.3 Microstation	21
5.2. Introducción al proyecto.....	24
5.2.1 Resumen de las capas o temas.....	24
5.2.2 Algoritmo de Douglas – Peucker.	27
5.3 Capas generalizadas.	28
5.3.1 Elementos hidrográficos	28
5.3.2 Control geodésico	34
5.3.3 Relieve.....	34
5.3.4. Infraestructura vial y transportes.	36
5.3.5 Edificaciones y construcciones.....	37
5.3.6 Límites.	39
5.3.7. Cobertura y usos del suelo.....	39
5.3.8. Nombres geográficos.	41
6. Uso de la teledetección en las labores de generalización.	43
6.1. Problemática y posibles soluciones.....	43
6.2. Satélites SPOT	45
6.3 Obtención de las imágenes satélite	46
7. Maquetación de las hojas cartográficas.....	49
8. Resultados y conclusiones.	51
9. Valoración final.	53
10. Bibliografía.	54

1. INTRODUCCIÓN: PRÁCTICAS DE EMPRESA Y PROYECTO DE GENERALIZACIÓN.

Este trabajo final del master Tecnologías de la información geográfica para la Ordenación el Territorio: SIG y Teledetección; se ha realizado en el marco del convenio de prácticas curriculares entre la Universidad de Zaragoza y la empresa asturiana Seresco.

Seresco, tiene su sede central en Oviedo y cuenta en la actualidad con centros de servicios en Barcelona, Madrid, León, Oviedo y Vigo. Fuera de nuestro país, cuenta con las filiales Seresco Atlántico, con sede en Lisboa, y Seresco América, con sede en Quito y servicios para Ecuador y Costa Rica. Seresco fue creada el 3 de mayo de 1969 por un grupo de industriales de Asturias bajo el nombre Asturiana de Informática S.A. Al año siguiente, iniciaron las actividades de formación creando la primera escuela de informática de la región.

En 1973 inició su expansión fuera del Principado con la apertura de su delegación en Galicia. Un año después entró en su accionariado la empresa Seresco, lo que motivó el cambio de nombre por Seresco Asturiana.

La empresa en la actualidad realiza desde labores de consultoría, hasta el desarrollo de software, pasando por la integración de soluciones de gestión, recursos humanos, el desarrollo de infraestructuras técnicas, formación y servicios cartográficos. La cartera de clientes de Seresco está compuesta por organizaciones de todos los sectores, así como por diversos organismos de las Administraciones Públicas.

Seresco es una de una de las principales dinamizadoras del sector en el Principado de Asturias con la constitución de la Oficina W3C, la Fundación CTIC y el Clúster TIC. Además, es socio fundador de AETIC (Asociación de Empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicación de España) y mantiene alianzas con empresas como Microsoft, SAP, Oracle o Esri.

A continuación: las distintas áreas de trabajo de la empresa y sus departamentos:



Figura: 1. Áreas de trabajo de la empresa Seresco. Fuente: www.seresco.es

Dentro del ámbito que concierne a este trabajo, la empresa se presenta como una de las principales empresas cartográficas españolas y ofrece una amplia gama de soluciones para la obtención y explotación de información geográfica. El Servicio de Cartografía de Seresco produce y actualiza cartografía para proyectos de obra civil, gestión del territorio, estudios ambientales, urbanismo, etc. Se encarga de todo el proceso, desde la adquisición del dato hasta la generación de productos como cartografía temática, territorial, ortofotografía, etc.

Así mismo, se produce cartografía a cualquier escala. Desde escalas grandes (1:500 a 1:2.000) indispensables para la realización de proyectos catastrales, de arquitectura o de urbanismo; pasando por escalas medias (1:5.000 a 1:25.000) óptimas para la ordenación del territorio, la administración del mismo, defensa o agricultura; hasta escalas pequeñas (1:50.000 a 1:200.000 y menores) que sirven de base para estudios territoriales. Estas últimas escalas más pequeñas serán las que se utilicen en este proyecto, concretamente la 1:200.000



Figura: 2. Oficina de Seresco en Oviedo

2. OBJETIVOS, METODOLOGIA Y CRONOGRAMA.

A lo largo de mi periodo de prácticas en la empresa he trabajado en el área de catastro y cartografía, concretamente en el departamento de cartografía. En este tiempo he participado en un solo proyecto: La fabricación de cartografía de Costa Rica a escala 1:200.000 mediante generalización de la cartografía a escala 1:25.000, realizada con anterioridad, también por esta empresa. Éste será el objetivo principal de las prácticas.

Costa Rica es uno de los países donde Seresco realiza proyectos internacionales, en este caso debido a que El Departamento de Proveeduría de la Dirección Administrativa del Registro Nacional de la República de Costa Rica ha adjudicado a la empresa la licitación pública de este proyecto.

En un primer momento se realizó la derivación de las capas fundamentales a escala 1:25.000, mediante procesos de generalización de la información de cada capa temática, es decir desde la capa de la red vial, hídrica, infraestructura, toponimias, etc... hasta completar el total de las capas. Se incluyó en esta fase la complementación y reclasificación con base en el Catálogo de Objetos para datos fundamentales elaborado por el IGN de Costa Rica. A continuación, se está llevando a cabo la generalización de 1:25.000 a 1:200.000 que es el proyecto que me ocupa.

Para realizar este trabajo se ha desarrollado una metodología que va encaminada a favorecer la homogeneidad, precisión y rapidez en toda la toma de datos, así como a facilitar una posible actualización.

Con carácter general deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- Se usará la Red Geodésica Nacional de Referencia Horizontal CR05 y su proyección cartográfica asociada CRTM05.
- Las entidades almacenadas serán primitivas geométricas: punto, línea o polígono.
- La cartografía 1:200.000 se obtendrá a partir de la cartografía 1:25.000 mediante tareas de generalización, simbolización, detección y resolución de conflictos cartográficos.
- En las zonas no cubiertas por la cartografía 1:25.000, estas se cartografiarán a partir de las siguientes fuentes, según su disponibilidad: Ortofotos o vuelos fotogramétricos recientes, cartografía reciente, imágenes satélite o cartografía ráster proporcionada por la dirección técnica.
- La resolución espacial para la cartografía 1:200.000 será de 40 metros.
- La cartografía 1:200.000 se entregará por hojas, según la distribución por hojas 1:200.000 aportada por el Instituto Geográfico Nacional en formato SHAPEFILE 2D, y en archivo continuo para todo el país en formatos SHAPEFILE 2D y GEODATABASE.
- La simplificación de los objetos geográficos lineales y poligonales se hará empleando el algoritmo de Douglass-Peucker. Su funcionamiento es muy simple, y consiste en deshacerse de todos los puntos que se encuentren a una distancia menor que cierta tolerancia de la línea que une los puntos inicial y final de la línea a simplificar. Para la cartografía 1:200.000 se empleará una tolerancia de 10 metros.

El elemento sobre el que se organiza el modelo de aplicación es el objeto geográfico, que es la abstracción de un ente del mundo real y la unidad básica de información geográfica. Cada objeto geográfico tiene asignado un identificador único que coincide con el catálogo de objetos de datos fundamentales de Costa Rica del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:5.000. Para garantizar que dicho identificador es único está formado por concatenación de un identificador numérico de seis caracteres TT+GG+OG. Los dos primeros caracteres hacen referencia al código numérico del tema, los dos siguientes al grupo que pertenecen dentro de cada tema y los dos últimos al objeto geográfico.

Hay que señalar que, debido al proceso de generalización entre la escala 1:5.000 y la escala 1:200.000, hay muchos elementos que no son representativos, con lo que la numeración de los objetos geográficos para la escala de trabajo no es consecutiva, habiendo elementos que desaparecen como se comenta en el apartado de metodología de captura.

Otro aspecto importante a tratar en el trabajo será la calidad de la información geográfica de la base que puede variar en función de la calidad de la fuente de datos, del método de captura o de su origen.

Su explotación en un entorno SIG exige el cumplimiento de ciertos requisitos o, al menos, el conocimiento del grado de cumplimiento; por ello, dentro del apartado de calidad se detallan los parámetros que describirán la calidad de los datos, así como una propuesta para evaluarlos y los valores esperados.

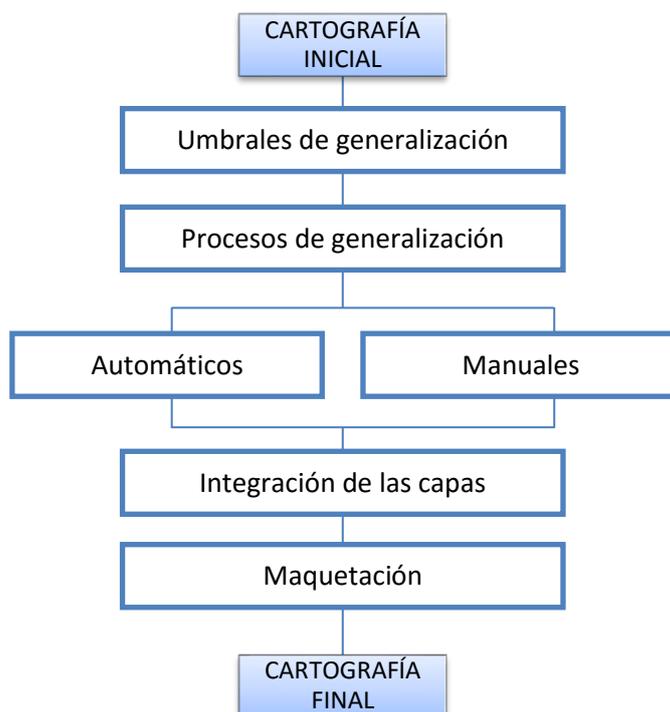
Se realizan dos controles para comprobar la consistencia de dominio: Por un lado, el control de códigos: para asegurar que no hay instancias con códigos que no estén en el catálogo de fenómenos. Y por otro lado el control de atributos: para garantizar que los atributos alfanuméricos que describen al objeto están incluidos, y además que sus valores pertenecen al dominio previsto.

También se comprueba la consistencia conceptual, este aspecto da información sobre el grado de adherencia a las reglas del modelo conceptual.

Se verifica que se cumplen ciertas reglas topológicas o geométricas con carácter global:

- Solape de instancias: Control para garantizar que no existen instancias puntuales, lineales o superficiales del mismo fenómeno con la misma codificación de atributos y geometría parcialmente coincidente (más de un vértice).
- Duplicidad de vértices: Control para garantizar que no hay vértices repetidos en una instancia.
- Bucles: Control para garantizar que no hay bucles no deseados.
- Continuidad entre hojas: Control para garantizar la conexión geométrica entre las instancias de una hoja y las instancias correspondientes de las hojas limítrofes.
- Continuidad semántica entre hojas: Control para garantizar la coincidencia de código entre las instancias de una hoja y las instancias correspondientes de las hojas limítrofes salvo que la fecha de actualización de las hojas sea diferente.
- Resolución de anclajes: Control para garantizar de manera semiautomática que no existen extremos libres no deseados por subtrazo (undershoot) o sobretrazo (overshoot).
- Conectividad: Control para verificar que las conexiones entre fenómenos son correctas. Por ejemplo, curva de nivel y edificio no deben tener vértices coincidentes.
- Mínimos: Control para garantizar que no existen instancias de fenómenos cuya superficie o longitud sean inferiores a las descritas en el catálogo.
- Resolución de intersecciones: Control para garantizar que siempre que se cortan dos primitivas geométricas, el punto de intersección se ha calculado y se ha incluido como vértice en cada una de ellas.

En cuanto al trabajo diario, la metodología que se ha seguido para llevar a cabo el proyecto es:



En un primer momento, se analiza la cartografía inicial, y tras saber cuál va a ser la cartografía final, es decir, cuál va a ser la diferencia entre una escala y otra, se decide cómo actuar con cada una de las capas que componen la cartografía. Cada elemento de cada una de las capas sufrirá una transformación para adaptarse a lo que se busca en el resultado final, algunos reducirán su tamaño, su grosor... o simplemente desaparecerán. Por esto es importante tener bien claro cómo se va a actuar en cada elemento. A continuación, se lleva a cabo el grueso del trabajo, que son los procesos que modifican los elementos cartográficos para adaptarlos a la nueva cartografía. Para esto se utilizan casi siempre los procesos automáticos de los que disponen los softwares utilizados. No obstante, estos procesos siempre tienen que ser combinados con otros manuales para que el resultado sea el deseado, ya que a pesar de la gran capacidad de estos programas hay aspectos que deben ser tratados por el técnico caso a caso.

Tras el trabajo capa a capa, una vez generalizados todos los elementos, es el momento de hacer converger todas las capas, que una vez integradas, se maquetarán según las indicaciones del cliente y conformarán el producto final.

En el siguiente cronograma se puede conocer la evolución de mi participación en el proyecto a lo largo de los meses que han durado las prácticas en Seresco.

Junio

13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Julio

				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	28	30	31

Agosto

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10				

	Presentación del proyecto y del nuevo software.
	Generalización: Elementos hidrográficos
	Generalización: Control geodésico
	Generalización: Relieve.
	Generalización: Infraestructura vial y transportes.
	Generalización: Edificaciones y construcciones
	Generalización: Cobertura y usos del suelo.
	Generalización: Nombres geográficos.
	Teledetección. (Búsqueda de imágenes, investigación...)
	Maquetado.

Las jornadas de la primera semana se dedicaron a conocer el proyecto, entender el concepto de la generalización y, sobre todo, tomar contacto con los nuevos softwares que se iban a estar utilizando durante el proyecto. En definitiva, los primeros días sirvieron como toma de contacto con el proyecto y sus herramientas.

Una vez puesto en contexto y conociendo las diferentes capas que conforman la cartografía durante las siguientes semanas tuve la oportunidad de trabajar en la generalización de diferentes capas y conocer las particularidades de cada elemento a la hora de llevar a cabo este proceso.

Lógicamente, estas tareas eran llevadas a cabo por más compañeros y tuvieron una duración mucho mayor. No obstante, se me dio la oportunidad de participar, aunque fuera en pequeña medida en la elaboración de todas y cada una de las capas.

Otra etapa muy importante para el proyecto ha sido la obtención de imágenes satélite para poder completar la cartografía mediante técnicas de teledetección. Esta labor se ha ido realizando en paralelo a las técnicas de generalización, ya ha requerido mucha búsqueda, comparativas de precios, pruebas, así como toda la burocracia que conlleva un gasto tan elevado de dinero dentro de una empresa. Por todo esto, he pedido expresamente poder seguir este proceso por lo que durante casi una semana me he dedicado íntegramente a este tema y podido conocer de primera mano todo el proceso.

Llegando al final de mi periodo de prácticas en la empresa pude ser partícipe de las primeras pruebas de maquetado. En este punto es cuando converge el trabajo que se ha estado realizando en paralelo y todas las capas tienen que unirse para crear una única cartografía. Cartografía, que en este caso es oficial, por lo que las normas y los elementos que contiene son muy estrictamente definidos.

Este último proceso se ha prolongado en el tiempo varios meses después de mi periodo en la empresa. No obstante, he podido recibir el producto final: Una de las hojas con la maquetación final que se entregará al cliente.

3. APROXIMACION A LA ZONA DE ESTUDIO: COSTA RICA

3.1 Introducción.

La república de Costa Rica es un país de Centroamérica que cuenta con un total de 51.100 km² y una población de casi 5 millones de habitantes. Se sitúa en el istmo de América Central entre Panamá y Nicaragua y está bañado por los océanos atlántico y pacífico a lo largo de sus 1400 km de costa. Concretamente se encuentra entre las latitudes 8° y 12° y las longitudes 82° y 86°.

El país se encuentra en una situación privilegiada en lo referente a desarrollo, derechos y seguridad. Sobre todo, si se le compara con sus vecinos más próximos, ya que Costa Rica está considerado el país con mayor libertad de prensa, y el país más seguro de todo Latinoamérica. En definitiva, estamos ante un referente en cuanto a progreso social, donde la igualdad de género y la preservación del medio ambiente ocupan un lugar principal entre los esfuerzos gubernamentales.

Otro dato sobre el país que ha trascendido en los últimos tiempos es el del nombramiento como país más feliz del mundo según el Índice Happy Planet, que cada dos años marca el nivel de felicidad de los países. Para ello analiza tres cosas: el bienestar que los habitantes de una nación dicen tener, la esperanza de vida al nacer y la huella ecológica de una nación. Según el documento, los costarricenses le da una calificación de 7,3 a su vida, la esperanza de vida al nacer está en 79,3 años y la huella ecológica es de 2,5 g per cápita. La huella ecológica mide las acciones que se hacen a favor del ambiente en comparación con el uso y abuso de recursos naturales y actividades que dañan al ambiente. En definitiva, según el coautor del estudio Nic Marcs, este índice mide lo que realmente importa: vidas largas y felices utilizando solo una fracción de los recursos del planeta.

3.2 Organización territorial

A continuación, se muestra el mapa administrativo de Costa Rica conformado por sus diferentes provincias y un mapa auxiliar de la Isla de Coco,



Figura: 3. Mapa político de la República de Costa Rica con sus divisiones administrativas principales. Fuente: Shamhain - Trabajo propio, CC BY-SA 3.0

La división territorial de Costa Rica comprende 7 provincias, que se dividen en 81 cantones o municipios. Estos a su vez divididos en 470 distritos. Su capital, San José es el centro político, económico y social más importante del territorio costarricense, así como el nudo principal para el transporte y telecomunicaciones. La ciudad además es sede de la mayoría de instituciones estatales, tanto las sedes de los ministerios como de las instituciones autónomas, como el Instituto Costarricense de Electricidad, la Caja Costarricense del Seguro Social, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, el Instituto Nacional de Seguros, la Junta de Protección Social, y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), entre otros.

También se encuentra en la ciudad el Hospicio de Huérfanos, institución estatal encargada de albergar y cuidar a todos los niños huérfanos a nivel regional y nacional. Así como la mayoría de hospitales del país, ya que dentro de sus límites concentra a los mejores centros médicos tanto de Costa Rica como de América Central.

Tabla 2. Provincias de Costa Rica

Provincia	Cabecera	Cantones	Distritos	Área (km ²)	Población
 San José	San José	20	118	4.965,90	1 633 282
 Alajuela	Alajuela	15	108	9.757,53	876 073
 Cartago	Cartago	8	48	3.124,67	510 727
 Heredia	Heredia	10	46	2.656,98	449 257
 Guanacaste	Liberia	11	59	10.140,71	280 488
 Puntarenas	Puntarenas	11	57	11.265,69	368 827
 Limón	Limón	6	27	9.188,52	444 884

3.3 Clima

Costa Rica se encuentra en la región del Neotrópico, por lo que presenta un clima tropical, con dos estaciones bien definidas: la seca (llamada también verano) y la lluviosa (llamada invierno). La época seca inicia desde principios de diciembre hasta finales de abril, mientras que la lluviosa inicia desde principios de mayo hasta finales de noviembre.

Sin embargo, la topografía del país es muy variada, con presencia de montañas, valles y llanuras en un territorio pequeño. Los sistemas montañosos corren longitudinalmente de noroeste a sureste, determinando tres grandes regiones climáticas:

Región Tropical Húmeda del Atlántico, que incluye las llanuras del norte y el Caribe, la provincia de Limón y la vertiente atlántica de las Cordilleras de Guanacaste, Volcánica Central y Talamanca, presenta un clima tropical húmedo, con un alto régimen de precipitaciones. En esta zona nos encontraremos con problemas a la hora de llevar a cabo el proceso de realizar la cartografía. Ciertas zonas están continuamente cubiertas de nubes, lo que hará imposible obtener una imagen área completa y precisa que permita cartografiar la zona.

Región Intermontana Central, que incluye el Valle Central y las cadenas montañosas del sur. Presenta relieve montañoso con altitud promedio entre 800 y 1000 msnm, registrándose temperaturas cálidas en las partes bajas y frías en las partes altas

Región Tropical del Pacífico, donde es más clara la división entre las dos estaciones, con un clima tropical con estación seca bien definida, con temperaturas máximas de hasta 30 °C en invierno y 38 °C en verano, la época lluviosa en la zona es corta si se compara con el Valle Central.

3.4 Relieve

Costa Rica es un país muy montañoso y la mayor parte del territorio está formado por elevaciones de entre 900 y 1800 metros sobre el nivel del mar. Existen cuatro sistemas montañosos principales: la Cordillera Volcánica de Guanacaste, la Sierra Minera de Tilarán, la Cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca. En el centro del país se encuentra el Gran Valle Central, una especie de meseta caracterizada por su fertilidad y abundancia de fuentes hídricas, rodeada por montañas y volcanes, presenta un clima muy agradable, aquí reside la mayor parte de la población del país, aproximadamente 60% de los habitantes

También cabe destacar la gran cantidad de islas, algunas con gran importancia para el turismo o que constituyen importantes reservas biológicas. No hay que olvidar que cerca del 25 % del territorio nacional se encuentra protegido por el SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación), que supervisa todas las áreas protegidas del país. Costa Rica posee la mayor densidad de especies del mundo.

3.5 Cartografía en Costa Rica.

El primer mapa de Costa Rica, quizá sea el de Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdez, cronista y tesorero real, quien en los albores del siglo XIV presenta el Golfo de Nicoya con sus islas. Este mapa sirvió de base para muchas obras más, las cuales no mejoraron en mucho la imagen inicial. No es hasta mediados del siglo XIX cuando se comienza a ver publicados mapas de la zona con mayor exactitud como el caso de Justhus Perthes de 1861:

A medida que el país fue creciendo en población, economía y servicios, fue necesario el iniciar una labor profunda en cartografía, para atender las necesidades que demandaba el desarrollo futuro, de esta manera que, Costa Rica desde mediados del presente siglo se preparó para esta tarea, con la creación del Instituto Geográfico nacional en el año 1944.

El Instituto Geográfico constituye de manera permanente y en representación del Estado la autoridad oficial y dependencia científica y técnica rectora de la cartografía nacional, destinada a la ejecución del Mapa básico oficial y la Descripción básica geográfica de la República de Costa Rica.

Como uno de los aspectos históricos de mayor relevancia que contribuyo a la creación del Instituto Geográfico Nacional, se pueden destacar los trabajos de demarcación de límites con la República de Panamá que finalizaron en setiembre del año de 1944 y que tuvieron su inicio en 1942. Estos trabajos fueron ejecutados por “Comisiones Mixtas” integradas por ingenieros de las dos nacionalidades

El Instituto seleccionó la zona de Guanacaste para sus primeras experiencias por sus condiciones topográficas especiales, por tratarse de áreas rurales y por el interés en el trazado de la “Carretera Interamericana”. Los primeros mapas profesionales fueron reproducidos en 1954, aunque se dibujaron a fines de 1953. Se trata de las hojas de Filadelfia y Comunidad en el cantón de Carrillo.

Otro aspecto digno de mención es que Costa Rica usa una proyección cartográfica diferente a la del resto de los países de América Central. La razón es que el país fue una especie de laboratorio.

El Servicio Geodésico hizo preparar unas tablas usando la “proyección cónica conforme de Lambert” para la conversión de valores de cuadrícula en metros, dividiendo el país en dos partes: Costa Rica Norte y Costa Rica Sur. Para evitar coordenadas de cuadrículas negativas se asignaron coordenadas métricas arbitrarias o falsas de origen. Mientras tanto, otros países de América Central usaron la proyección Mercator. Desde el año 2012, el IGN de Costa Rica vive una nueva etapa, ya que se traslada al Registro Nacional debido a la necesidad de fortalecimiento institucional a la luz de los nuevos requerimientos en materia geográfica que vive el país.

El Instituto Geográfico constituye de manera permanente y en representación del Estado la autoridad oficial y dependencia científica y técnica rectora de la cartografía nacional, destinada a la ejecución del Mapa básico oficial y la Descripción básica geográfica de la República de Costa Rica.

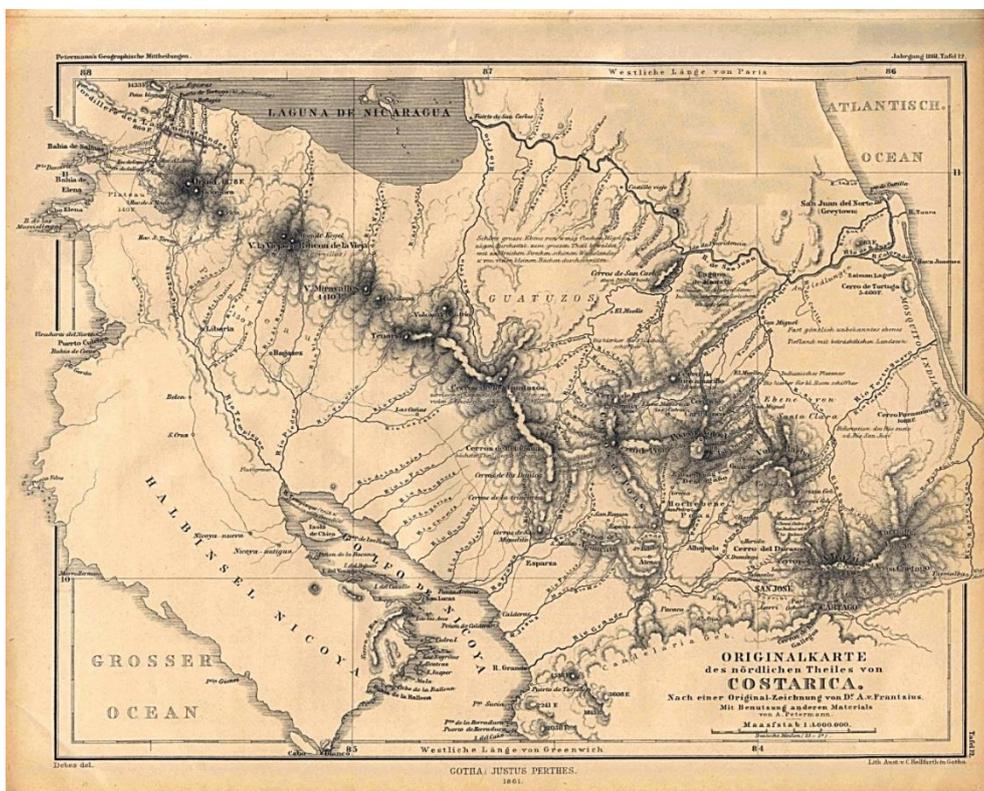


Figura: 4. Mapa Histórico de la República de Costa Rica de 1861 de Justus Perthes.

1

Fuente: University of Texas Libraries.

¹ Johan Georg Justus Perthes (11 de septiembre de 1749 - 2 de mayo de 1816) fue un editor alemán, fundador de la empresa editora que lleva su nombre (Justus Perthes), famosa por sus publicaciones geográficas y genealógicas.

4. GENERALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

4.1 Concepto y objetivos.

La generalización cartográfica se enmarca en la etapa de abstracción geográfica: momento en el que el autor del mapa transforma los datos no cartográficos en formas cartografiables. Para ello, se selecciona y organiza la información necesaria, de manera que el usuario al que va dirigido el mapa, lo comprenda.

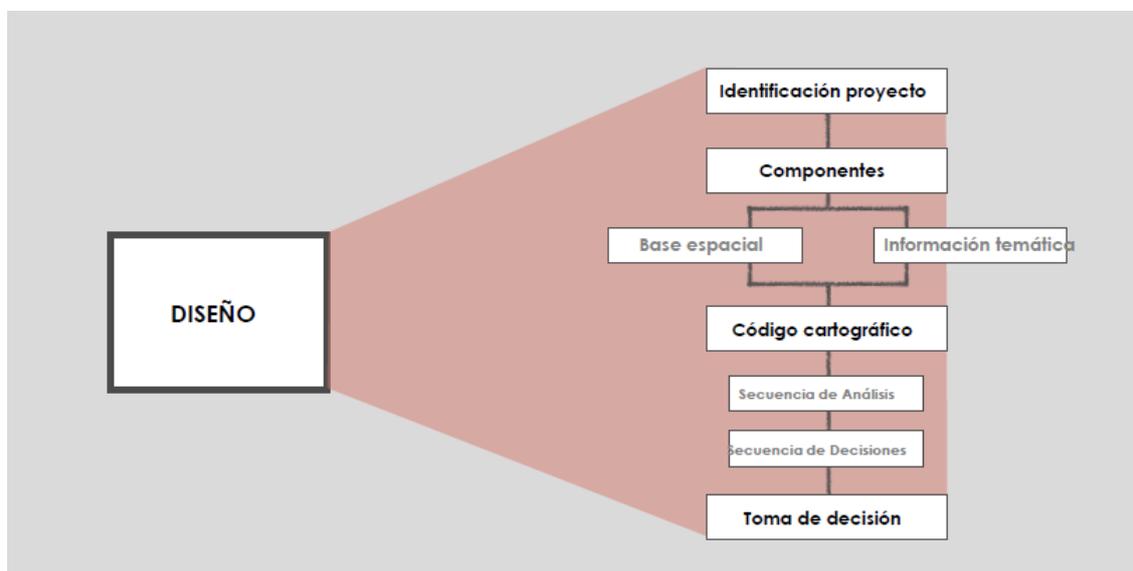


Figura: 5. La fase de diseño dentro del proceso de fabricación de cartografía.

El proceso de abstracción comprende, en primer lugar, la selección de los elementos, que comienza cuando se decide el espacio geográfico a cartografiar, la proyección, o aspectos relacionados con las variables.

Posteriormente la clasificación, que pasa por agrupar elementos de características similares, organizando de este modo la información cartografiada.

Y por último la simplificación o generalización: Por generalización cartográfica se entiende la selección y representación simplificada de los elementos de la superficie terrestre con un nivel de detalle apropiado a la escala y el propósito del mapa. El objetivo fundamental es maximizar la información que contiene el mapa y su utilidad limitando su complejidad para garantizar su legibilidad. Lo más importante deberá ser enfatizado y lo que carezca de importancia será suprimido.

Esta técnica se aplica a todos los elementos del mapa, desde planimetría, a formas del relieve, pasando por las representaciones temáticas y hasta la rotulación. Esquematizando razonadamente los trazados y formas de modo que el resultado sea una imagen equilibrada. Realmente, cualquier mapa es ya en sí mismo, una generalización. Los elementos ambientales no pueden ser totalmente representados en un mapa por lo que en el momento que trabajamos en escala, se está realizando una generalización. Especial atención hay que tomar cuando se trabaja con cartografía digital.

De este modo, es importante separar lo que son los datos espaciales, que deben ser lo más exactos posibles, de su presentación gráfica, que se somete a una generalización.



Figura 3. Plano de la ciudad de Berna. Arranz, J.J (2002): Cartografía II, Generalización Cartográfica, Universidad Politécnica de Madrid.

Figura 4. Plano de la ciudad de Berna tras proceso de generalización. Arranz, J.J (2002): Cartografía II, Generalización Cartográfica, Universidad Politécnica de Madrid.

En definitiva, podríamos decir que este proceso tiene como objetivo maximizar la información que contiene el mapa y su utilidad, limitando su complejidad y garantizar su comprensión por parte del lector, de modo que los propósitos fundamentales de la generalización serían los siguientes:

- Disminuir el coste del muestreo necesario para confeccionar el mapa
- Aumentar la robustez del mapa frente a errores de muestreo
- Servir a diversos propósitos, ya que un mapa en el que se representara con mucho detalle un sólo aspecto de la realidad quedaría invalidado para otros propósitos.
- Mejorar la visualización de los datos evitando que queden todos apelmazados

4.2. Proceso de generalización:

Según Cuenin (1972) la generalización es un proceso con tres fases ordenadas secuencialmente:

En primer lugar, la selección, que implica una reducción de elementos del mapa. En segundo lugar, la esquematización: Reduciendo las clases o categorías por agrupación o selección de alguna de ellas, y también los elementos, modificando su implantación por simbolización o simplificación.

Por último, la armonización, que requiere que los distintos elementos del mapa estén relacionados y conectados y conformando un equilibrio visual en el mapa generalizado.

En el contexto de los SIG's, el proceso de generalización consta de dos conjuntos de operaciones, por una parte, las operaciones sobre la base de datos (modelo de generalización) y, por otra parte, el conjunto de operaciones de visualización (generalización cartográfica).

El primero se refiere a la simplificación de la forma de representación dirigida a obtener una mayor eficiencia en el almacenamiento de datos y la selección de clases de entidades geográficas, de acuerdo con la escala y la temática del mapa. El segundo, por su parte, se refiere a la representación de las entidades geográficas seleccionadas y agregadas de la manera más óptima. Ésta última se involucra con la selección de símbolos y la importancia de ciertas características que definen las entidades, así como pequeños desplazamientos, y, en definitiva, todo lo que atañe a la representación de las entidades.

4.2.1 En base de datos.

Desde la década de los sesenta, tanto la industria como la academia, lucharon contra las dificultades para automatizar la generalización. Esta etapa se caracteriza por el desarrollo de los algoritmos de generalización, los cuales se enfocan en realizar la generalización, modificando. A la hora de llevar a cabo este proceso de generalización en los datos, es común utilizar métodos estadísticos y clasificaciones:

Los métodos estadísticos son de muy común uso en los procesos de generalización. Éstos permiten la síntesis de información a través del cálculo de un valor representativo a partir de datos individuales, ya sean temporales o espaciales. Los más útiles en estos casos, y los más utilizados son la media, moda, mediana... También llamados de tendencia central, y junto a ellos sus medidas de dispersión como la desviación típica o los rangos. Estos se ponderan por la frecuencia o por el área en el caso de datos zonales y se aplican igualmente a la componente espacial.

También cabe señalar el uso de los análisis de regresión, que permiten relacionar dos o más conjuntos de datos y se podría definir como la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición. Se utiliza para predecir una medida basándonos en el conocimiento de otra y se suele aplicar a la componente espacial (geoestadística), con el objetivo de realizar un análisis o también de completar una serie de datos.

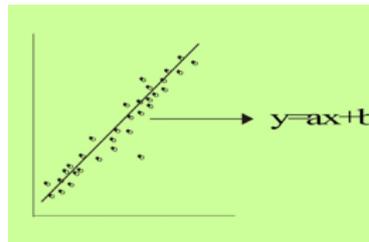


Figura: 6. Ejemplo gráfico de regresión lineal. Fernández T. (2008) “Generalización y tratamiento de los datos” EPS Jaén – España

Por otra parte, también se puede citar los análisis clúster, que son técnicas multivariante para obtener grupos, normalmente de puntos que comparten algún carácter de homogeneidad. De modo que así se clasifica una población en base a semejanzas y diferencias de los perfiles existentes entre los componentes de dicha población.

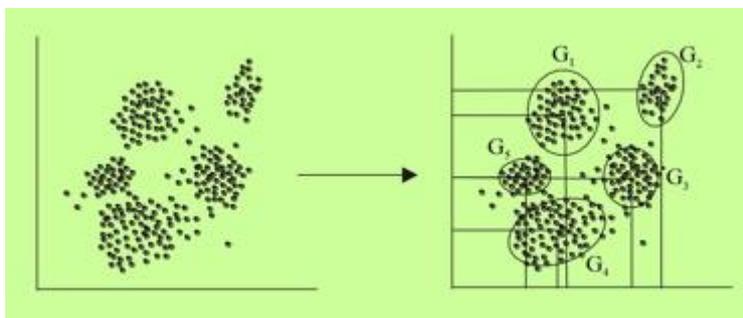


Figura: 7. Ejemplo gráfico de análisis clúster. Señalando los grupos de puntos que comparten algún carácter de homogeneidad. Fernández T. (2008) “Generalización y tratamiento de los datos” EPS Jaén - España

Por su parte, también cabe señalar la importancia de las clasificaciones: La agregación o agrupación de clases constituye una herramienta importantísima a la hora de realizar cartografía, especialmente cartografía temática. Nos podemos encontrar con niveles en clasificaciones jerárquicas cualitativas como el caso del Corine Landcover². Por otra parte al tratar datos cuantitativos, se realiza una clasificación en intervalos, ya sean constantes como los rangos o variables como los cuantiles.

4.2.2 En cartografía

En un primer momento se va a llevar a cabo la selección de detalles, que no puede hacerse al azar, ya que cada objeto tendrá un valor en función del propósito del mapa; por ejemplo, se conservarán más vías de comunicación para un mapa de carreteras que para un mapa geológico. Del mismo modo, también será importante el valor de referencia del objeto, en la medida que éste nos puede servir para situar mejor los objetos principales.

En segundo lugar, procederemos a la esquematización de las formas, que se aplica a todos los elementos del mapa, ya sean lineales, puntuales o superficiales. Se eliminan las formas poco relevantes, enfatizando a su vez las más expresivas. Por su parte, los objetos similares, cuyas representaciones individuales fueran demasiado pequeñas, se fusionan, manteniendo en la medida de lo posible su situación, orientación y forma.

Por último, se asegurará que la composición del mapa es equilibrada y los distintos elementos están relacionados y conectados. La posición del objeto es otro aspecto delicado a tener en cuenta en este proceso. A pesar de que se generalice, hay objetos que ocupan un espacio desmesurado en el mapa en relación al espacio geográfico real que ocupan. Esto obliga a un falseamiento de la posición de los objetos inmediatamente vecinos. Esta distorsión es necesaria por ejemplo en los elementos contiguos a una carretera.

Finalmente, cabe señalar las dimensiones mínimas de los objetos, especialmente en la cartografía destinada a impresión.

En cuanto al grado de generalización que se va a realizar, suele depender de la escala. Y a grandes rasgos podemos establecer estos umbrales:

- A escala 1:10000 y superior la generalización es muy escasa o inexistente.
- A escala 1:20000 empieza a aparecer generalización. Las calles y carreteras aparecen ensanchadas, los edificios se agrupan simplifican y desplazan y las parcelas de cultivo se agrupan en grandes polígonos de uso de suelo.
- Entre 1:20000 y 1:200000, los bordes de los polígonos y los objetos lineales se simplifican, las carreteras se simbolizan, desciende considerablemente el número de objetos representados, pero aumenta la densidad de objetos en el mapa.
- A partir de 1:500000 el mapa es una representación completamente simbolizada inútil para su integración en un Sistema de Información Geográfica.

²El Corine Land Cover es una base de datos de Ocupación del Suelo con escala de referencia 1:100.000, a nivel europeo, basada en una nomenclatura jerárquica de 44 clases, con tamaño mínimo de polígonos de 25 ha.

En imágenes Ráster se pueden aplicar diferentes modos de generalización: El estructural, consistente en cambiar en número y tamaño de celdas por remuestreo, técnicas de interpolación, etc.

Numérica: que consistiría en la aplicación de filtros de realce (paso alto) o suavizado (paso bajo), direccionales, etc. Hay distintos filtros y cada uno de ellos consigue un efecto particular sobre las imágenes. Las operaciones de transformación de los valores de intensidad de cada filtro quedan descritas por su kernel. El kernel es una matriz de números que son los coeficientes por los que debe multiplicarse los valores de intensidad del entorno de cada punto.

Por último, también cabe hablar de la categorización: que sería la reclasificación de elementos para formar una clase más amplia, es decir, agrupar las clases.

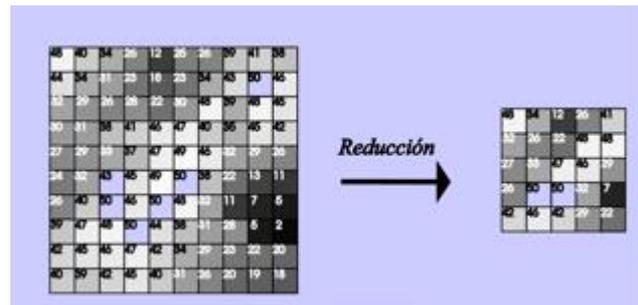


Figura: 8. Generalización en ráster mediante la reducción del número de celdas. Fernández T. (2008) "Generalización y tratamiento de los datos" EPS Jaén - España

En elementos vectoriales, los procesos aplicados a la hora de la generalización variarán en función de si nos encontramos ante un elemento puntual, lineal o poligonal. Estos son algunos de los operadores más utilizados:

- Selección: Elegir del conjunto de la muestra, a los elementos más significativos.
- Eliminación: Supresión de elementos en función de criterios de selección.
- Simbolización: Establecimiento de nuevos patrones para símbolos
- Simplificación: Reducción del detalle de los elementos para adecuarlos a la nueva escala
- Suavizado: Mejora estética de los elementos
- Agregación: Agrupación de elementos de la misma clase en una zona.
- Exageración: Aumento considerable de un elemento para enfatizarlo.
- Desplazamiento: Movimiento de un elemento para evitar su transposición con otro.
- Tipificación: Selección de elementos para mantener un patrón.



Figura: 9. Representación gráfica del efecto de distintos operadores en generalización.
 Fuente: cartografiadigital2013.blogspot.com.

Tabla 1. Operadores en generalización y su validez para cada tipología de elementos.

Operador	Puntos	Lineas	Polígonos
Selección/Eliminación	✓	✓	✓
Simbolización	✓	✓	✓
Simplificación	✗	✓	✓
Suavizado	✗	✓	✓
Agregación	✓	✗	✓
Exageración	✓	✓	✓
Desplazamiento	✓	✓	✓
Tipificación	✓	✓	✓

5. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA GENERALIZACIÓN.

5.1. Software utilizado.

A lo largo de este proyecto se van a utilizar varios softwares entre lo que se puede destacar: ArcGis, Qgis y Microstation. Cada uno ofrece unos mejores resultados en cada tarea por lo que su uso se ha alternado a lo largo de todo el proyecto. La compatibilidad entre los formatos de cada uno será un aspecto clave ya que Microstation tiene la capacidad de albergar dentro de cada capa, diferentes niveles que pueden ser de elementos puntuales, lineales o poligonales.

5.1.1 ArcGis 10.3

Bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Este software no necesita demasiadas presentaciones ya que su productor, la empresa norteamericana ESRI, se ha consolidado como líder en mercado de los Sistemas de Información Geográfica y su formato nativo: el shapefile, se ha generalizado en los formatos de almacenamiento de datos espaciales en el campo de los Sistemas de Información Geográfica vectoriales.

Por otra parte, cabe destacar que, a lo largo de la formación en el máster, este software ha sido sin duda el más utilizado en cuanto a SIG y por ello no ha habido ningún problema a la hora de utilizarlo en este proyecto. No obstante, arcGis ofrece tantas posibilidades que en cada trabajo se pueden descubrir herramientas nuevas.

En este proyecto, el mayor protagonismo de arcGis se ha dado a la hora de realizar la simbología, el etiquetado y, en definitiva, la maquetación final, ya que hay que señalar que el cliente ha pedido expresamente que el trabajo se entregue en formato shapefile.

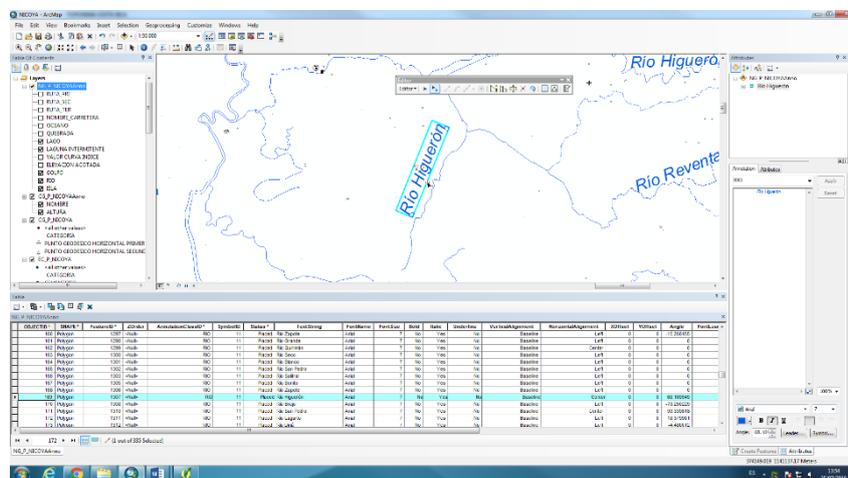


Figura: 10. Utilización de arcGIS en el etiquetado de entidades.

5.1.2 Qgis

El software libre Quantum Gis, por su interfaz flexible, y su interoperabilidad, también ha sido utilizado frecuentemente en este trabajo, para realizar tareas puntuales, como la selección de topónimos o la revisión de las cotas y las curvas de nivel. Es un software muy manejable y que ofrece una gran potencia a la hora de la edición. Además, señalar su principal ventaja: es un software libre y gratuito, nada que ver con los elevadísimos precios que se pagan por una licencia de ESRI.

5.2.3 Microstation

El software utilizado en la mayor parte del proyecto es Microstation. Es un programa de CAD desarrollado por la empresa norteamericana Bentley.

El nombre CAD proviene de sus siglas en inglés (Computer-Aided Design) y su uso se basa en un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y diseñadores. El usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, material, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además, se pueden renderizar a través de diferentes motores o softwares.

Concretamente, Microstation tiene un formato nativo llamado DGN, aunque también puede leer y escribir en una variedad de estándares CAD formatos, incluyendo DWG y DXF y producir medios de salida en formas tales como imágenes renderizadas (JPEG y BMP), animaciones (AVI), páginas web 3D en virtual Reality Modeling Language (VRML), y Adobe Systems PDF.

La experiencia utilizando este nuevo programa ha sido satisfactoria, ya que aporta muchas posibilidades a la hora de la edición gráfica. No obstante he comprobado que en muchas ocasiones estas plataformas CAD quedan relegadas a la toma de datos en el primer estadio y los datos obtenidos en este formato, son más tarde transformados a formatos SIG. No obstante, este nuevo software merece ser analizado con un poco más de detenimiento.

En un primer momento, el área de trabajo resulta similar a la que se puede encontrar en cualquier programa SIG como arcGIS o Qgis.

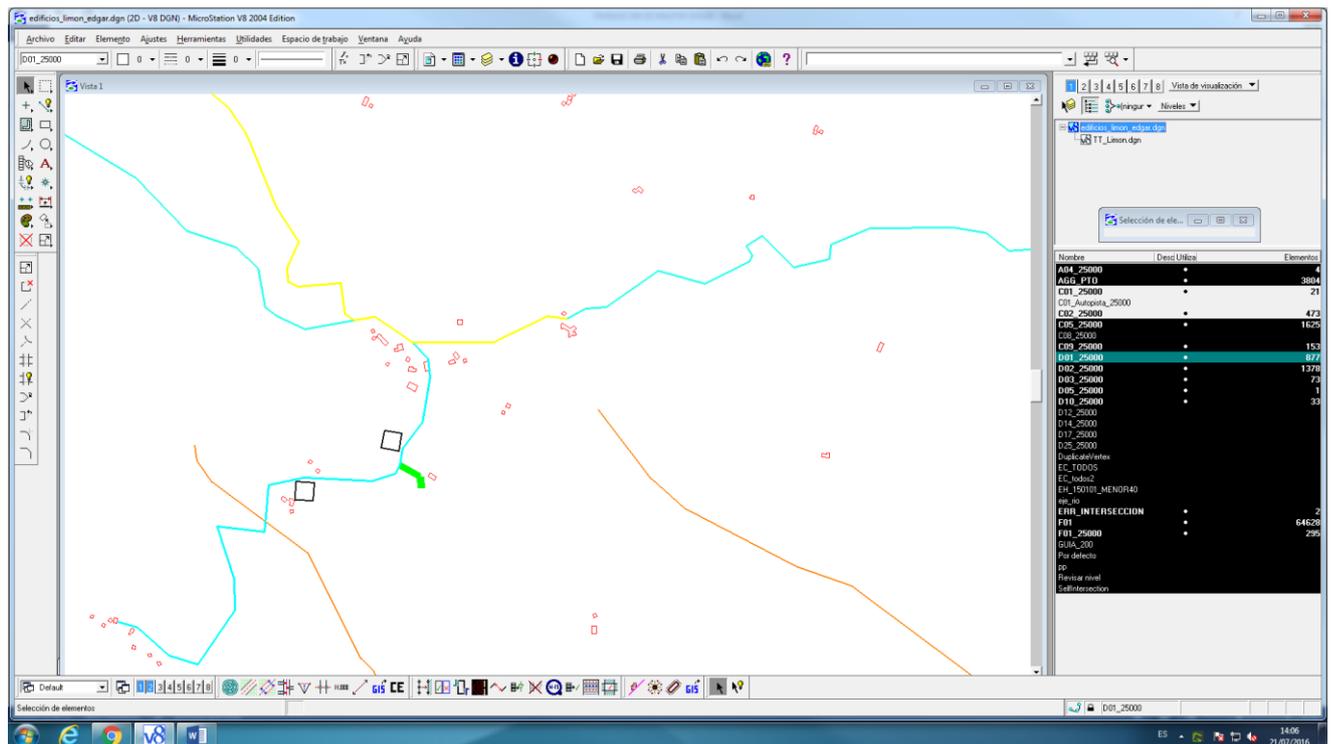


Figura: 11. Captura del área de trabajo en Microstation durante el proyecto de generalización.

En la parte izquierda se muestran los cuadros de herramientas que se pueden personalizar para que aparezcan las que resulten más útiles o importantes. Al pinchar sobre alguno de esos botones se desplegará una lista de herramientas relacionadas o similares. Esto resulta muy útil ya que rápidamente es posible familiarizarse con la ubicación de cada familia o grupo de herramientas.

Por ejemplo al pulsar sobre el botón de herramientas de “Manipular”, obtendremos los botones de ocho herramientas como copiar, rotar, mover, alinear, etc.

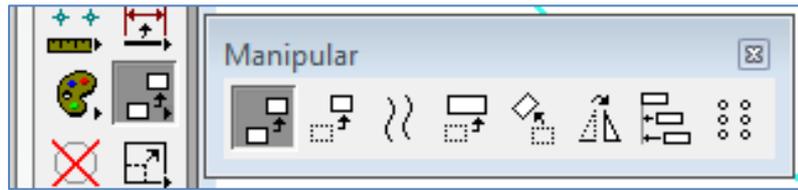


Figura: 12. Botón de herramientas "Manipular" desplegado con las diferentes herramientas que alberga.

En la parte derecha del área de trabajo, tenemos el equivalente a la tabla de contenidos en arcGIS. Una zona donde se muestran los diferentes elementos con los que se está trabajando, agrupados en categorías. En este programa, en lugar de capas, los elementos se agrupan por niveles, y a cada nivel se le asigna una simbología. De este modo, al crear un nuevo elemento solo tenemos que definir su nivel para que adopte el aspecto y las características que hemos fijado previamente.

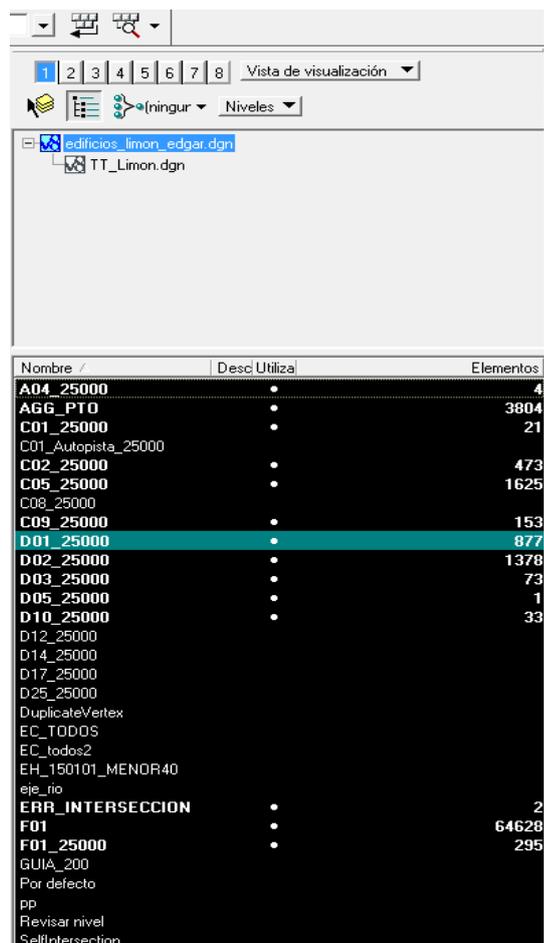


Figura: 13. Visualización de nivel en Microstation.

En la parte superior del área de trabajo podemos definir estos aspectos: en este caso para trabajar con elementos lineales: escogiendo grosor, color y estilo de línea.

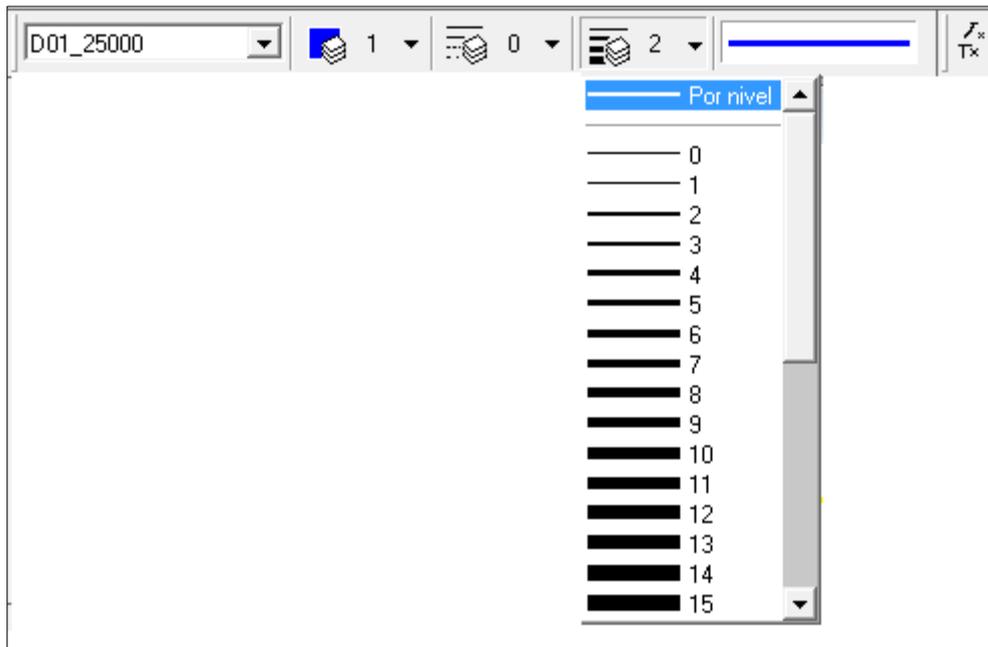


Figura: 14. Edición de niveles y sus características.

Por último cabe señalar el botón de procesos, situado en la parte inferior y desde el que accedemos a lo que sería la arcToolBox de arcGis, donde buscaremos el proceso que queremos llevar a cabo y lo aplicamos a los elementos que queramos: a todo, a los seleccionados, a los que aparecen visualizados en pantalla, etc. Al igual que la arcToolBox nos ofrece la posibilidad de incorporar múltiples ficheros.

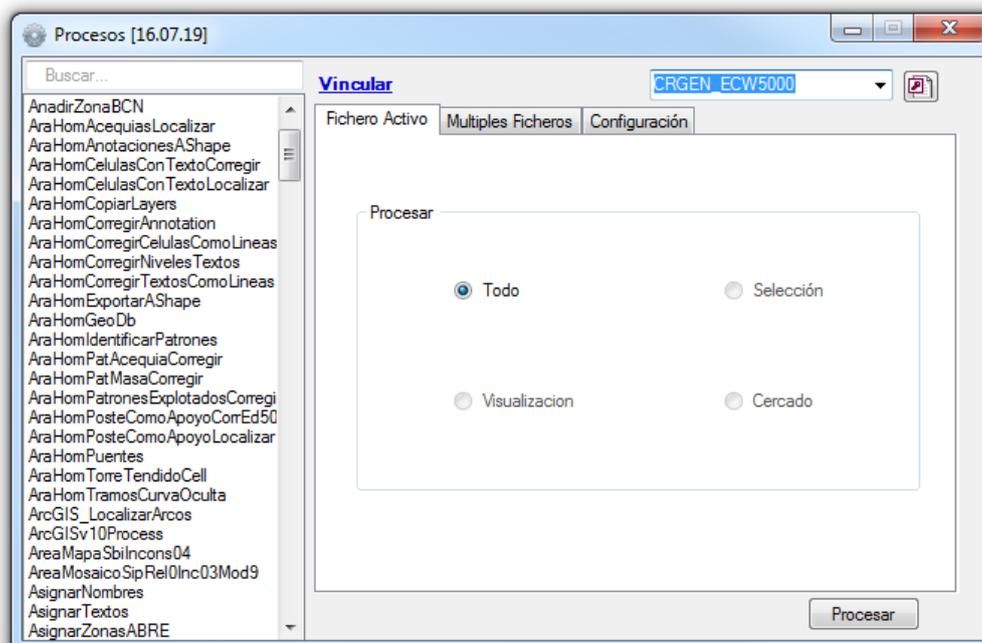


Figura: 15. Ventana de procesos en Microstation

5.2. Introducción al proyecto

5.2.1 Resumen de las capas o temas

Las capas o temas como se llamarán en este proyecto son un subconjunto lógico de un conjunto de datos definido para la gestión homogénea de datos que tienen características comunes. Dentro de cada tema se contemplan las siguientes primitivas geométricas:

- Punto: representa una posición descrita por un único conjunto de coordenadas en un sistema de referencia de coordenadas determinado
- Línea: secuencia de segmentos de línea consistentes en vértices unidos por una línea recta.
- Polígono: porción de superficie definida por unas líneas de contorno y la superficie que delimitan.

Los temas en los que se divide el modelo de datos son los siguientes:

- Elementos Hidrográficos (EH)

La hidrografía incluye la red hidrográfica lineal y masas de agua, tanto naturales como artificiales.

La red hidrográfica lineal será completa, continua y conectada, representada por primitivas lineales y superficiales y se divide en tres grupos

- 01 Cauce y Drenaje.
- 02 Cuerpo de agua y otros.
- 03 Accidentes Costeros y Marinos

- Control geodésico (CG)

En esta capa se incluyen todos aquellos puntos que formen parte de los sistemas de posicionamiento geodésico oficiales. Este tema se representa por primitivas puntuales.

- Relieve (RE)

Los objetos geográficos agrupados en este tema representan la elevación de la superficie de la tierra. Dicha elevación queda definida por curvas de nivel y cotas en puntos significativos. Las curvas de nivel, salvo las intercalares, son continuas. Este tema se representa por primitivas puntuales y lineales

- Infraestructura Vial y Transportes (TR)

Este tema comprende tanto las vías de comunicación para vehículos y personas como las infraestructuras asociadas. Se han incluido los objetos geográficos autopista con división, camino, vía férrea y aeropuerto entre otros. La red de transportes será completa, continua y conectada. Este tema se representa por primitivas puntuales superficiales y se divide en tres grupos:

- 01 Transporte Terrestre.
- 02 Transporte Ferroviario.
- 03 Transporte Aéreo.

- Edificaciones y Construcciones (EC)

A grandes rasgos, en este apartado se han recogido los elementos construidos como edificaciones, estadios e instalaciones como plantas eléctricas. Este tema se representa por primitivas puntuales y se divide en dos grupos:

- 01 Edificios prominentes.
- 02 Obra pública y otras facilidades.

- Límites (LI)

En este tema se recogen las delimitaciones territoriales y administrativas, así como las áreas específicas de suelo modificadas para el uso y aprovechamiento humano. Este tema se representa por primitivas puntuales y superficiales y se divide en dos grupos:

- 01 Delimitación Territorial Administrativa.
- 02 Áreas Específicas.

- Cobertura Vegetal (CV)

En esta capa se recoge un conjunto reducido de cubiertas del suelo y vegetación. Este tema se representa por primitivas superficiales y se divide en dos grupos:

- 01 Vegetación Natural.
- 02 Cultivos y Plantaciones.

- Nombres Geográficos (NG)

El tema de nombres geográficos incluye, por un lado, los nombres geográficos propiamente dichos y por otro los textos cartográficos que corresponden a los rótulos situados en la cartografía para la correcta representación del nombre geográfico, es decir, pueden coincidir o no con un topónimo o con una parte de él. Se divide en cinco grupos:

- 01 Topónimos.
- 02 Hidrónimos y otros.
- 03 Orónimos y otros.
- 04 Topónimos de Accidentes Costeros.
- 05 Edificaciones, Obras Públicas y otros.

Dados los temas a tratar y las geometrías en el modelo geográfico en este proyecto se ha elegido trabajar con 11 capas (ya que no todos los temas presentan las tres geometrías). De este modo, la empresa considera que la agrupación del trabajo en capas homogéneas por temas ayuda al control de calidad y a la gestión de archivos ya que se dispondrá de un número más manejable de productos. Además, al ser un producto generalizado a escala 1:200.000, el número de elementos, así como de vértices de los mismos, es más reducido con lo que los softwares de sistemas de información geográfica serán capaces de trabajar mejor con dichas capas.

En cuanto a la nomenclatura de las capas los 2 primeros caracteres (TT) hacen referencia al tema en que se encuentra el objeto geográfico y el último (G) al tipo de geometría de dicha entidad: punto (P), línea (L) o área (S). Como ejemplo, la capa del control geodésico se denominará CG_P.

Para realizar el proceso de generalización trabajaremos con las capas de manera separada. Las visualizaremos juntas en el área de trabajo cuando sea necesario, como por ejemplo para alinear las edificaciones a las carreteras, pero la mayoría del tiempo se trabajará por temas. En la imagen posterior se puede observar el espacio de trabajo de Microstation con varios temas como son edificaciones, relieve, o vías de comunicación y cada uno de ellos con sus correspondientes niveles, ya que además de esta primera clasificación inicial de las capas, cada una de ella contiene más subtipos. Como se puede ver en la imagen la vista está demasiado recargada para trabajar.

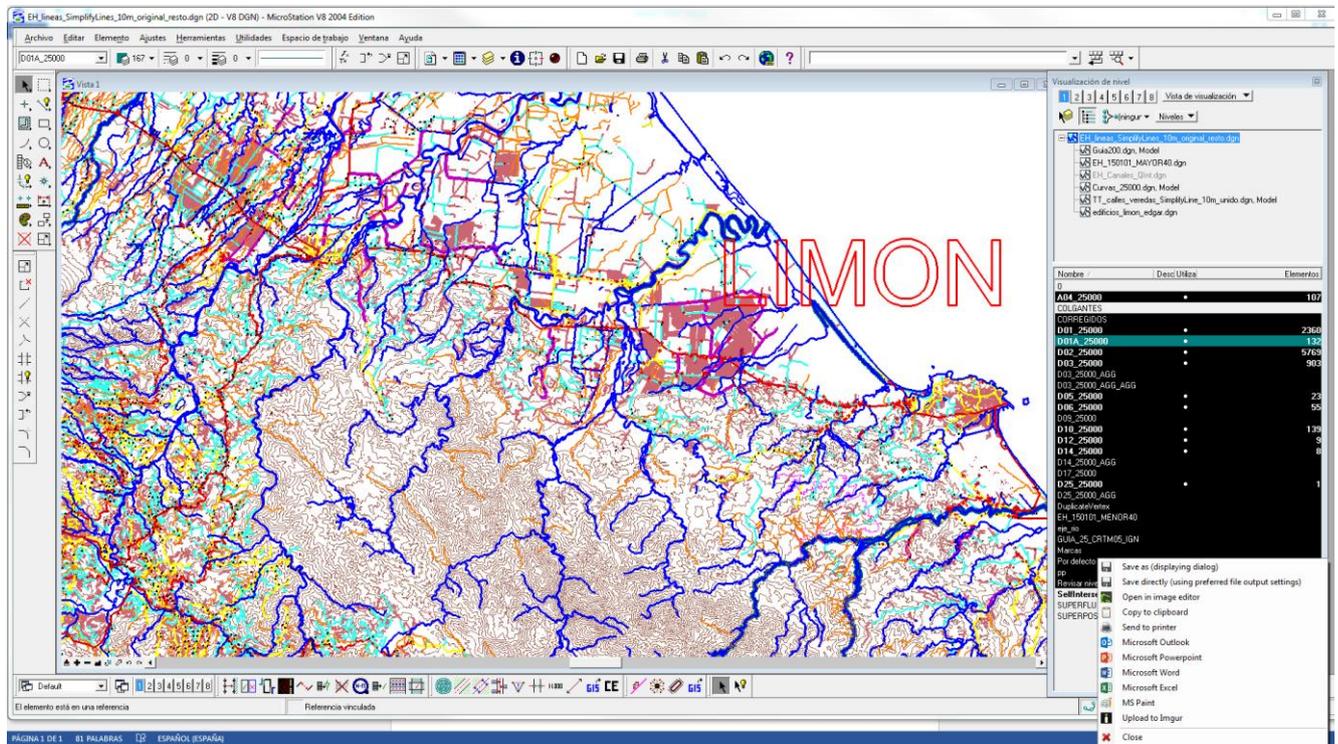


Figura: 16. Aspecto del espacio de trabajo en Microstation al visualizar varios temas.

Nombre /	Desc Utiliza	Elementos
C01_25000	•	20
C02_25000	•	437
C05_25000	•	1466
C09_25000	•	117
Por defecto		

Figura: 17. Niveles dentro del tema: Vías de comunicación.

5.2.2 Algoritmo de Douglas – Peucker.

La simplificación de los objetos geográficos lineales y poligonales se llevará a cabo empleando el algoritmo de Douglas-Peucker.

El algoritmo de Ramer–Douglas–Peucker (RDP) es un algoritmo para reducir el número de puntos utilizados en la aproximación de una curva. El objetivo del algoritmo es, dada una curva compuesta por segmentos, encontrar una curva similar aproximada con menos puntos. El algoritmo define una diferencia basada en la máxima distancia entre la curva original y la curva simplificada. La curva simplificada consiste en una reducción de los puntos que definían la curva original. La curva inicial es una lista ordenada de puntos o segmentos y un umbral de error $\epsilon > 0$.

El algoritmo construye una aproximación de la curva inicial mediante un proceso recursivo. Se toma como solución inicial el segmento que une los dos puntos extremos de la curva. Entonces, se busca el punto más alejado de dicho segmento (peor punto).

Si el peor punto está más cerca del segmento que el umbral de distancia ϵ , entonces se termina el proceso. Es seguro que el resto de puntos de la curva están a menor distancia que el umbral ϵ , y por lo tanto todos los puntos de la curva (salvo los extremos) pueden ser descartados.

Si el peor punto está más alejado que ϵ , entonces ese punto debe permanecer en la simplificación. El algoritmo hace dos llamadas recursivas a sí mismo para calcular la aproximación de dos curvas de menor longitud. Una con los puntos entre el primer y el peor punto y otra con los puntos entre el peor punto y el punto final de la curva.

Cuando se completa la recursión la nueva curva puede ser generada a partir de los puntos que han permanecido tras haber aplicado el algoritmo.

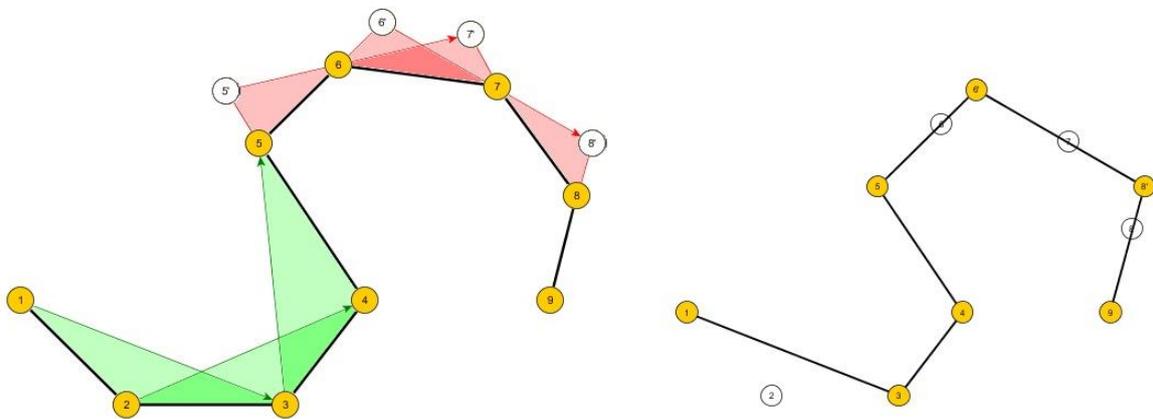


Figura: 18. Ejemplo de aplicación del algoritmo Douglas - Peucker. Fuente: Douglas, D. Peucker, T K. (1973) “Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitalized line or its caricature”.

Resumiendo, para este caso, su funcionamiento consiste en deshacerse de todos los puntos que se encuentren a una distancia menor que cierta tolerancia de la línea que une los puntos inicial y final de la línea a simplificar. Para la cartografía 1:200.000 se empleará una tolerancia de 10 metros.

5.3 Capas generalizadas.

La carga de trabajo de este proyecto de generalización se ha dividido primeramente por hojas del mapa topográfico de Costa Rica y a continuación se ha trabajado en cada una de esas hojas con las diferentes capas o temas a generalizar. Posteriormente estas capas se unen dando lugar al mapa completo con todo el territorio y con todos los elementos generalizados.

5.3.1 Elementos hidrográficos

El tratamiento de los elementos relativos la hidrografía ha sido una de las tareas más costosas a la hora de llevar a cabo este proyecto. En primer lugar, por tratarse de un país que cuenta con una red hidrográfica extensa, la cual se encuentra distribuida en varias vertientes, delimitadas naturalmente por sistemas montañosos y que alberga un sinnúmero de arroyos y formas hidrológicas menores que también tienen que ser analizadas.

En este proyecto se han tenido en cuenta las siguientes entidades hidrográficas:

Tabla 3. Entidades hidrográficas en la nueva cartografía.

CÓDIGO	ENTIDAD
150101	LÍMITE DE AGUA
150102	RÍO
150103	QUEBRADA
150108	YURRO
150110	CAÑO
150201	LAGO O LAGUNA
150202	LAGUNA INTERMITENTE
150203	EMBALSE
150205	PANTANO

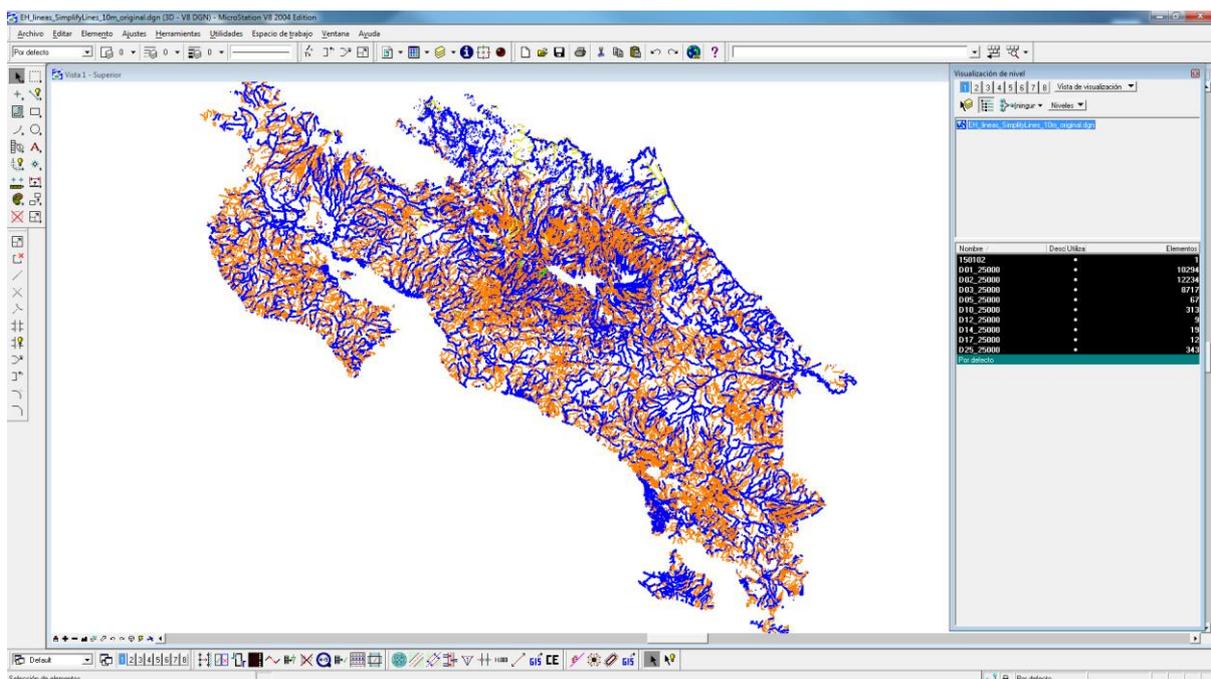


Figura: 19: Vista de los niveles de la red hidrológica en el DGN de la hidrología

Para llevar a cabo la generalización de los elementos hidrográficos se ha utilizado primeramente arcGis para realizar la simplificación y suavizado de líneas. El proceso consta de tres partes:



En un primer momento, se ha procedido a simplificar las líneas. Este proceso se ha realizado para todos los elementos lineales como curvas de nivel, carreteras, etc. Para ello se han utilizado la herramienta de la arcToolBox: Simplify lines, que nos da la opción de lanzar en batería si pulsamos la opción “Batch” y así podremos realizar el mismo proceso para diferentes capas.

Tras esto, ya podemos comparar la línea original en color marrón, con la nueva línea simplificada, en color verde oscuro, que es la que esta seleccionada en la siguiente imagen.

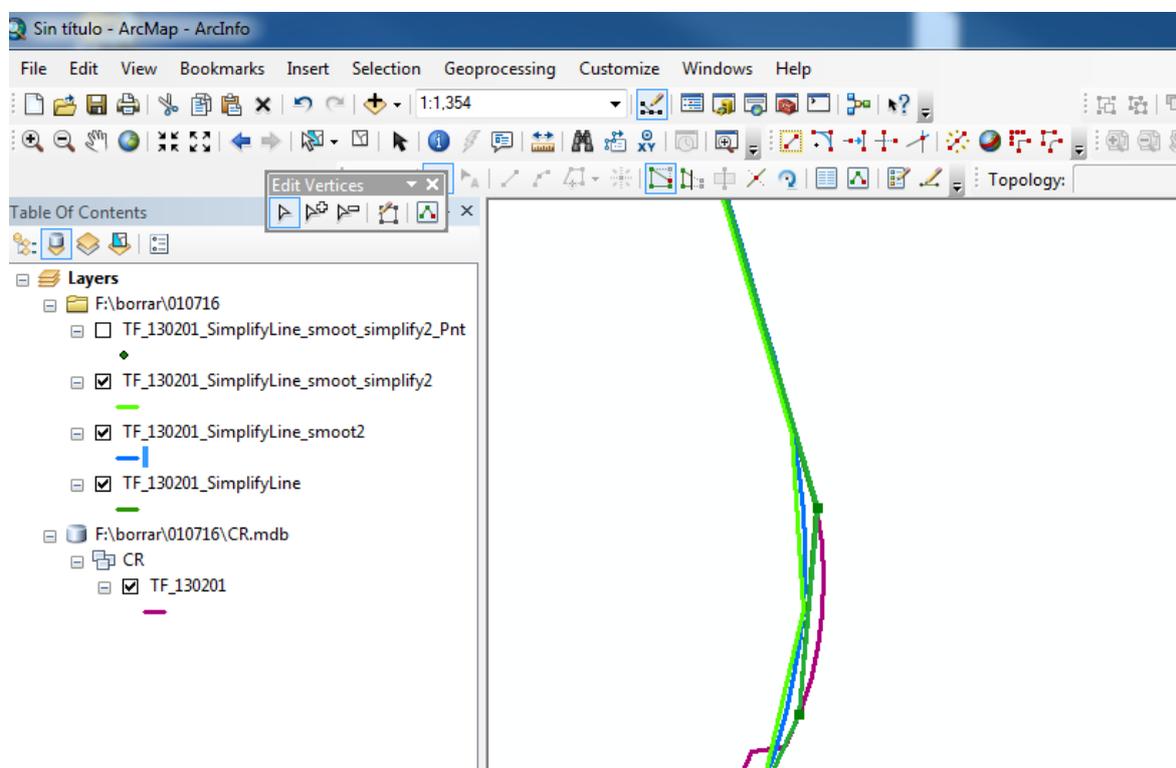


Figura: 20. Comparación de la línea original y la nueva línea simplificada.

Esta simplificación conlleva una reducción del número de vértices, pero en ocasiones hay lugares como ríos con muchos meandros, en los que este proceso da lugar a formas demasiado puntiagudas, por lo que es necesario realizar un suavizado para que el trazado de la línea se asemeje lo más posible a la entidad que representa. En este caso un río o arroyo. Por este motivo se realizará a continuación el proceso de suavizado.

En esta segunda parte del proceso, se realizará suavizado de los ángulos cerrados en líneas para mejorar la calidad estética o cartográfica. Mediante la herramienta Smooth Line, y con una tolerancia de 100 metros, aplicamos a todas las líneas.

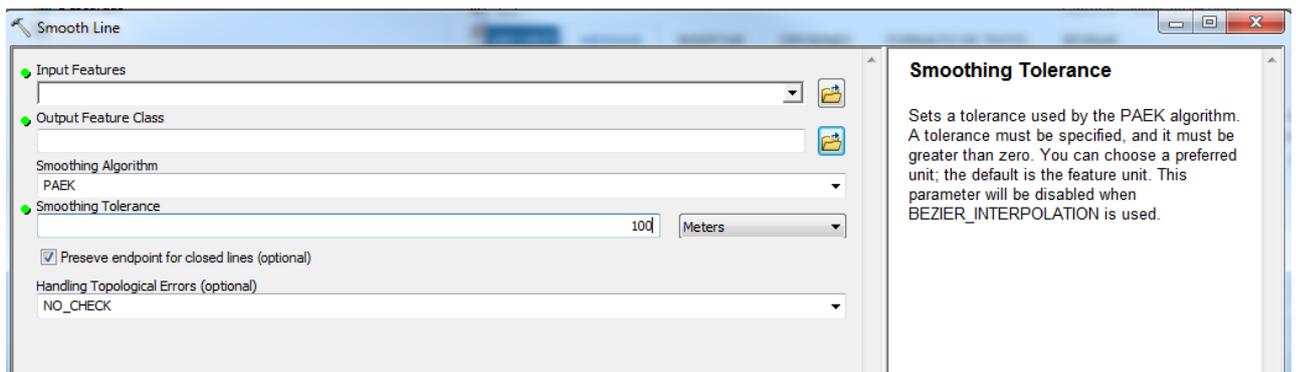


Figura: 21. Vista de la herramienta de suavizado en ArcGis.

En la siguiente imagen podemos observar como la nueva línea simplificada y despues suavizada (en color azul), a pesar de que marca un trazado más suave, contiene demasiados vértices. Este exceso de vértices viene del proceso que suaviza las líneas en función de una tolerancia de suavizado. Cada línea suavizada puede tener más vértices que la línea de origen. Y el el parámetro Tolerancia del suavizado controla la longitud de una ruta "en movimiento" que se utiliza para calcular los nuevos vértices. Este inconveniente, hace necesaria una última simplificación de las líneas para que sea más comodo el trabajo con ellas.

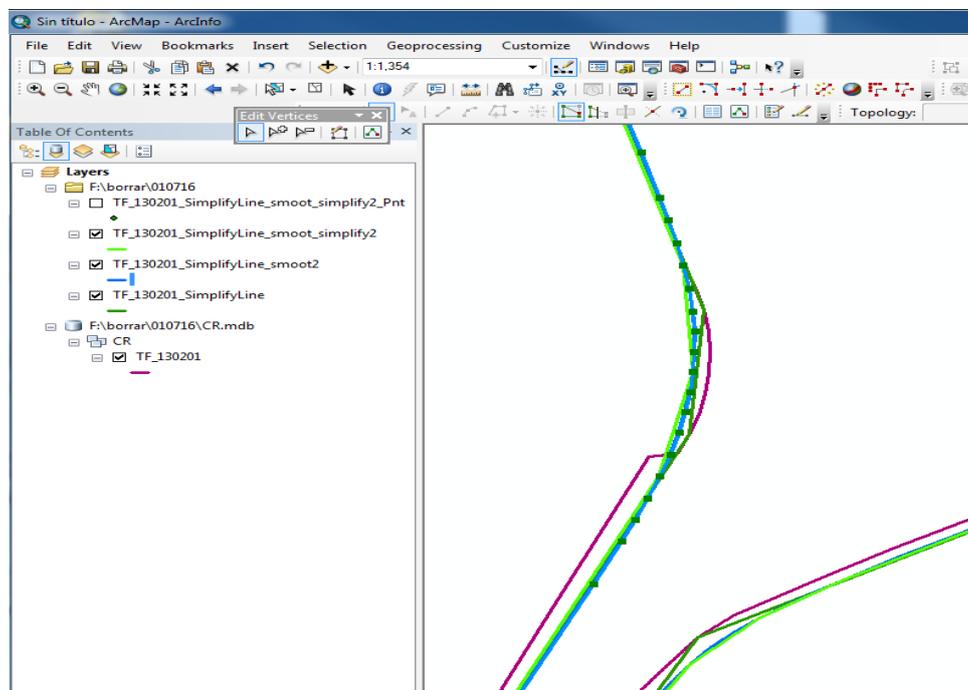


Figura: 22. Comparación de las líneas con la nueva línea simplificada y suavizada (En azul).

Finalmente, se concluye con un último simplificado que hará que la línea conserve su trazado más suave e idóneo, pero que reducirá significativamente el número de vértices. Para ello, volveremos a utilizar la herramienta Simplify lines y aplicando una tolerancia de 2, este es el resultado. En la imagen podemos comparar el trazado de la línea original (en color marrón) con la línea final, resultante de todo el proceso (en color verde).

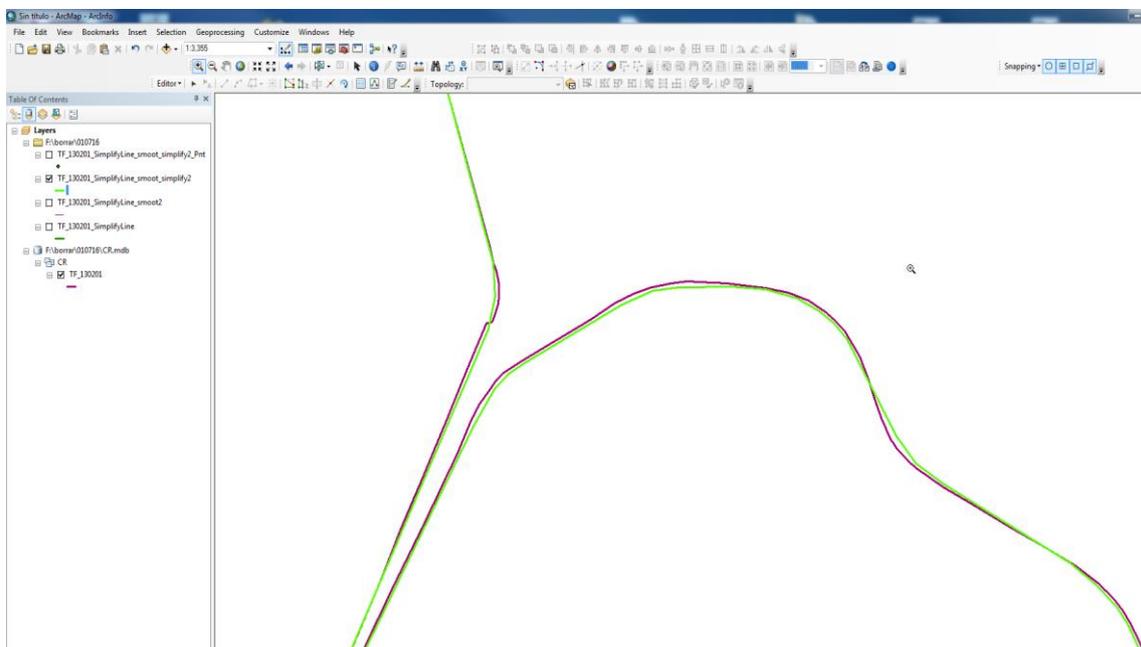


Figura: 23. Comparación del trazado original y el trazado después de todo el proceso.

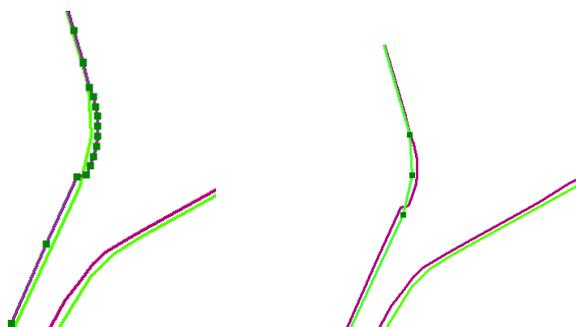


Figura: 24. Detalle del número de vértices en la línea original y en la línea tratada.

El proceso de generalizado de la red hidrográfica ha presentado una dificultad añadida ya que muchos de los ríos que en la escala 1:25.000 se representaban mediante formas poligonales, ahora, en esta escala 1.200.000 tienen que convertirse en formas lineales. La solución consistirá en trazar una línea central del eje del río en las formas poligonales y conectarlas con el resto de la red, eliminando así la figura poligonal y dejando el trazado como una línea.

Para realizar este proceso de conversión de polígonos a líneas volveremos a usar Microstation, concretamente el proceso Centerline. Se pasarán a representar como elementos lineales aquellos cuya anchura media sea inferior a 40 metros. Tras ejecutarlo, el programa realiza una línea central aproximada a lo largo del trazado del río. El trabajo ahora consistirá en revisar uno por uno los cientos de ríos para colocar el trazado de la línea central dentro de los márgenes del río, moviendo sus vértices.

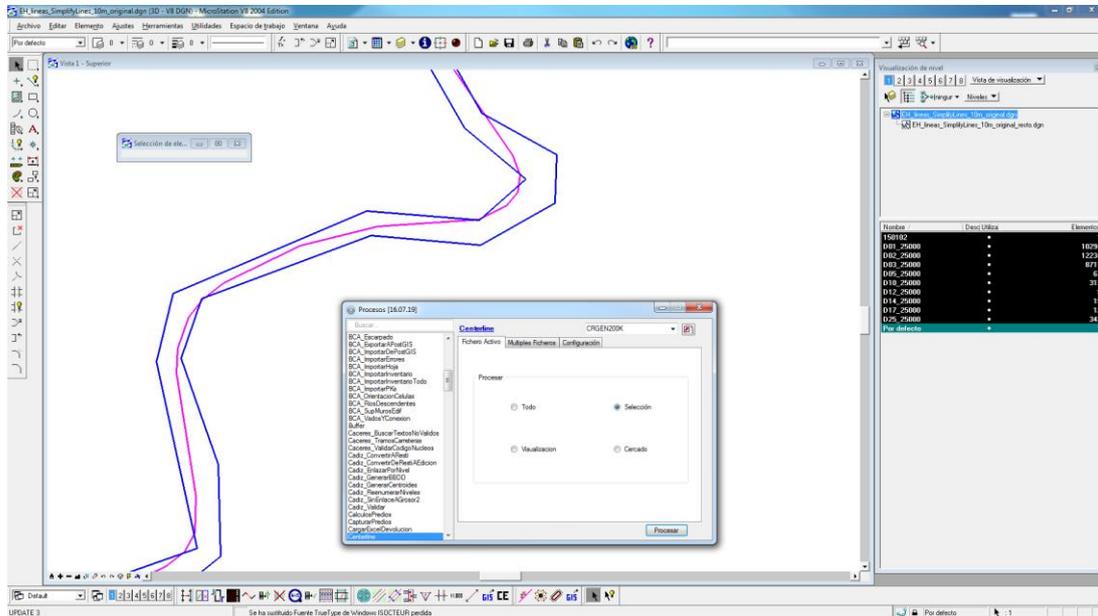


Figura: 25. Ejemplo del proceso: Centerlines

Una vez realizados los ejes centrales de cada río, se utilizarán las normas de topología para detectar auto intersecciones, eliminar vértices superfluos, superposiciones, y lo más importante, corregir colgantes. Esto último quiere decir que ningún río o arroyo puede quedar desconectado de la red por lo que se revisarán uno por uno para que todas las líneas y en especial las que se han creado nuevas en los ejes de los ríos, tengan conexión. Por su parte, se eliminan los elementos inferiores a 500 metros, siempre que no conecten con lagunas o embalses.

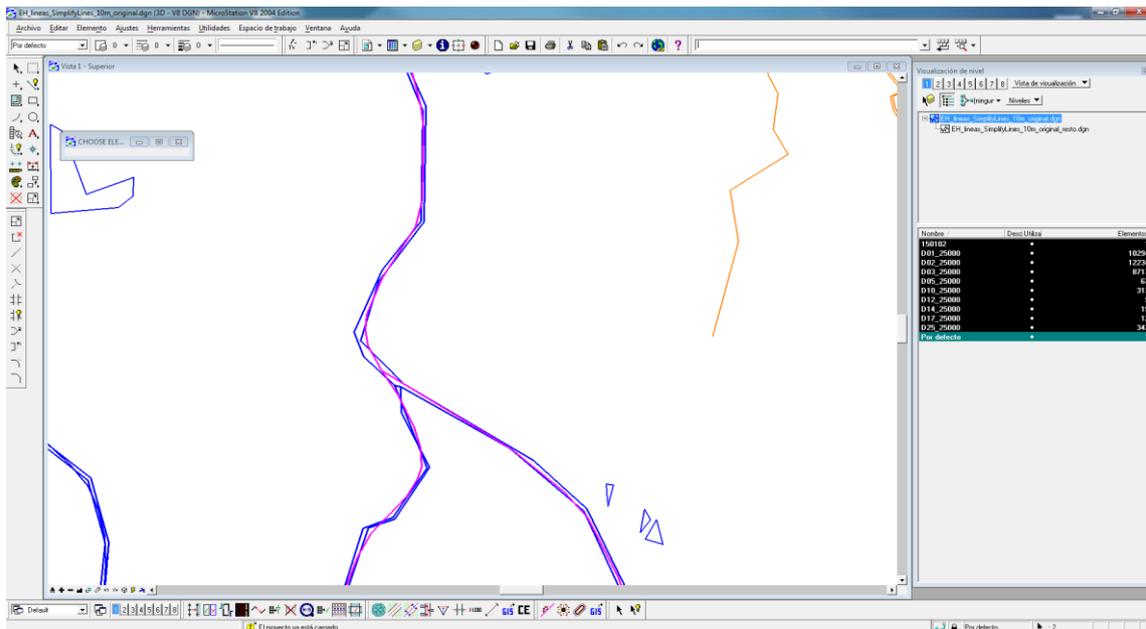


Figura: 26. Detalle de los nuevos ejes en una desembocadura.

En cuanto a las superficies de agua, como lagos, lagunas, etc., se mantienen como elementos superficiales y se simplifican reduciendo el número de vértices aplicando el algoritmo de Douglass-Peucker. Se agrupan los elementos contiguos y una vez agrupados, se eliminan los elementos cuya área sea inferior a 6400 m². Esta eliminación se puede hacer manualmente, consultando la tabla de atributos del nivel correspondiente a las lagunas y lagos y al ordenar por superficie eliminar las inferiores a la cantidad establecida como umbral.

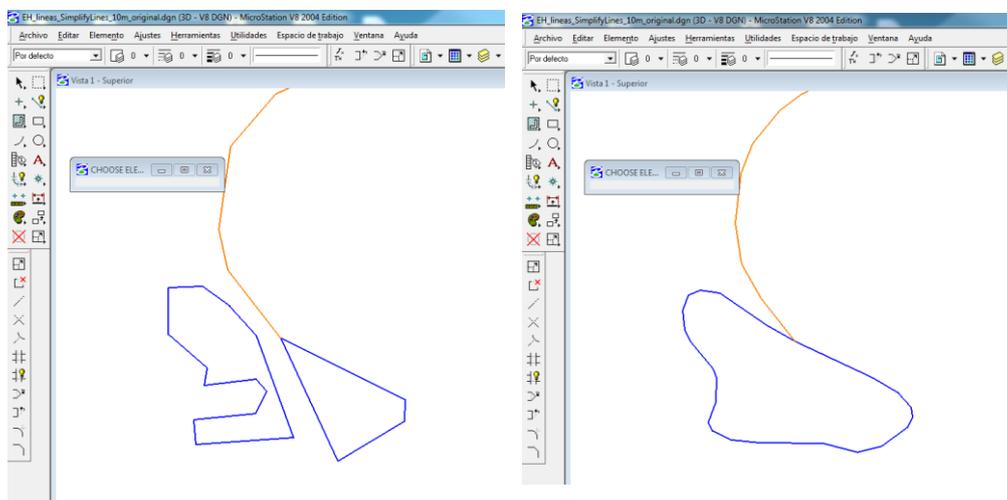


Figura: 27. Ejemplo del proceso de agrupación de lagos y lagunas.

Cabe señalar, para finalizar, que, en este proceso de generalización, hay unos elementos provenientes de la escala 1:25.000 que no tendrán representación a escala 1:200.000: Quebrada Intermitente (EH_150104), Canal (EH_150105), Acequia (EH_150107), Acueducto (EH_150109), Catarata (EH_150207), Depósito de Agua (EH_150209), Manantial (EH_150215), Piscina (EH_150216) y Pozo (EH_150217)

5.3.2 Control geodésico

Esta capa o tema hace referencia a los vértices o puntos geodésicos. Un vértice geodésico es un punto señalado en el terreno que indica una posición geográfica exacta conformando una red de triangulación con otros vértices geodésicos. La posición exacta de los vértices sirve para ayudar a elaborar mapas topográficos a escala, tanto nacionales como regionales. En este proyecto de generalización se han mantenido todos los vértices geodésicos incluidos en la cartografía 1:25.000, por tanto, no existe ninguna modificación.

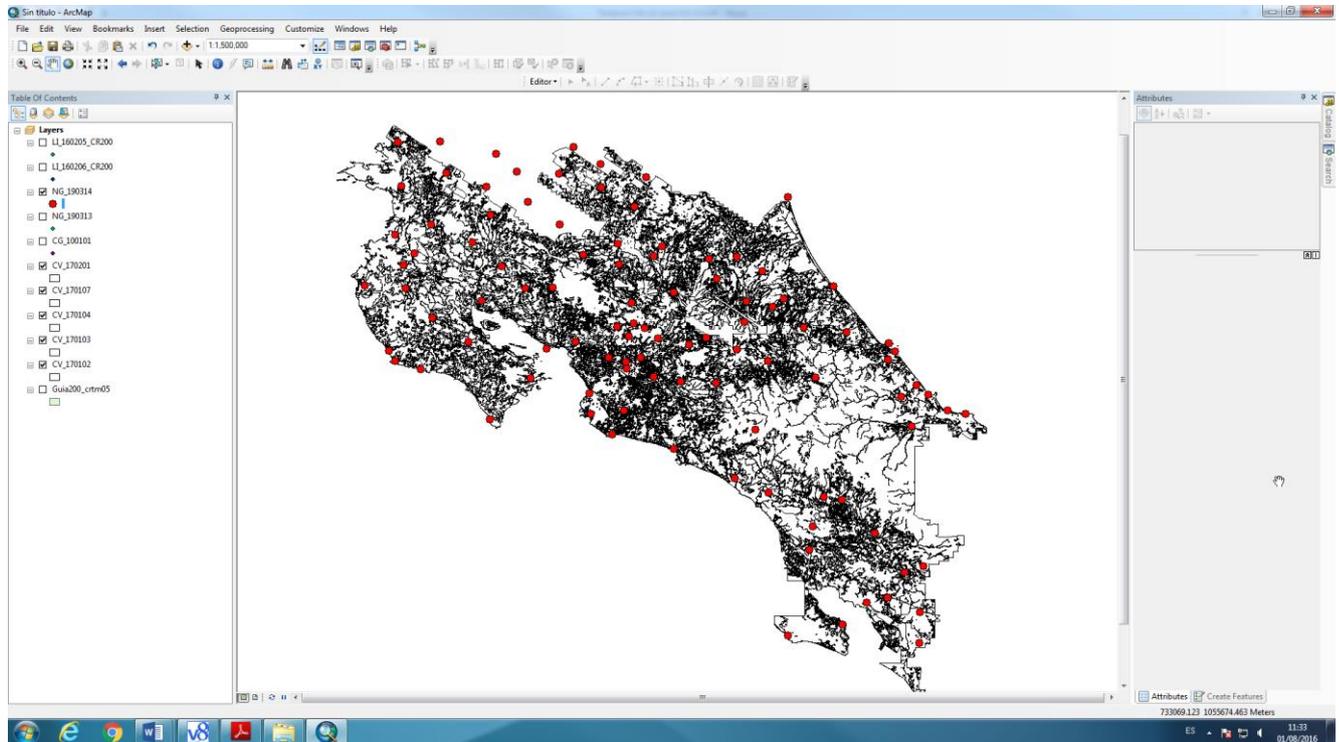


Figura: 28. Vértices geodésicos utilizados.

5.3.3 Relieve.

La capa de relieve se conforma por varios elementos, tales como curvas de nivel, línea de costa y elevaciones.

Las curvas de nivel son líneas imaginarias que unen puntos con la misma elevación con respecto al nivel medio del mar. La generalización de las mismas ha consistido simplemente en aumentar la equidistancia entre ellas. Nos encontraremos con curvas de varios tipos.

- Curva Índice: se indican y numeran en los mapas cada 25, 50 o más metros, según sea la escala del mismo. En este caso se generan cada 500 metros, con un suavizado acorde a la escala, a partir de la información de la cartografía 1:25.000 o de información proveniente de imágenes satélite.
- Curva intermedia: se indican cada 5, 10 o más metros, según la escala del mapa. Y al igual que la curva índice, se con un suavizado acorde a la escala y a partir de la información de la cartografía 1:25.000 o de información proveniente de imágenes satélite., pero en este caso, cada 100 metros.
- Curva suplementaria. Se indican como el valor medio entre dos curvas intermedias y pueden ser cada 2,5 o 5 metros, según la escala del mapa. Se generan cada 50 metros, con un suavizado acorde a la escala, en las zonas donde el terreno no quede bien definido con las curvas índice e intermedia solamente,

Por su parte, la línea de costa es la línea en la superficie de la Tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme. En este trabajo se mantienen todos los elementos de la cartografía 1:25.000, se simplifican reduciendo el número de vértices aplicando el algoritmo de Douglass-Peucker. Es decir, la línea de costa se ha mantenido igual que en la anterior cartografía, pero simplificando su trazo.

Finalmente, las cotas fotogramétricas de elevación: Son puntos de elevación extraídos de la compilación del relieve sobre el modelo fotogramétrico sin comprobar en el campo. Se generalizan reduciendo el número de puntos con respecto a la cartografía 1:25.000, manteniendo una distribución correcta para su representación cartográfica a la escala. Esta parte del trabajo se ha realizado utilizando Qgis y la labor ha consistido en reducir las cotas (Más de 18.000) para seleccionar solamente las que aportan una información más relevante. Se elegirán las cotas que se encuentren en picos elevados, en zonas de collado o de valle. También se intentarán repartir las cotas por las zonas llanas de una manera uniforme. Finalmente se han dado por válidas para la nueva cartografía un total de 234 cotas, por lo que la reducción es muy significativa.

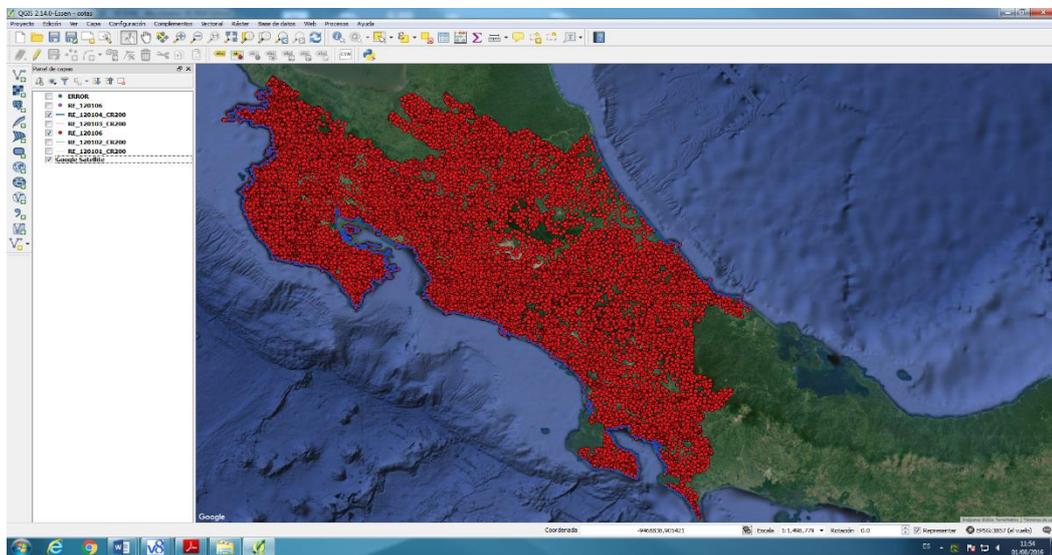


Figura: 30. Cotas de elevación iniciales.

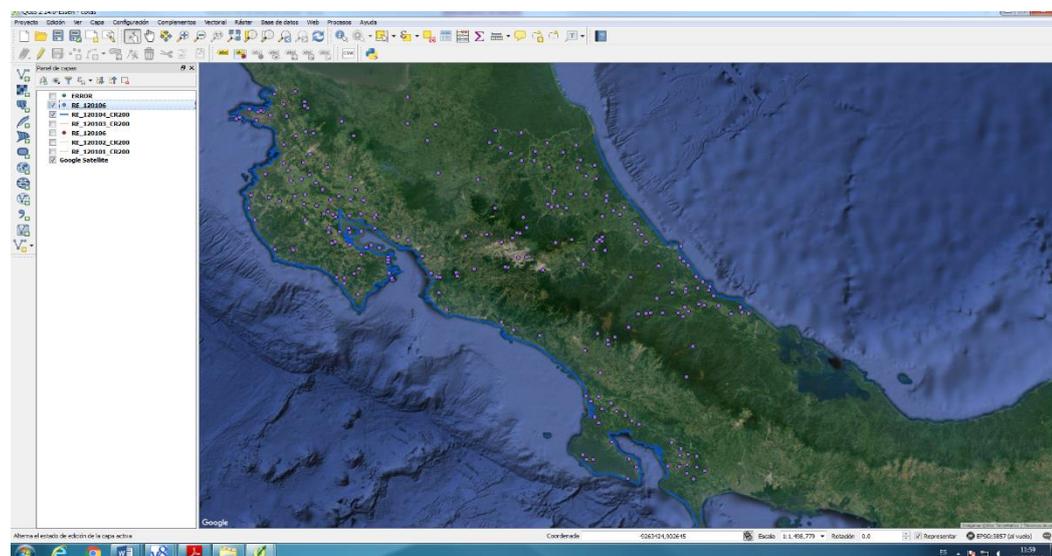


Figura: 29. Cotas de elevación tras el proceso de generalización.

5.3.4. Infraestructura vial y transportes.

La capa de infraestructura vial y transportes aglutina una gran cantidad de objetos, que han tenido un diferente tratamiento en función de la importancia de cada uno.

Las autopistas, las vías férreas y las carreteras con pavimento de dos vías, se mantendrán en su totalidad en la nueva cartografía a 1:25.000, no obstante, se simplificarán reduciendo el número de vértices mediante la aplicación del algoritmo de Douglass-Peucker. Por su parte, las carreteras con pavimento de una vía, o los caminos de tierra sufrirán la misma simplificación, pero se eliminarán los elementos cuya longitud sea inferior a 500 metros. Los objetos como pistas de aterrizaje, aeropuertos o estaciones ferroviarias, se representarán mediante elementos puntuales, así como los túneles, siempre y cuando se conserve el elemento lineal al que hace referencia.

El proceso de generalización para los objetos de mayor entidad ha sido idéntico al del realizado en la hidrografía, (Simplificado – Suavizado – Simplificado) con la particularidad de que en la infraestructura vial no existía ningún elemento poligonal, de modo que solo se ha trabajado con elementos lineales o puntuales. En la siguiente imagen se puede ver el resultado de la generalización, con los niveles representados en la nueva cartografía.

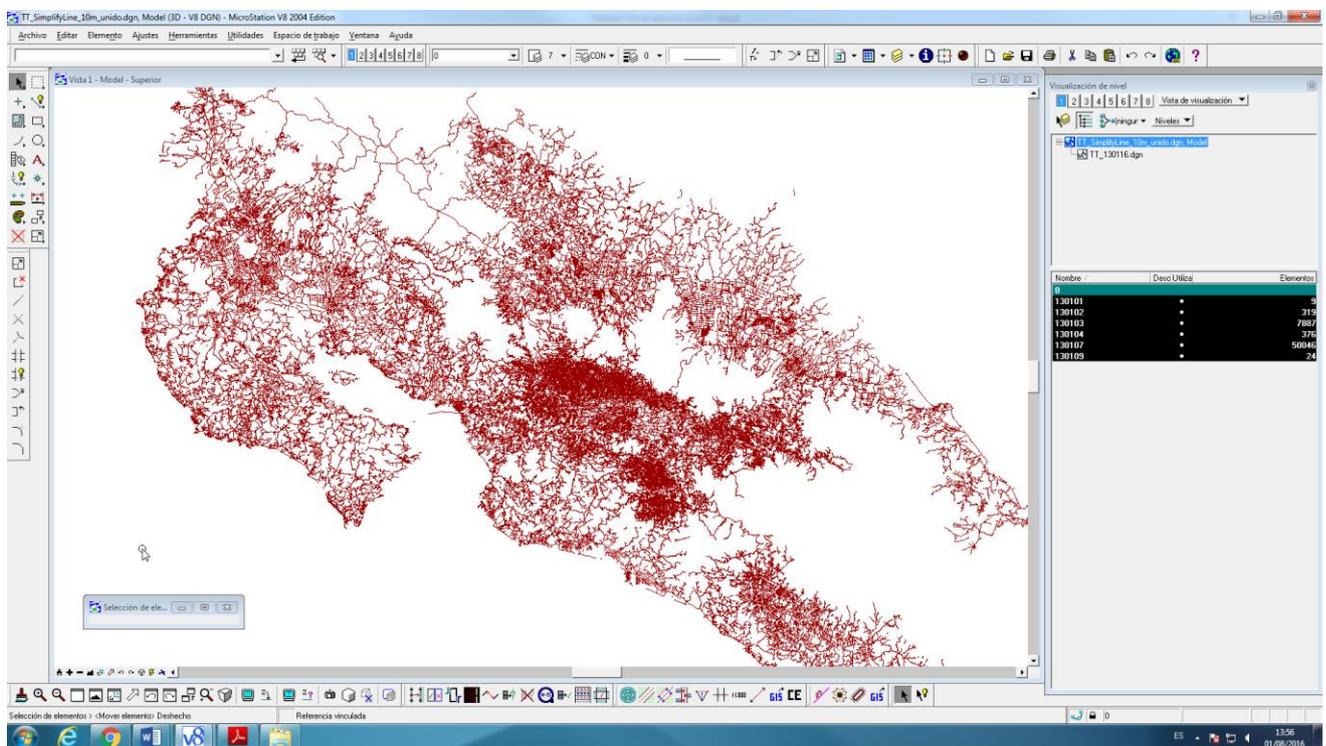


Figura: 31. Vista de la capa de infraestructura vial y transportes.

Los elementos eliminados en esta capa para la nueva cartografía son los siguientes: Patio Ferroviario (TF_130202) Desviadero (TF_130204) Puente Ferroviario (TF_130205) Paso a Nivel Ferrocarril (TF_130208) Paso Elevado Ferrocarril (TF_130209) Muelle (TM_130401) Calle de Centro Urbano (TT_130106) Vereda (TT_130108) Carretera en Construcción (TT_130109) Puente (TT_130111) Paso Elevado (TT_130113) Paso a Desnivel (TT_130114) Peaje (TT_130117) Vado (TT_130119).

5.3.5 Edificaciones y construcciones

Al encontrarnos ante una generalización donde transformamos la cartografía a una escala mucho menor (De 1:25.000 a 1:200.000), ciertos elementos como los edificios necesitan ser agrupados o mantener su simbolización solo en las zonas de mayor frecuencia.

En las siguientes imágenes podemos observar la cantidad de edificaciones antes y después del proceso de generalización. Ambas vistas se encuentran en la escala final (1:200.000) donde podemos ver que sería inviable mantener en la cartografía todas las edificaciones del mapa anterior, mucho más detallado.

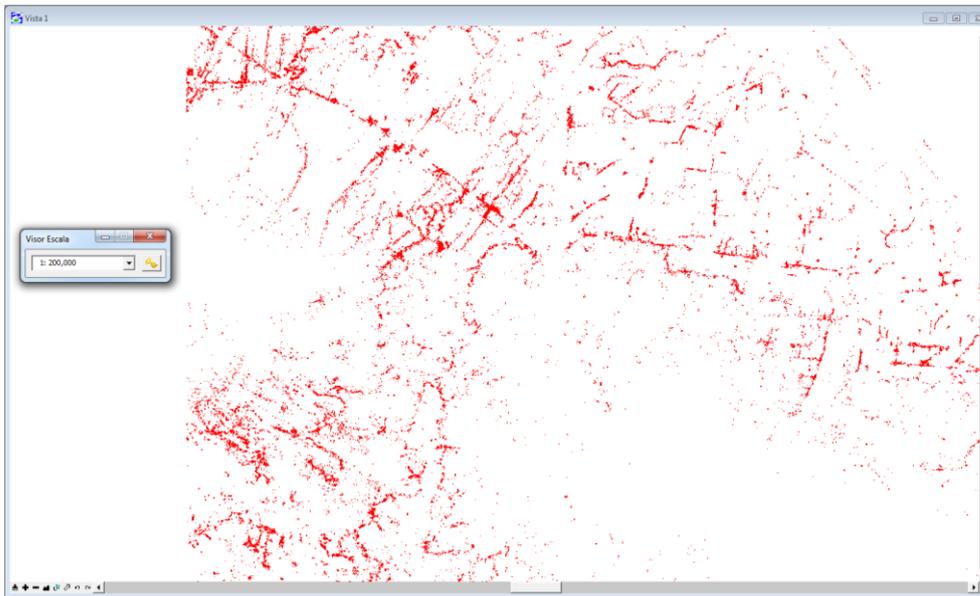


Figura: 32. Edificaciones en la cartografía antes de la generalización.

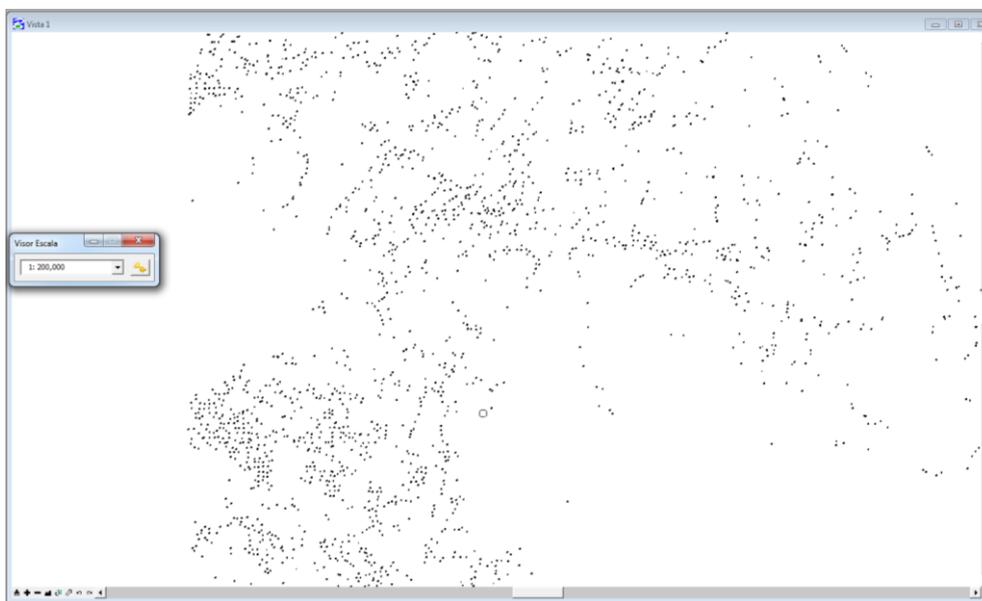


Figura: 33. Edificaciones en la cartografía tras el proceso de generalización.

El programa selecciona automáticamente las zonas donde se deben emplazar las nuevas edificaciones (Unas 3700 aproximadamente), que serán la representación del total de edificaciones que aparecían en la anterior cartografía. Estamos hablando de casi 65.000 elementos de forma poligonal que tienen que agruparse y simplificarse hasta quedar en un 7% de los elementos iniciales.

Aunque el programa realiza este proceso midiendo la cercanía entre los elementos y su distribución espacial para colocar las nuevas edificaciones, frecuentemente se producen errores, por lo que es necesaria la revisión manual. En la siguiente imagen se puede observar con más detalle el reemplazo de las edificaciones.

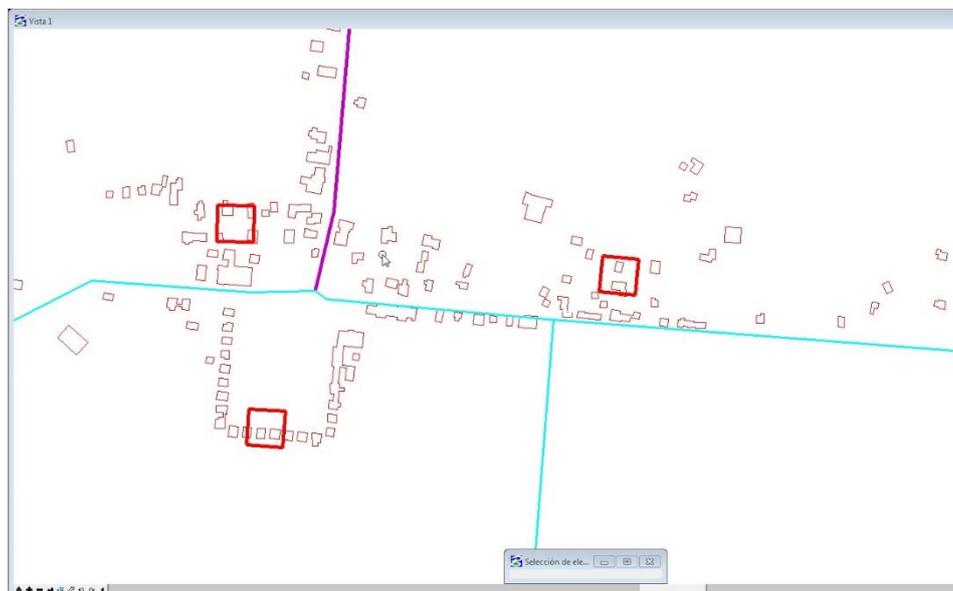


Figura: 34. Reemplazo de edificaciones en el proceso de generalización.

La metodología empleada en este tema es la siguiente: Los edificios se representan mediante elementos puntuales y se agrupan los que se encuentren a menos de 40 metros. Los que tengan una superficie menor de 250 m² y tengan en un buffer alrededor de 1 Ha un Área densamente construida se eliminan, pasando el resto de zonas a entidades puntuales.

En cuanto a las edificaciones religiosas se determina que se representen mediante elementos puntuales y se mantengan las basílicas, catedrales y sinagogas. El resto se pasa a edificio o casa independiente y se representan como elementos puntuales si no coinciden con zona densa.

En ocasiones este proceso automático coloca las nuevas edificaciones en zonas donde no hay ninguna edificación anterior. Estos nuevos elementos, de forma cuadrada, deben colocarse encima de zonas donde hubiera edificaciones en la cartografía anterior y además deben estar alineados con el elemento lineal más cercano, ya sea una carretera, un camino, un río, o un canal.

Todo esto requiere una exhaustiva comprobación manual donde cada nuevo edificio se comprueba y se cambia de nivel (Y por tanto de color, y grosor) una vez se encuentra en la situación y posición correctas. Esto quiere decir que se ha comprobado solo en las edificaciones y solo en esta hoja: 3700 elementos.

5.3.6 Límites.

Los límites provinciales, cantonales o distritales, han mantenido todos sus elementos de la cartografía 1:25.000, adaptándose a la escala de trabajo. Mientras que los límites de áreas específicas como minas y canteras, han pasado a representarse mediante un elemento puntual en la nueva cartografía

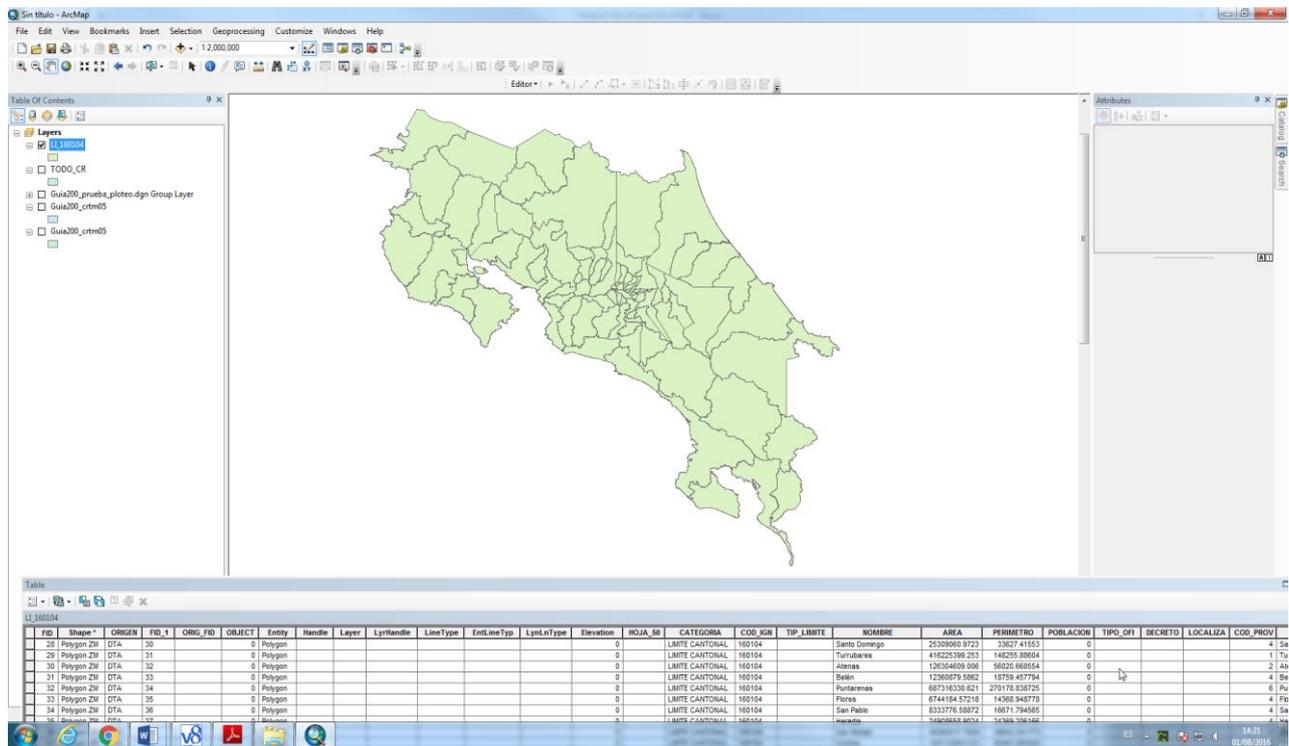


Figura: 35. Vista de los límites cantonales de Costa Rica.

5.3.7. Cobertura y usos del suelo.

Se realiza una simplificación reduciendo el número de vértices aplicando el algoritmo de Douglas-Peucker y manteniendo la topología entre coberturas. Se fusionan las coberturas próximas. Se eliminan las coberturas que no superen una superficie mínima de 2.5 Ha, englobándose en los cultivos que tengan en su proximidad. Finalmente, las categorías que tendrán representación en la nueva cartografía generalizada serán:

- Bosque
- Pastos
- Manglar
- Yolillal
- Cultivos
- Área densamente pobladas
- Área cultural
- Relleno Sanitario

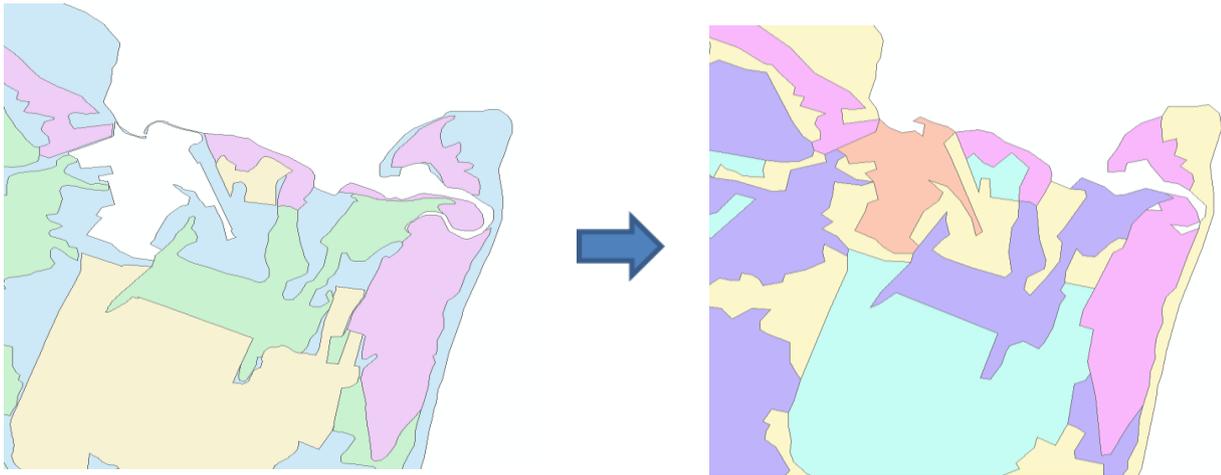


Figura: 36. Ejemplo de agrupación de coberturas terrestres en el proceso de generalización.

Tras realizar este proceso de agrupación y eliminación de las coberturas del suelo, la tarea más ardua ha sido la corrección de las topologías. Especialmente los solapes y huecos entre los diferentes polígonos de las coberturas. Solo en la hoja de Nicoya, el inspector de errores de Arcmap detectó más de 3.000 errores, casi todos referentes a la falta de continuidad entre los polígonos, es decir los huecos entre las coberturas del suelo. Estos errores tuvieron que ser reparados manualmente uno a uno, hasta que finalmente la hoja tuvo los diferentes polígonos en una continuidad perfecta sin huecos ni superposiciones. Como se puede observar en las imágenes, en esta capa se ha vuelto a utilizar software arcGis.

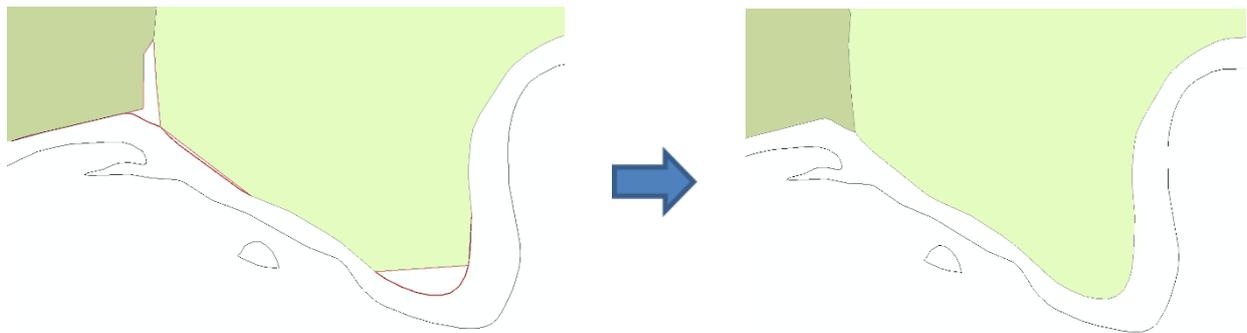


Figura: 37. Ejemplo de corrección de topologías en las coberturas terrestres.

5.3.8. Nombres geográficos.

La labor básica en cuanto a la capa de toponimia o de nombres geográficos ha sido la de ubicar cada etiqueta en su lugar correcto. En la mayoría de niveles se mantienen todos los elementos de la cartografía 1:25.000 y se eliminan los elementos duplicados, de modo que no se repita ningún nombre dentro de una misma hoja.

Para realizar este proceso se ha utilizado Qgis. En el panel de capas tenemos un total de 33 capas puntuales que representan cada una de las tipologías de topónimos, como: montaña, cerro, mar, océano... Por otra parte, también disponemos de 9 capas ráster que conforman las nueve hojas del mapa topográfico de costa rica. Éstas nos ayudaran a situar los topónimos en el lugar correcto y a comprobar que ninguno se repite dentro de una misma hoja.

Tan solo la capa de fincas/haciendas contiene 1960 elementos que han tenido que ser revisados uno por uno para comprobar que se encuentran en su ubicación exacta y que en ningún momento se repite ningún nombre.

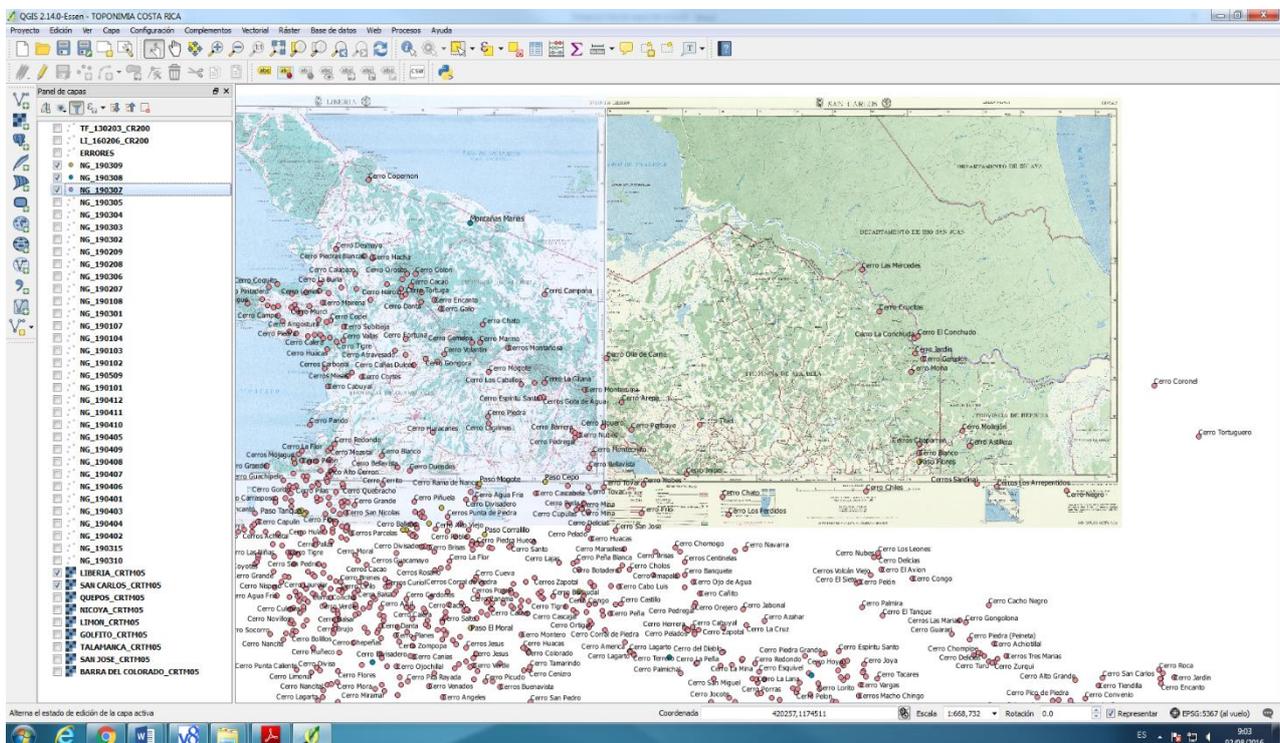


Figura: 38. Nombres geográficos de la capa "Cerros" sobre las hojas del mapa topográfico.

También en esta nueva escala de trabajo se han eliminado nombres geográficos que no tendrán representación en el 1:25.000. Son los siguientes: Barrio (NG_190105), Urbanización (NG_190106), Acequia (NG_190205), Catarata/Rápido (NG_190211,) Pozo (NG_190213), Depósito de Agua (NG_190214), Acueducto (NG_190215), Oleoducto (NG_190216), Vado (NG_190217), Universidad (NG_190503), Zona Industrial/Parque Industrial (NG_190504), Calle/Avenida (NG_190505), Puente (NG_190512).

Por su parte, hay otros topónimos que sí que tienen que repetirse, pero necesariamente no debe haber más de uno por hoja, como por ejemplo Océano Pacífico y Mar Caribe.

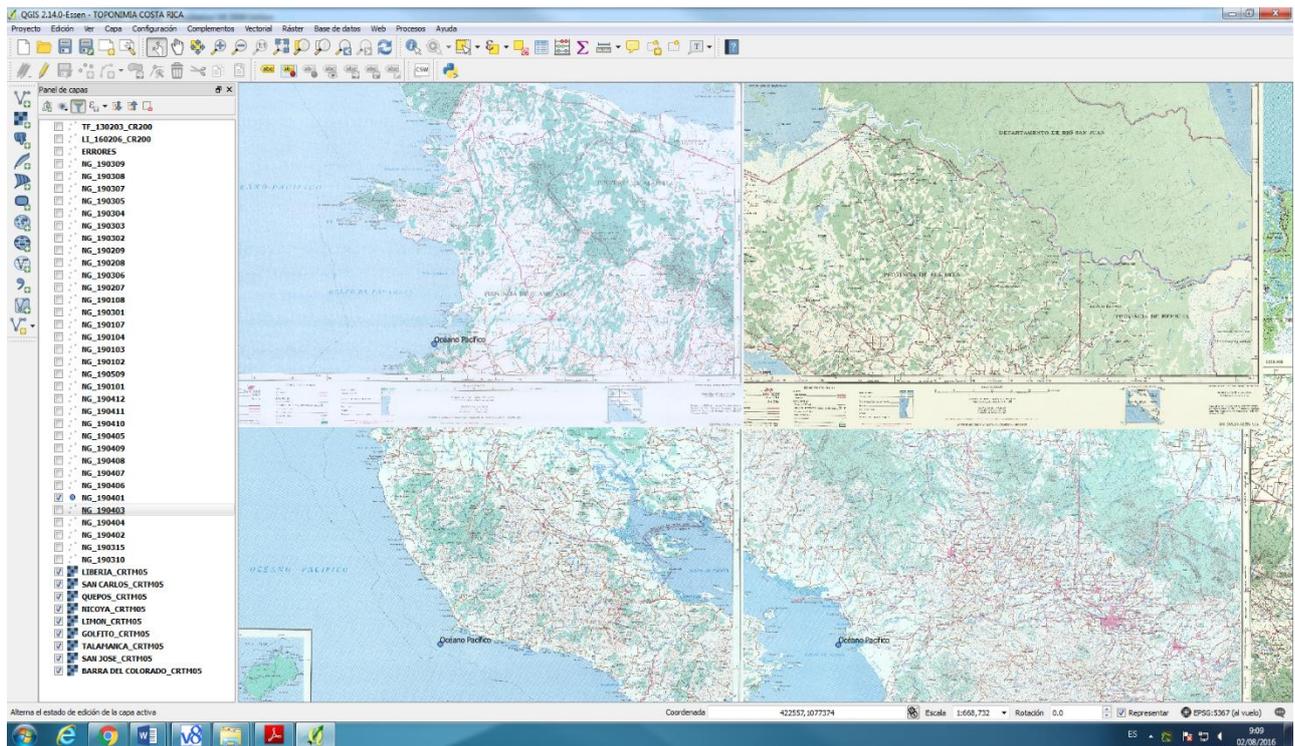


Figura: 39. Nombres geográficos de la capa: "Océano", colocados uno en cada hoja.

6. USO DE LA TELEDETECCIÓN EN LAS LABORES DE GENERALIZACIÓN.

6.1. Problemática y posibles soluciones.

Como se explicaba en la metodología del trabajo, en las zonas no cubiertas por la cartografía 1:25.000, estas se cartografiarán a partir de las siguientes fuentes, según su disponibilidad: Ortofotos o vuelos fotogramétricos recientes, cartografía reciente, imágenes satélite (Teledetección) ³o cartografía ráster proporcionada por la dirección técnica.

Lamentablemente en la realización de este trabajo se ha encontrado una dificultad añadida, ya que ciertas zonas de la geografía costarricense no pueden ser cartografiadas. El principal motivo de que estas zonas carezcan de cobertura fotográfica es la presencia casi constante de nubes. Esto dificulta enormemente la visibilidad del terreno necesaria para la digitalización de elementos cartográficos a partir de las mismas.

Tras una búsqueda exhaustiva, se recurre a las imágenes satélites. Se localizan una serie de imágenes que cubren dichas zonas y que tienen un porcentaje bajo de nubosidad. Estas imágenes tienen las siguientes características:

- Imágenes provenientes de satélite SPOT4 y SPOT5.
- Resolución de 10 o 20 metros.
- Tomadas entre los años 2010 y 2013.

El resto de alternativas han sido descartadas ya que actualmente se está llevando a cabo el proyecto de obtención de la cartografía 1:5.000 de todo el país, sin embargo, a día de hoy, el vuelo fotogramétrico para dicho proyecto no cubre la totalidad del territorio, siendo el solape del mismo con las zonas a cubrir prácticamente nulo. Por su parte, también se dispone de la cartografía ráster a escala 1:50.000 que cubre la totalidad del país. No obstante, se elaboró hace aproximadamente 50 años por lo que desaconseja su uso actual, limitándose su empleo a zonas en las que sea totalmente imposible conseguir otra fuente de información más reciente.

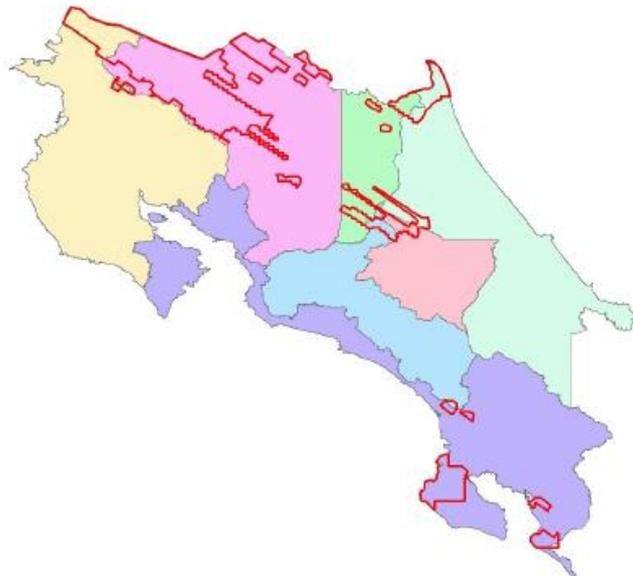


Figura: 40. Cartografía de Costa Rica con las zonas sin información señaladas en color rojo.

³ Teledetección aplicada a observación de la Tierra. Según Mather. P (2004) Es la interpretación y comprensión de medidas realizadas por instrumentos remotos de la radiación electromagnética reflejada desde o emitida por objetos en las superficies terrestres, oceánicas o glaciares de la Tierra o de la propia atmósfera

En definitiva, como se comentaba anteriormente se recurre e a la obtención de 14 imágenes SPOT para cubrir las zonas sin información de este proyecto, para una posterior digitalización de los distintos elementos cartográficos incluidos en el Modelo de Datos.

Se trata de imágenes provenientes de satélites SPOT, en color, con resoluciones de 10 o 20 metros, tomadas entre los años 2010 y 2013, proponiéndose el uso de imágenes con un Nivel 3 (Ortho) de pre-procesamiento. Este Nivel 3 (Ortho): consta de una puesta en proyección cartográfica a partir de puntos de apoyo y de un MDE emitido por Reference 3D para eliminar las distorsiones debidas al relieve.

Para la rectificación de los productos de nivel Orto, las imágenes se rectifican basándose en Reference 3D, base de datos geocodificados mundial, realizada a partir de las imágenes estereoscópicas emitidas por el instrumento HRS de SPOT 5. Esta base, constituida por una capa MDE (derivada de datos obtenidos por satélites ópticos que se fusionan con datos radar para cubrir zonas nubosas) y una alfombra de ortoimágenes completadas por una capa de datos de calidad, es desarrollada por Spot Image e IGN (Instituto Geográfico Nacional, Francia). Permite obtener una precisión de localización de 10 m. para una imagen de nivel 3.

Se estima que la adquisición de las imágenes propuestas permite cubrir el 80-90% de la cartografía de las zonas sin información, permitiendo la captura mediante digitalización de los objetos geográficos requeridos según el Modelo de Datos, con una precisión suficiente para la realización de cartografía a escalas 1:200.000 y 1:500.000:

- Para escala 1:200.000 de 20 m de error medio cuadrático y un error máximo menor o igual a 40 m. en el 95% de los puntos.
- Para escala 1:500.000 de 50 m de error medio cuadrático y un error máximo menor o igual a 100 m. en el 95% de los puntos.

Durante la realización de todo el proceso de generalización cartográfica, se ha trabajado al margen de estas zonas sin información. Durante estas semanas se ha ido generalizando el resto de la cartografía y más adelante, cuando se pueda hacer uso de las imágenes obtenidas, se podrán digitalizar estas zonas y unir con el resto.

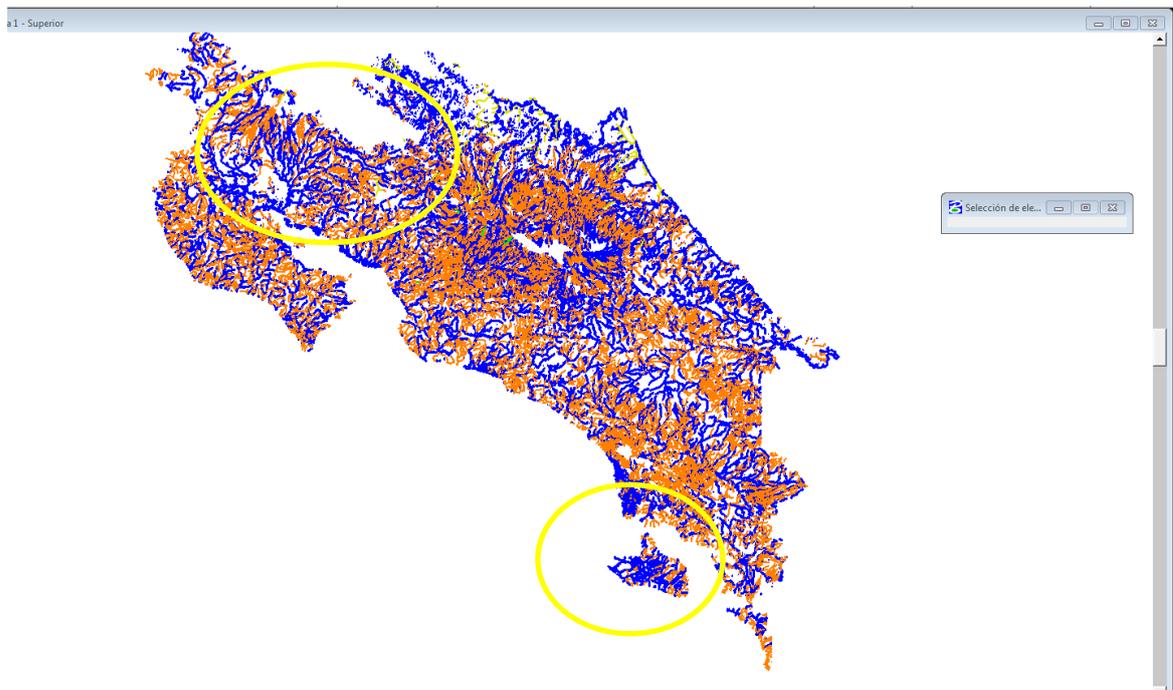


Figura: 41. Capa de elementos hidrográficos con los huecos de las zonas sin información.

6.2. Satélites SPOT

Para entrar en materia primero hay que situar los satélites SPOT dentro de su contexto. El nombre SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre: Satélite Para la Observación de la Tierra) programa desarrollado por el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales francés) en colaboración con Bélgica y Suecia. Está formado por una serie de satélites e infraestructuras terrestres para controlar y programar los satélites, así como para producir imágenes.

En cuanto a sus características orbitales, describe una órbita heliosíncrona a 832 km, inclinación de 98'7°, período orbital de 101 m; revisita de 26 días (2 ó 3 días).

Una de las grandes ventajas del sistema SPOT es su capacidad de desalineación de su instrumento de obtención de imágenes principal a ambos lados de la traza en tierra del satélite, de +31,06° a -31,06°. Éste proporciona una flexibilidad de adquisición muy elevada, en concreto reduciendo la repetitividad de adquisición (frecuencia temporal o frecuencia de revisita) hasta 2 o 3 días.

En este proyecto concretamente se utilizarán imágenes de SPOT 4 Y SPOT 5. Este último pertenece ya a su tercera generación de satélites. En la siguiente tabla se pueden observar las diferencias entre los satélites SPOT: las bandas espectrales para cada tipo de imagen, así como su resolución espacial.

Satélite SPOT	Imagen	Bandas espectrales	Resolución espacial (metros)
2	Pancromática (P)	1 (b/n)	10
	Multiespectral (X)	3 (verde, rojo e infrarrojo cercano)	20
4	Pancromática (M)	1 (b/n)	10
	Multiespectral (I)	4 (verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio)	20
	Compuesto a color (M+I)	3 (verde, rojo e infrarrojo cercano)	10
5	Pancromática (A)	1 (b/n)	5
	Pancromática (B)	1 (b/n)	5
	Pancromática (THR)	1 (b/n)	2.5
	Multiespectral (J)	4 (verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio)	10
	Fusión a color (F)	3 (azul calculado, verde y rojo)	2.5
6	Pancromática (C)	1 (b/n)	1.5
	Multiespectral (K)	4 (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano)	6
	Fusión a color (G)	3 (azul, verde y rojo)	1.5

Figura: 42. Características de cada satélite SPOT.

6.3 Obtención de las imágenes satélite

El primer paso para obtener las imágenes del satélite SPOT que necesitamos ha sido entrar en la página de Airbus, desde la que accedemos a la GeoStore.

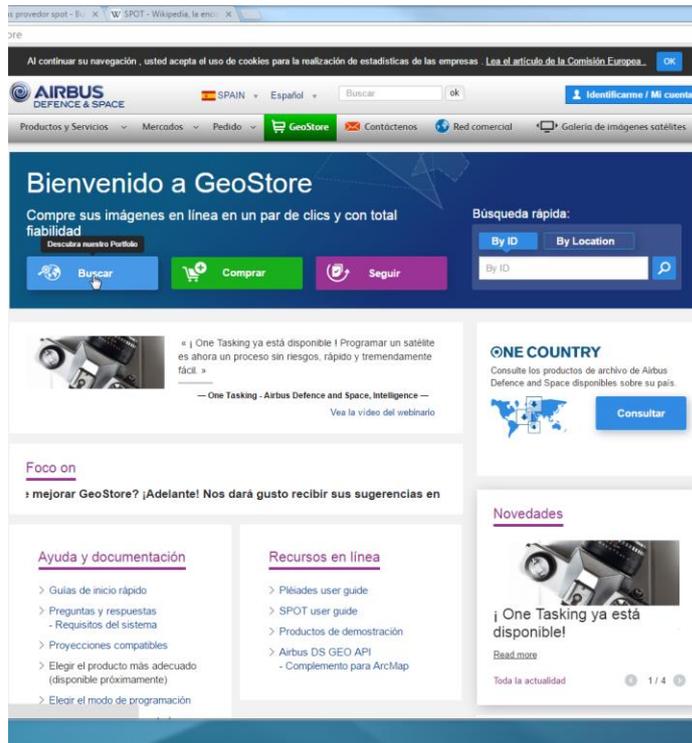


Figura: 43. Vista de la GeoStore de Airbus.es

Una vez allí, podemos dibujar mediante las herramientas que nos ofrece el visor, la zona de interés para que a continuación se nos muestren todos los productos disponibles.

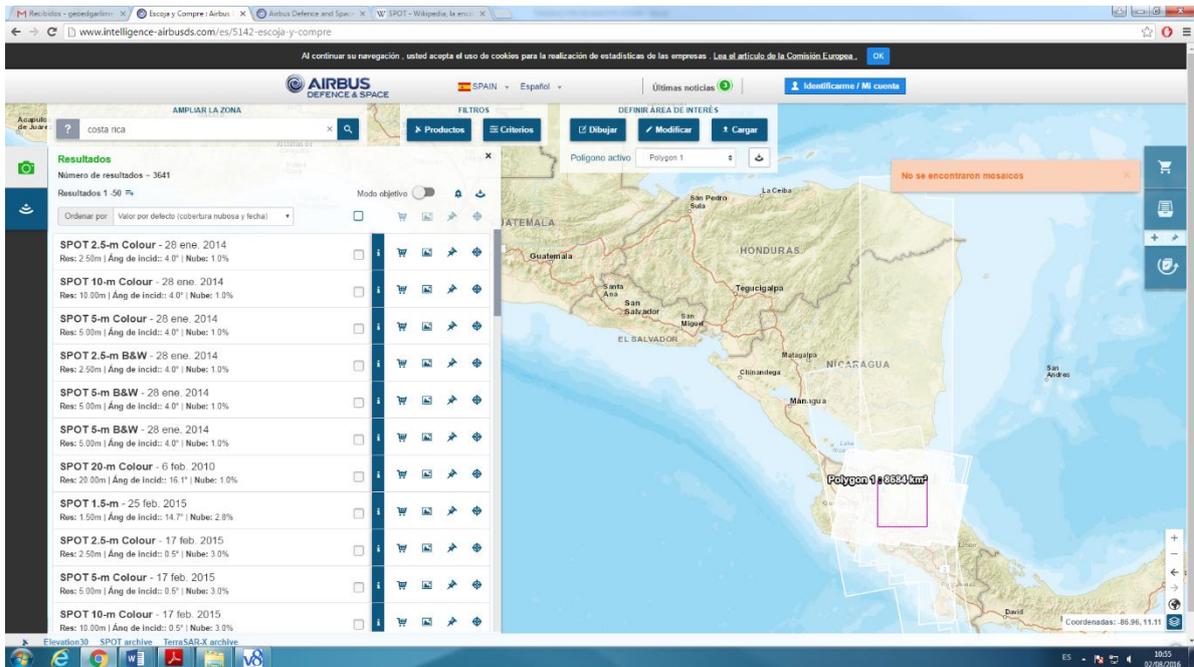


Figura: 44. Visor web de la Geostore de Airbus y los productos que ofrece para el área seleccionada.

Otro aspecto relativo a la búsqueda de imágenes y que ha sido relevante a la hora de la elección han sido los criterios de búsqueda que nos permiten agilizar el proceso y obtener de una manera más sencilla la imagen que se necesita. En este caso ha tenido mucha importancia la posibilidad de limitar la cobertura nubosa en los diferentes productos para llegar antes a encontrar uno que nos sirva en nuestro trabajo.

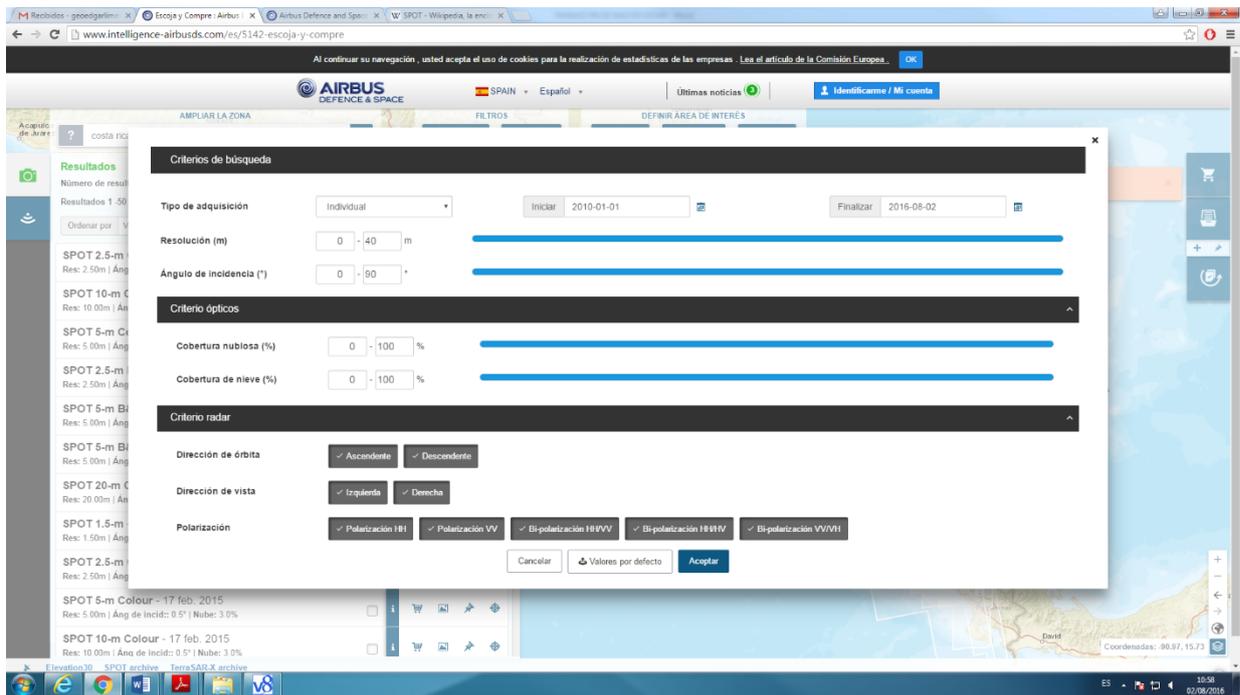


Figura: 45. Criterios de búsqueda de imágenes en la Geostore de Airbus.

Una vez definidas las imágenes que queremos obtener, la página nos ofrece la posibilidad de realizar una descarga en KMZ y poder ver las imágenes colocadas en la zona mediante google Earth.

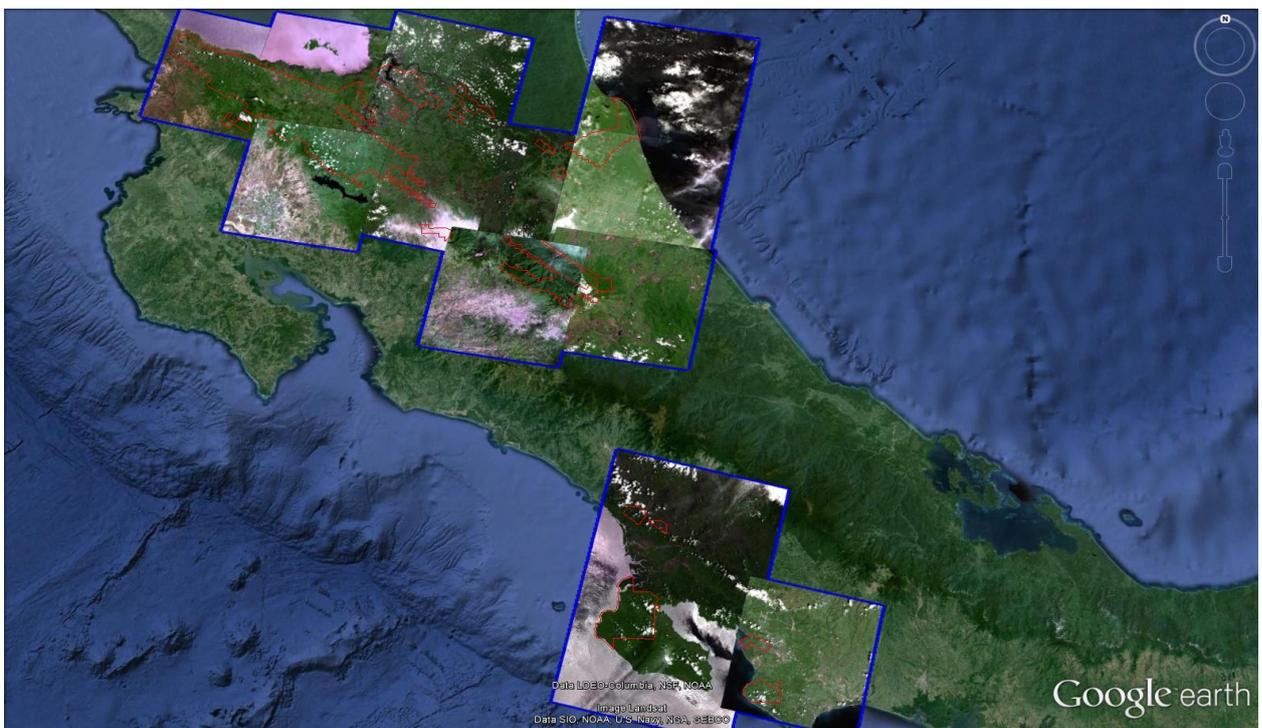


Figura: 46. Imágenes SPOT elegidas, visualizadas en Google Earth.

En algunas zonas incluso ha sido necesario obtener dos imágenes de la misma zona, pero de momentos diferentes para sortear la cobertura nubosa y hacerlas útiles para este trabajo.

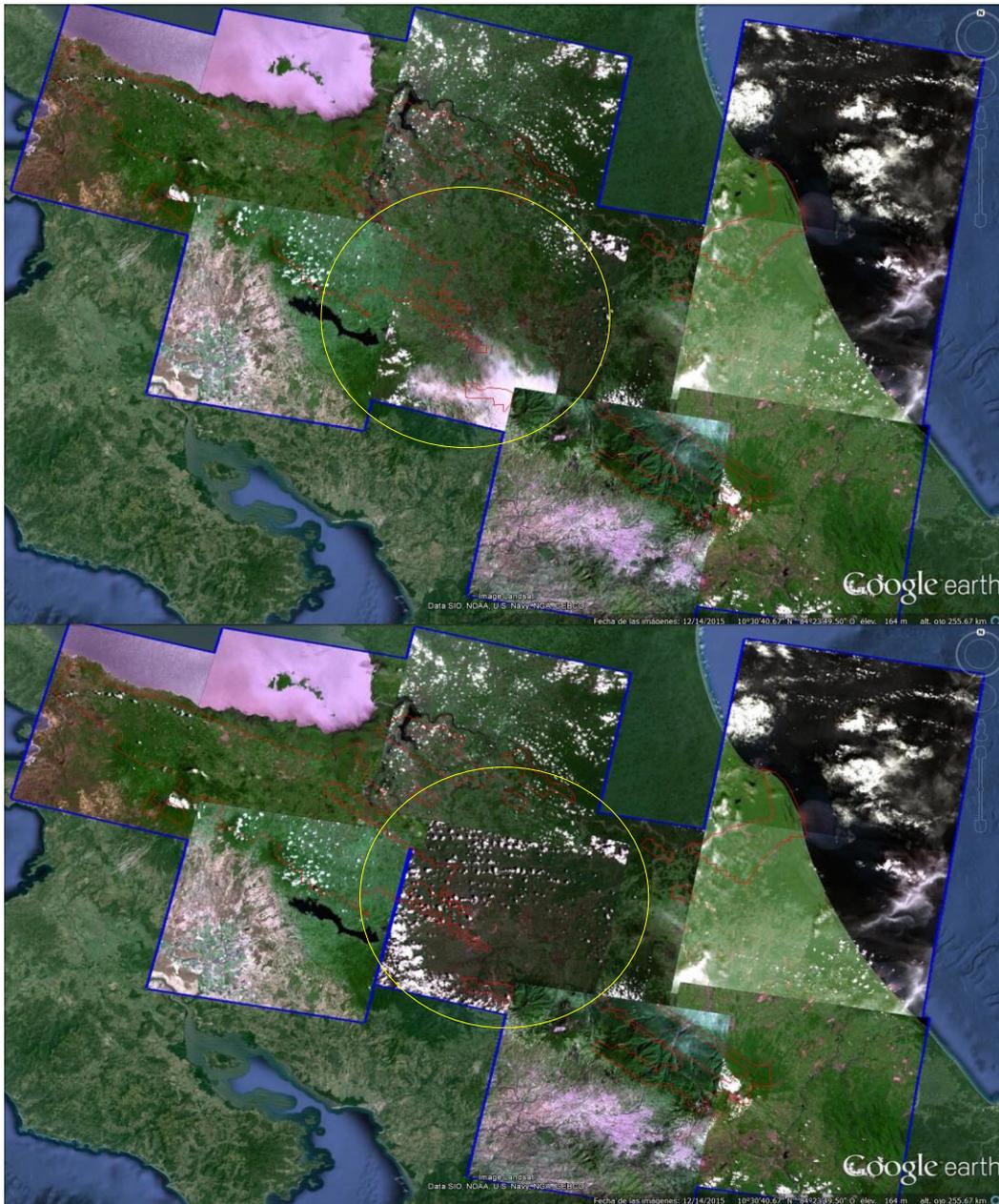


Figura: 47. Imágenes SPOT de la misma zona pero capturadas en momentos diferentes.

La compra final constará de 7 imágenes Spot 5 con 4 bandas multiespectrales, 10 m de resolución y ortorrectificadas (Nivel 3) con fechas de adquisición:

- 2010-09-09(2x)
- 2011-04-14
- 2012-01-16
- 2012-03-02
- 2013-03-06-(2x)

Y otras 7 imágenes Spot 4 con 4 bandas multiespectrales, 20 m de resolución y ortorrectificadas (Nivel 3) con fechas de adquisición:

- 2010-02-06
- 2010-04-04
- 2010-10-07
- 2011-04-14
- 2011-10-130(2x)
- 2012-06-23

La adquisición de estas imágenes SPOT supondrá para la empresa un importante desembolso económico ya que el presupuesto enviado por el distribuidor a partir de la elección de las imágenes, supera los 11.000 euros. No obstante, esta compra es parte imprescindible del proyecto ya que las imágenes permitirán cubrir el 80-90% de la cartografía de las zonas sin información, permitiendo la captura mediante digitalización de los objetos geográficos necesarios, que habrá que casar perfectamente con los digitalizados con anterioridad, con una precisión suficiente para la realización de cartografía a escalas 1:200.000 y 1:500.000:

7. MAQUETACIÓN DE LAS HOJAS CARTOGRÁFICAS.

La última fase de este proceso de generalización cartográfica consiste en la maqueta de la cartografía final. Esta cartografía resultante, a escala 1:200.000 se entregará por hojas, según la distribución por hojas 1:200.000 aportada por el Instituto Geográfico Nacional en formato SHAPEFILE 2D, y en archivo continuo para todo el país en formatos SHAPEFILE 2D y GEODATABASE. Para llegar a obtener este producto final, tendremos que aplicar una serie de retoques y correcciones que mayoritariamente se han realizado mediante arcGis. Personalmente he intervenido en varios:

A la red fluvial, por ejemplo, se le han ajustado las etiquetas de los topónimos de manera que el nombre del objeto siga una forma acorde al recorrido del mismo. La etiqueta tampoco debe superponerse con otras etiquetas ni con el objeto al que hace referencia. En la imagen siguiente, se modifica la etiqueta del Río Andamajo para que siga su trayectoria. En algunos casos estas modificaciones son muy leves pero en otros, son necesarias para la completa legibilidad de la cartografía final. Para los elementos hidrográficos se modificó la colocación de las etiquetas de una en una en un proceso que duró varios días.

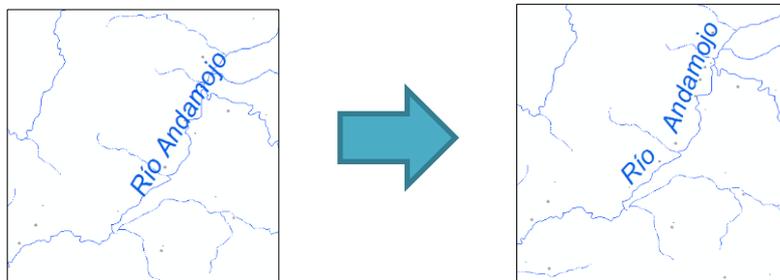


Figura: 48. Modificación de la posición de etiquetas en el maquetado final.

Los elementos del relieve por su parte, también han necesitado ciertas modificaciones, por ejemplo, las etiquetas de las curvas de nivel, que deben situarse encima de la curva, lo más perpendicularmente posible y cortando la curva.

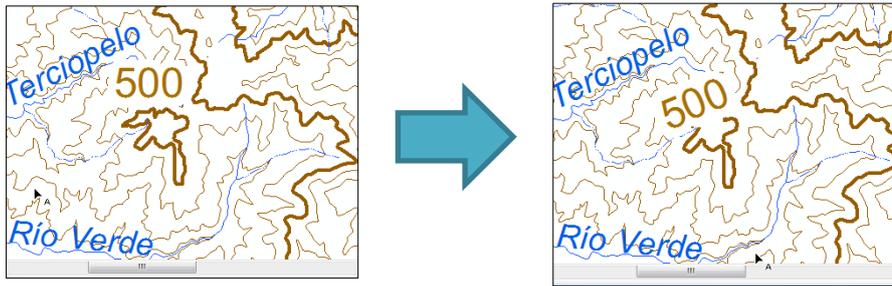


Figura: 49. Modificación de la posición de etiquetas en el maquetado final.

A medida que se visualizan juntas todas las capas y el proceso de maquetado avanza, se puede observar como cada vez, la cartografía se asemeja más a lo que será el resultado final. A continuación, se muestra una captura de una de las primeras entregas de muestra que se realizó al cliente, concretamente la hoja de la región de Nicoya.

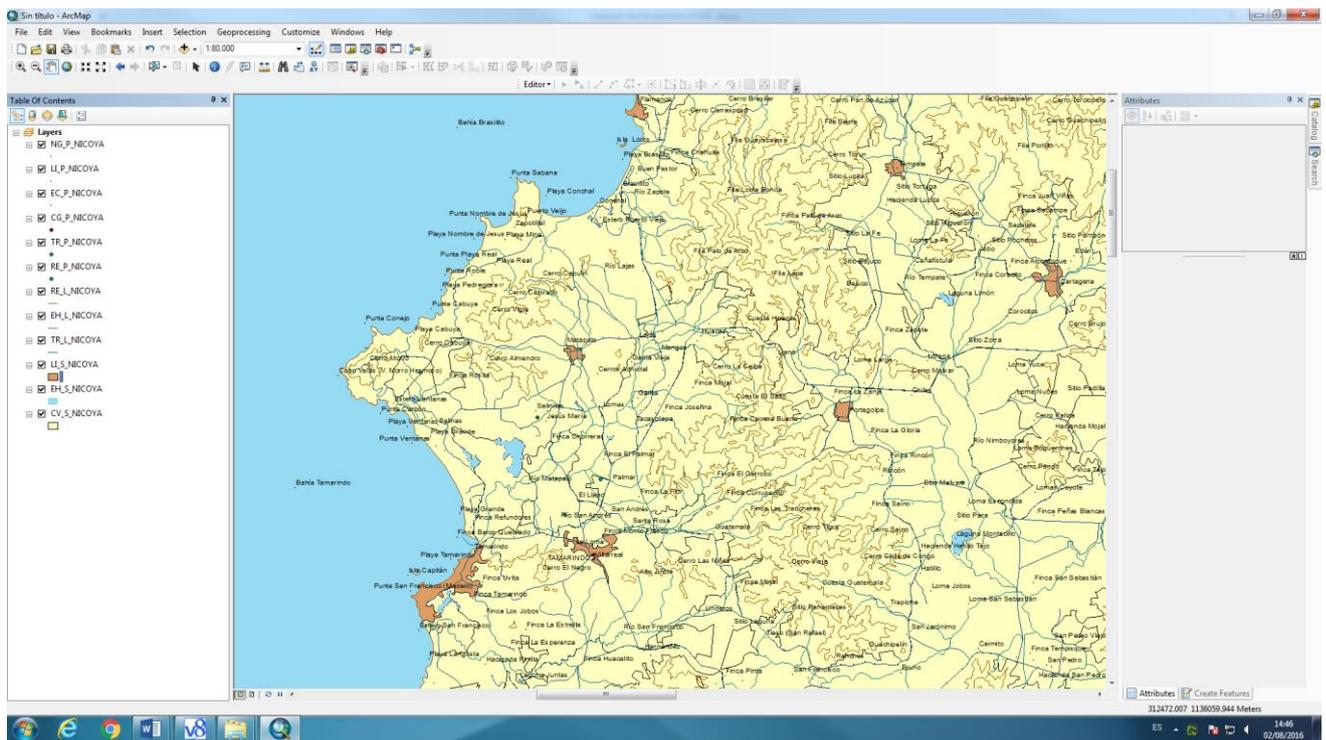


Figura: 50. Cartografía durante el proceso de maquetado.

8. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Tras varios meses de trabajo sale a la luz el resultado final que recibirá el cliente. En este caso, la primera versión definitiva es esta hoja perteneciente a la zona de Nicoya. Se puede ver como todas las capas trabajadas convergen perfectamente en esta cartografía final que se acompaña de imágenes, mapas auxiliares, etc.

La cartografía principal ocupa la mayor parte de la hoja y alberga a su vez un mapa aumentado de la Isla de Cocos. En la parte derecha se puede observar la leyenda, escala gráfica, así como un mapa general de situación de la zona en el conjunto del país y debajo un mapa de las delimitaciones administrativas de la zona.

Las características del mapa final vienen marcadas por las preferencias del cliente, que, en este caso al tratarse de una institución pública y una cartografía oficial, son muy concretas.

Una de las conclusiones finales que puedo sacar de este trabajo es la importancia de la versatilidad del técnico y su capacidad para adaptarse a un tipo u otro de software. He podido comprobar de primera mano como para un mismo proyecto, solo para la edición se pueden usar hasta tres herramientas diferentes, tanto de software libre como de propietario.

También, como señalo en el siguiente capítulo, me gustaría poner en valor todo lo aprendido durante el master y que ha sido de gran utilidad a la hora de la realización de estas prácticas.

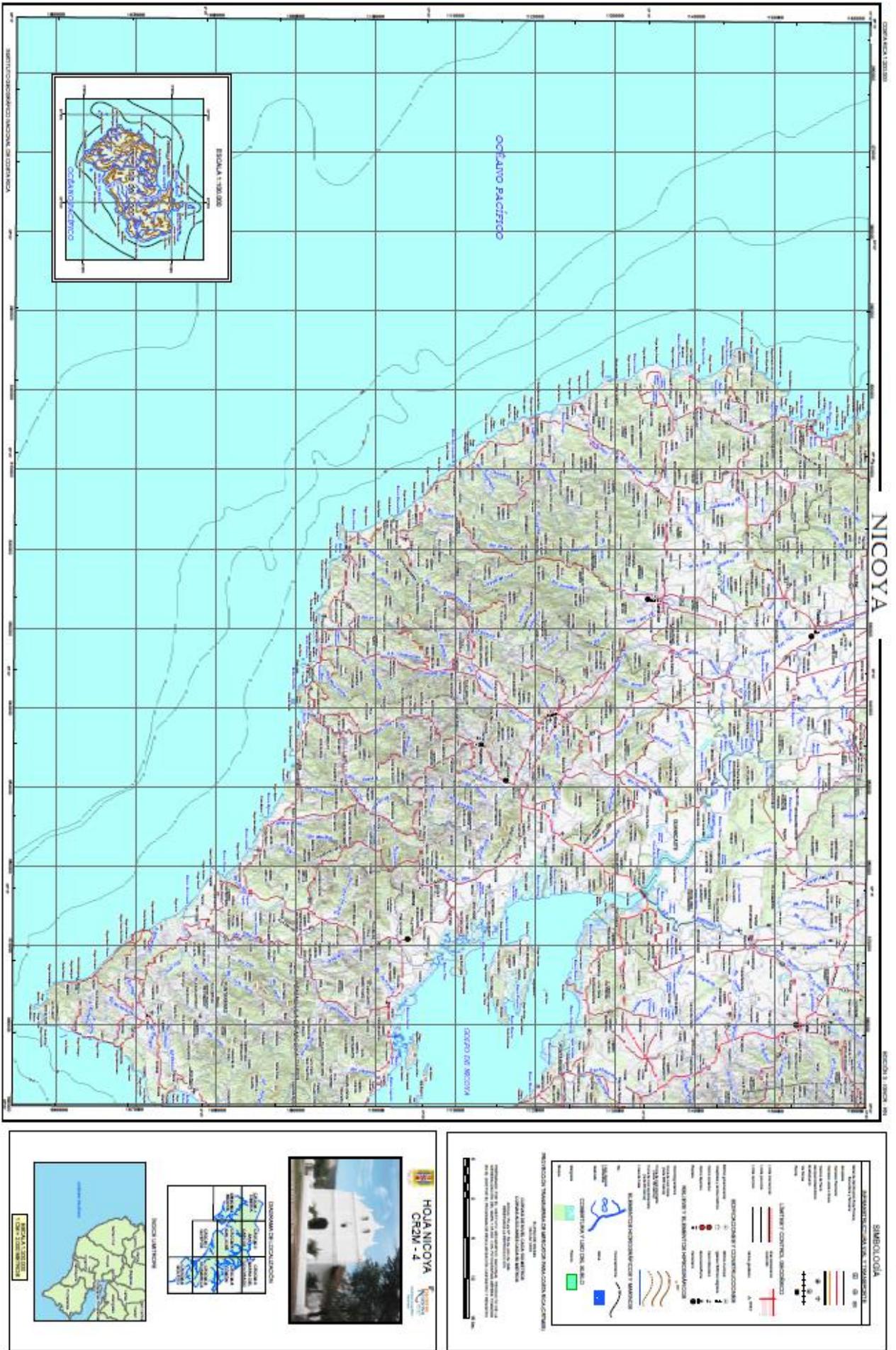


Figura: 51. Ejemplo de cartografía final.

9. VALORACIÓN FINAL.

Mi valoración final respecto al periodo realizando prácticas en esta empresa ha sido muy satisfactorio. He podido ver de primera mano cómo se trabajan muchos de los elementos aprendidos en el master, en el ámbito de la empresa privada. En primer lugar, me he dado cuenta de lo importante que es el manejo del diferente software ya que cada uno puede ser utilizado respondiendo a necesidades diferentes dentro de un mismo proyecto. En línea con esto, he podido comprobar la utilidad de las diferentes asignaturas del master, que han hecho posible enfrentarme a tareas como la edición o el etiquetado en ArcGis sin ningún tipo de dificultad.

Otro aspecto muy reseñable en mi experiencia en la empresa es que he podido comprobar la utilidad de la teledetección en un proyecto real. Durante mi formación en el máster he recibido una gran carga en relación con esta materia y eso ha sido fundamental a la hora de tratar con ella en la empresa.

Ha habido aspectos tratados en el proyecto, que habían sido tocados previamente en el máster, de modo que mi familiarización con ellos ha sido mucho más rápida, al disponer de una base previa. Un ejemplo sería la búsqueda de imágenes satélite en las páginas de proveedores, realizada previamente para el trabajo de la asignatura de Sensores, o los análisis de las características de los diferentes sensores a la hora de elegir el producto final que necesitamos.

Por otra parte, me hubiera gustado, para terminar de incluir todo lo aprendido en el master, realizar algún tipo de análisis o de correcciones a las imágenes satélite. No obstante, esto no ha sido necesario, ya que la empresa ha comprado las imágenes con el máximo nivel de procesamiento y listas para usar.

En definitiva, lo que me gustaría poner en valor de este trabajo es que se trata de un trabajo real, por el que una institución ha pagado una elevada cantidad de dinero a una empresa, y ésta se ha servido de técnicos con una formación muy similar a la que hemos obtenido en el master, para poder llevarla a cabo. Lo que quiero decir es que proyectos como este son los que nos están esperando en mercado laboral y tras haber cursado este máster, nos encontramos en plenas capacidades para poder realizarlos.

Y para finalizar, destacar de nuevo la manera en que las diferentes disciplinas y técnicas tratadas a lo largo del curso tienen su aplicación en ámbitos laborales.

10. BIBLIOGRAFÍA:

- Arranz, J J (2002): “*Cartografía II, Generalización Cartográfica*”, Universidad Politécnica de Madrid. España
- Luances M R, Paraná J R, y Pérez-Urría I L, (2001): “*Entorno para la generalización cartográfica en Sistemas de Información Geográfica.*”. Universidade da Coruña. España.
- Montoya, J.W. y Flórez A. (1992). “*La generalización cartográfica*”. *Revista cartográfica 61J*: IPGH, México.
- García, J.L. (2003): “*Generalización lineal mediante Algoritmos en el Dominio Espacial y de la Frecuencia*”, España.
- Pérez Martín A., Pérez Heras A. (2005): “*Cartografía Digital*”, *VIII Curso de Cartografía digital y Sistemas de Información*”, Santa Cruz de la Sierra – Bolivia.
- Palomar Vázquez, J. Pardo Pascual, E (2004). “*Utilidad de las herramientas SIG en procesos de generalización cartográfica: Generalización Automática de puntos de cota.*” España.
- Palomar Vázquez, J. (2001). “*Los SIG como herramientas de ayuda en la generalización Cartográfica bajo demanda. Ias jornadas sobre Sistemas de Información Geográfica.*” España.
- Fernández T. (2008) “*Generalización y tratamiento de los datos*” Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén – España.
- Bilbao, B (2014). “*Las 10 economías más competitivas de América Latina y el Caribe*”. *World Economic Forum*. España.
- Carrasquero R. (1992) “*La Generalización Cartográfica: Resolución Teórico-Metodológica Del Espacio Geográfico.*” Universidad de Los Andes-Venezuela
- Douglas, D. Peucker, T K. (1973) “*Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitalized line or its caricature*”. *Canadian Cartographer*.

<http://www.3dcadportal.com/>

<http://www.intelligence-airbusds.com/>

<https://www.lib.utexas.edu>

<https://www.seresco.es>

<http://www.registronacional.go.cr/>