

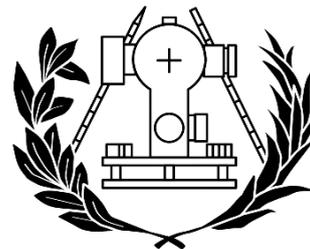
Análisis comparativo de la fragmentación de zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2. Relación con indicadores de calidad ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Geodésica, Cartográfica y Topográfica

Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Trabajo Final de Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación

SEPTIEMBRE 2017

Autor: Inmaculada Soriano Belda

Tutor: Luis Ángel Ruiz Fernández

Departamento Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

RESUMEN

La calidad ambiental en las áreas urbanas es un aspecto cada vez más relevante que requiere de un seguimiento de su evolución. La caracterización tipológica de áreas urbanas en función del número, área y distribución espacial de las zonas verdes presenta un interés por su relación potencial con la calidad ambiental de las ciudades.

En este proyecto se utilizarán las nuevas imágenes Sentinel 2 del programa Copernicus para generar clasificaciones de usos del suelo de diferentes ciudades europeas. A partir de estas clasificaciones se calcularán métricas de fragmentación y distribución espacial de las zonas verdes, los cuales serán relacionados con indicadores estándar de calidad ambiental en áreas urbanas. Esta relación permitirá definir aquellos indicadores derivados de imágenes que permitan estimar, al menos parcialmente, de forma sistemática estos índices de calidad.

Palabras clave: Teledetección, Sentinel-2, fragmentación urbana, calidad ambiental, usos del suelo, indicadores.

ABSTRACT:

The environmental quality in urban areas is an increasingly relevant aspect that requires a follow-up of its evolution. The typological characterization of urban areas as a function of the number, area and spatial distribution of green areas presents an interest in their potential relation with the environmental quality of cities.

This project will use the new Sentinel 2 images from the Copernicus program to generate classifications of land use in different European cities. From these classifications will be calculated measures of fragmentation and spatial distribution of green areas, which will be related to standard indicators of environmental quality in urban areas. This relationship will allow to define those indicators derived from images that allow to at least partially systematically estimate these quality indices.

Key words: Remote sensing, Sentinel-2, urban fragmentation, environmental quality, land use, indicators.

ÍNDICE:

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1.	Teledetección	6
1.2.	Calidad Ambiental	7
1.3.	Indicadores.....	8
1.3.1.	Determinación.....	9
1.3.2.	Tipos	9
1.3.3.	Indicadores a utilizar	10
2.	ÁREA DE ESTUDIO	13
3.	DATOS DE PARTIDA	21
3.1.	Datos estadísticos.....	21
3.2.	Imágenes Sentinel-2.....	27
4.	METODOLOGÍA.....	30
4.1.	Descarga imágenes.....	30
4.2.	Extracción de los polígonos de cada país	34
4.3.	Creación de las imágenes con composite Bands	35
4.4.	Recorte del área de estudio	40
4.5.	Clasificaciones de las zonas urbanas.....	42
4.6.	Creación de polígonos.....	50
4.7.	Eliminación polígonos	53
4.8.	Extracción de las métricas de fragmentación	56
4.9.	Cálculo de los indicadores ambientales	62
4.9.1.	Zonas verdes por habitante	62
4.9.2.	Proximidad a zonas verdes.....	64
5.	RESULTADOS	67
5.1.	Imágenes clasificadas.....	67
5.2.	Fragmentación	75
5.3.	Indicadores.....	77
5.3.1.	Zonas verdes por habitante	77
5.3.2.	Proximidad a zonas verdes.....	79
6.	INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES	88
7.	BIBLIOGRAFIA.....	90

ÍNDICE IMÁGENES:

IMAGEN 1- ESQUEMA FUNCIONAMIENTO TELEDETECCIÓN	6
IMAGEN 2- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE ATENAS	13
IMAGEN 3- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE BERLIN	14
IMAGEN 4- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE BRUSELAS	14
IMAGEN 5- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE BUDAPEST	15
IMAGEN 6- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE COPENHAGUE	15
IMAGEN 7- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE ESTOCOLMO	16
IMAGEN 8- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE HELSINKI	16
IMAGEN 9- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE LISBOA	17
IMAGEN 10- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE LONDRES.....	17
IMAGEN 11- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE MADRID	18
IMAGEN 12- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE OSLO	18
IMAGEN 13- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE PARIS	19
IMAGEN 14- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE ROMA	19
IMAGEN 15- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE TALLIN.....	20
IMAGEN 16- ZONA ESTUDIO CIUDAD DE VARSOVIA	20
IMAGEN 17- ACCESO PÁGINA OECD	22
IMAGEN 18- RUTA A LOS DATOS ESTADÍSTICOS.....	22
IMAGEN 19- SELECCIÓN DE LOS DATOS NECESARIOS.....	23
IMAGEN 20- PÁGINA WEB DIVA-GIS	25
IMAGEN 21-INFORMACIÓN DATOS DISPONIBLES.....	26
IMAGEN 22- SELECCIÓN DE PAÍS Y DATO	26
IMAGEN 23- SATÉLITE SENTINEL-2	28
IMAGEN 24- IMAGEN OBTENIDA POR EL SATÉLITE SENTINEL-2.....	29
IMAGEN 25- PÁGINA PRINCIPAL DEL SERVICIO DE DESCARGAS DE COPERNICUS	30
IMAGEN 26- VENTANA CORRESPONDIENTE AL LOGUEO DEL USUARIO.....	30
IMAGEN 27- SELECCIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	31
IMAGEN 28- OPCIONES DE BÚSQUEDA	31
IMAGEN 29- OPCIONES DE BÚSQUEDA PARTE 2.....	32
IMAGEN 30- RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA	32
IMAGEN 31- IMAGEN ELEGIDA CON SUS CORRESPONDIENTES ELEMENTOS.....	33
IMAGEN 32- ZONA DE ESTUDIO DE LONDRES	33
IMAGEN 33- LISTADO DE TODAS LAS CARPETAS CONTENEDORAS DE LOS LÍMITES ADMINISTRATIVOS	34
IMAGEN 34- TABLA ATRIBUTOS SHAPE 'SP_ADM4'	34
IMAGEN 35- EXPORTACIÓN SHAPE Y SU RUTA	35
IMAGEN 36- TOTAL DE BANDAS EN LA IMAGEN	35
IMAGEN 37- ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN DE BANDAS	36
IMAGEN 38- OPCIONES HERRAMIENTA 'COMPOSITE BANDS'	37
IMAGEN 39- CAMBIO DE BANDAS EN EL APARTADO SIMBOLOGÍA	37
IMAGEN 40- RESULTADO PROCESO 'COMPOSITE BANDS' EN COLOR NATURAL	38
IMAGEN 41- ZONA DE ESTUDIO CUBIERTA POR COMPLETO	38
IMAGEN 42- OPCIONES HERRAMIENTA 'MOZAIC TO NEW RASTER'	39
IMAGEN 43- RESULTADO HERRAMIENTA 'MOZAIC TO NEW RASTER'	39
IMAGEN 44- IMAGEN DE LA CIUDAD CON EL AREA DE ESTUDIO CORRESPONDIENTE	40
IMAGEN 45- OPCIONES HERRAMIENTA 'CLIP'	40
IMAGEN 46- RESULTADO HERRAMIENTA 'CLIP'	41
IMAGEN 47- EXPORTACIÓN DE LA CAPA RASTER A FORMATO .TIFF.....	41
IMAGEN 48- CARGA DE LA IMAGEN EN UN NUEVO DISPLAY EN ENVI	44
IMAGEN 49- ESQUEMA DE REFLECTANCIA EN LAS DIFERENTES ZONAS DEL ESPECTRO	45
IMAGEN 50- IMAGEN EN COMPOSICIÓN 5, 3, 2	45
IMAGEN 51- SELECCIÓN DE PUNTO COMO MÉTODO DE TOMA DE DATOS.....	46
IMAGEN 52- RUTA HERRAMIENTA 'ROI TOOL'	46
IMAGEN 53- SELECCIÓN DE LA VENTANA 'ZOOM'	46
IMAGEN 54- SELECCIÓN DE PUNTOS DE VEGETACIÓN PARA LA ROI.....	46
IMAGEN 55- IMAGEN EN COMPOSICIÓN 8, 7, 3	47

IMAGEN 56- FIRMA ESPECTRAL AGUA CLARA Y AGUA TURBIA	47
IMAGEN 57- IMAGEN EN COMPOSICIÓN 6, 7, 3	47
IMAGEN 58- IMAGEN EN COMPOSICIÓN 7, 6, 3	48
IMAGEN 59- RUTA DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA POR MÍNIMA DISTANCIA.....	48
IMAGEN 60- CONJUNTO DE REGIONES DE INTERÉS FINALES	48
IMAGEN 61- PROCESO CLASIFICACIÓN, SELECCIÓN DE LA IMAGEN	49
IMAGEN 62- SELECCIÓN DE LAS CLASES QUE SE QUIEREN PARA LA CLASIFICACIÓN	49
IMAGEN 63- RESULTADO DE LA CLASIFICACIÓN.....	49
IMAGEN 64- RUTA HERRAMIENTA 'RASTER TO VECTOR'	50
IMAGEN 65- VENTANA SELECCIÓN DE IMAGEN	50
IMAGEN 66- SELECCIÓN DE LAS CLASES A CONVERTIR EN VECTOR	51
IMAGEN 67- RESULTADO DE LA OPERCIÓN 'RASTER TO VECTOR'	51
IMAGEN 68- EXPORTACIÓN A FORMATO SHAPEFILE	52
IMAGEN 69- ARCHIVO SHAPE DE IMAGEN CLASIFICADA	53
IMAGEN 70- VENTANA HERRAMIENTA 'MULTIPART TO SINGLEPART'	53
IMAGEN 71- REGISTROS SELECCIONADOS SEGÚN LA CONSULTA	54
IMAGEN 72- SELECCIÓN POR ATRIBUTOS	54
IMAGEN 73- VENTANA HERRAMIENTA 'ELIMINATE'	55
IMAGEN 74- COMPARACIÓN RESULTADO, IZQUIERDA: ANTES DEL PROCESO, DERECHA: DESPUÉS DEL PROCESO	55
IMAGEN 75- CARGA DEL TOOLBOX DE INDIFRAG	56
IMAGEN 76- RUTA HERRAMIENTA INDIFRAG	57
IMAGEN 77- GUARDADO DE LOS CAMBIOS	57
IMAGEN 78- VENTANA DE LA HERRAMIENTA 'INDIFRAG'	58
IMAGEN 79- OPCIONES HERRAMIENTA INDIFRAG	59
IMAGEN 80- OPCIONES HERRAMIENTA INDIFRAG 2	60
IMAGEN 81- OPCIONES HERRAMIENTA INDIFRAG 3	61
IMAGEN 82 -CREACIÓN CAMPO 'AREA2'	62
IMAGEN 83- CAMPO 'AREA2'	62
IMAGEN 84- CALCULO DEL ÁREA DE LOS NUEVOS REGISTROS.....	62
IMAGEN 85- SELECCIÓN REGISTROS PERTENECIENTES A LA CLASE VEGETACIÓN.....	63
IMAGEN 86- ESTADÍSTICAS CLASE VEGETACIÓN	63
IMAGEN 87- EXPLICACIÓN 'BUFFER'	65
IMAGEN 88- SELECCIÓN REGISTROS DE VEGETACIÓN	65
IMAGEN 89- VENTANA HERRAMIENTA 'BUFFER' CON LAS OPCIONES SELECCIONADAS	66
IMAGEN 90- HERRAMIENTA 'SYMMETRICAL DIFFERENCE'	66
IMAGEN 91- VENTANA HERRAMIENTA 'SYMMETRICAL DIFFERENCE'	66

ÍNDICE TABLAS:

TABLA 1- POBLACIÓN POR CIUDAD.....	24
TABLA 2- CARACTERÍSTICAS IMAGEN SENTINEL-2	29
TABLA 3- COMPARACIÓN SENTINEL-2 CON OTRAS MISIONES.....	29
TABLA 4- RESULTADOS INDICADOR METROS CUADRADOS/HABITANTE	63
TABLA 5- RESULTADO FRAGMENTACIÓN NIVEL SUPER-OBJETO.....	75
TABLA 6- RESULTADO FRAGMENTACIÓN NIVEL CLASE VEGETACIÓN	76
TABLA 7- RESULTADO FRAGMENTACIÓN NIVEL CLASE SUELO URBANO	76
TABLA 8- RESULTADO M ² DE VEGETACIÓN/HABITANTE ORDENADO POR EL RESULTADO.....	77
TABLA 9- RESULTADO M ² DE VEGETACIÓN/HABITANTE ORDENADO POR M ² DE VEGETACIÓN	77
TABLA 10- RESULTADO M ² DE VEGETACIÓN/HABITANTE ORDENADO POR Nº HABITANTES	78
TABLA 11- RESULTADOS INDICADOR PROXIMIDAD A ZONAS VERDES	87
TABLA 12- RESULTADOS FINALES CALIDAD AMBIENTAL.....	88
TABLA 13- ICA CALCULADO, ORDENADO DE MENOR A MAYOR	89

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Teledetección

La teledetección es la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto en ella, es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. Se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada de la superficie terrestre generando una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. El término se refiere de manera general al uso de tecnologías de sensores para adquisición de imágenes.

A continuación, se puede ver un esquema del funcionamiento de la teledetección para una mejor comprensión.

A. Fuente de energía- Que ilumine o provea de energía al objeto de interés

B. Radiación en atmosfera- Es la energía que "viaja" desde la fuente al objeto y viceversa y que por esto entrará en contacto con la atmósfera.

C. Interacción con el objeto.

D. Detección de energía por el sensor remoto.

E. Transmisión, recepción y procesamiento de la energía grabada por el sensor, los datos son convertidos a imágenes digitales.

F. Interpretación y análisis de la imagen procesada.

G. Aplicación de la información extraída de las imágenes del objeto para un mejor conocimiento del mismo.

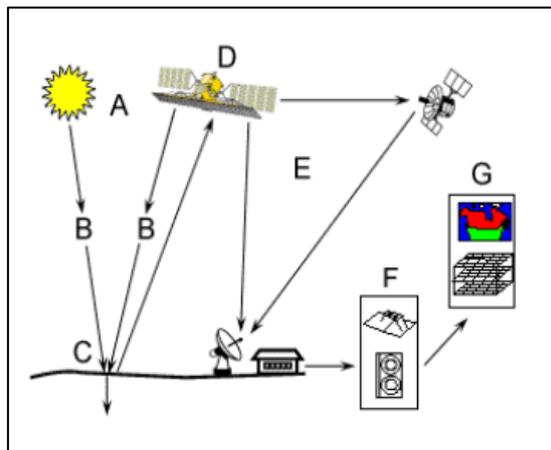


Imagen 1- Esquema funcionamiento teledetección

Hay dos clases de teledetección principalmente: teledetección pasiva y teledetección activa:

- Los teledetectores pasivos detectan radiación natural emitida o reflejada por el objeto o área circundante que está siendo observada. La luz solar reflejada es uno de los tipos de radiación más comunes medidos por esta clase de teledetección.
- Los teledetectores activos por otra parte emiten energía para poder escanear objetos y áreas con lo que el teledetector mide la radiación reflejada del objetivo.

1.2. Calidad Ambiental

Hoy en día la salud tanto de las personas como del planeta es muy importante, pues cada vez hay más contaminación y esto hace que empeore considerablemente. Las malas condiciones ambientales hacen que se modifiquen las condiciones de vida del planeta y ponen en peligro la vida en la Tierra siendo responsables de 12,6 millones de muertes al año en el planeta. Esto supone que alrededor del 23% de los fallecimientos en el mundo se producen por "vivir o trabajar en ambientes poco saludables", según la OMS. Los factores de riesgo ambientales -como la contaminación del aire, el agua y el suelo, la exposición a los productos químicos, el cambio climático y la radiación ultravioleta- "contribuyen a más de 100 enfermedades o traumatismos" indica esta organización internacional en su estudio.

El medio ambiente es un sistema muy complejo y frágil en el que juegan un papel importante múltiples factores de distinta naturaleza. En la última década, el incremento del número de seres humanos sobre este planeta y el uso que se hace de las nuevas tecnologías, está causando importantes cambios en nuestro medio. Esto se debe al continuo incremento en la explotación de los recursos, que, sobrepasado un límite, pierden su capacidad de regenerarse correctamente.

Por esta razón es muy importante tener controlada la situación ambiental de cada país y realizar estudios sobre esta y que se debe en la mayor urgencia posible tomar medidas ante este estado de gravedad ambiental en el que vivimos.

La calidad ambiental representa, por definición, las características cualitativas y/o cuantitativas inherentes al ambiente en general o medio particular, y su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades del hombre y/o de los ecosistemas.

Este trabajo se centra en la calidad ambiental relacionada con la distribución de zonas verdes dentro del ámbito urbano.

Las áreas verdes urbanas son elementos fundamentales para mejorar el bienestar de la población urbana, especialmente en grandes ciudades. Sin embargo, son escasas en algunas grandes ciudades, producto de la historia de urbanización precaria y explosiva de la segunda mitad del siglo XX. Ante esta realidad y, aunque en las últimas décadas se han realizado importantes inversiones en construcción y recuperación de áreas verdes, persisten grandes diferencias de dotación al interior de las ciudades que han de ser evaluadas.

Debido a las altas tasas de urbanización, las áreas verdes son cada vez más importantes como espacios de interacción entre las personas y también con la naturaleza, generando oportunidades para una mayor interacción social. Asimismo, la frecuencia de interacción social en las áreas verdes es un factor que refuerza el apego a la comunidad y entre los residentes e incluso tiene positivos efectos en la salud de las personas.

El tamaño y distribución de áreas verdes tiene implicaciones ecológicas y sociales. Desde el punto de vista ecológico, en zonas donde se dispone de más superficie verde existe la posibilidad de tener una mayor diversidad de vegetación ligado a una mayor diversidad de fauna. Si además se favorece la plantación de árboles y arbustos autóctonos, aumenta la presencia de aves autóctonas contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en este territorio.

Además, las áreas verdes de gran tamaño contribuyen más a la regulación de inundaciones ocasionadas por la acumulación de aguas de lluvia, ya que mantienen una alta permeabilidad del suelo y su capacidad de absorción. En cuanto a la cobertura vegetal en los parques situados en las laderas de los cerros contribuye a la retención del suelo y disminuye el riesgo de correntias y desprendimientos. La contribución de la vegetación a la regulación de la temperatura urbana ha sido demostrada en diversas ciudades, así como la capacidad de capturar partículas y renovar el aire.

Desde el punto de vista social, también es importante tener un mayor tamaño de las áreas verdes ya que permite la realización de diversas actividades y con ello facilita la presencia simultánea de distintos grupos, por ejemplo, niños, adultos y jóvenes.

1.3. Indicadores

Se denomina indicador a un instrumento que sirve para mostrar o indicar algo. El concepto recibe distintos nombres, según el ámbito de utilización y el uso coloquial. Según la OECD un indicador ambiental es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo. Las dos funciones principales de los indicadores ambientales son:

- Reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible a la realidad de una situación.
- Simplificar los procesos de comunicación.

Estas funciones básicas convierten a los indicadores en el instrumento mediante el cual se proporciona información concisa y sustentada científicamente a diversos usuarios, tomadores de decisiones y al público en general de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente.

Los indicadores se emplean en todos los ámbitos del quehacer humano; aunque éstos varían en su grado de complejidad y relación con el fenómeno al que se refieren; desde sencillos, como el color de una fruta que sirve para evaluar su grado de madurez, hasta más sofisticados, como la concentración de agentes inmunológicos para detectar cáncer.

En este trabajo se va a centrar en indicadores relacionados con la calidad ambiental a partir de la distribución de zonas verdes en ciudades, por lo tanto, se reduce la búsqueda de estos.

La importancia de estos indicadores reside en el uso que se les puede dar. Idealmente, deben informar a los tomadores de decisiones o usuarios, ayudarlos a esclarecer un tema y descubrir las relaciones entre sus componentes, todo lo cual conduce a decisiones mejor sustentadas. También son una excelente herramienta de información al público porque, acompañados por una buena estrategia de comunicación, ilustran conceptos e información científica, contribuyendo al entendimiento de los temas y a que la sociedad tome un papel más activo en la solución de los problemas ambientales.

Un indicador ambiental es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo. Su propósito es comunicar información acerca del ambiente -sobre cómo las actividades humanas lo afectan- en forma simple y clara. Los indicadores ambientales deben decirnos, en corto, qué cosas se están poniendo mejor y cuáles peor.

1.3.1. Determinación

Para el diseño de un indicador independientemente de su tipo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Determinar en que unidad se va a expresar.
- Determinar la frecuencia adecuada para que permitan establecer fallas y medidas correctivas.
- Determinar donde se origina la información, su frecuencia y el responsable por generarla.
- Reconocer el usuario de determinado indicador para establecer fallas y medidas correctivas.
- Determinar el tipo de presentación del indicador, como cifra matemática, estadísticamente, gráficamente porcentualmente.

Aspectos importantes a considerar para la elaboración y uso de indicadores:

- Sin información sustentada no se pueden desarrollar buenos indicadores.
- Para evaluar el desempeño se requiere claridad de los objetivos.
- Diferentes personas en diferentes lugares tienen valores y aspiraciones distintas. Los indicadores deben ser capaces de reflejar y recoger los intereses de lugares, gente, cultura e instituciones diversas.
- Los conjuntos de indicadores deben evolucionar con el tiempo para mantener su utilidad, por lo que deben estar en constante revisión.
- Los conjuntos de indicadores raramente están completos y siempre son perfectibles.
- El conocimiento que obtenemos a través de los indicadores es útil para reducir la incertidumbre sobre lo que conocemos del sistema, pero no la elimina.
- La visión que se obtiene a partir de indicadores es siempre una versión simplificada e imperfecta de la realidad.

1.3.2. Tipos

Hay distintos tipos de indicadores, así como múltiples clasificaciones, siendo importante abordarlos basándonos en la información que ofrecen y en las repercusiones posteriores que generan. Así se tiene la siguiente clasificación:

- a) Según el ámbito de estudio:
- b) Según el lugar de obtención de datos
- c) Según el tipo de medida

Como se ha dicho anteriormente se localizan indicadores relacionados con el medio urbano, posteriormente ya se seleccionarán los correspondientes a este estudio. En el 'Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas' los indicadores se articulan en los siguientes grupos:

1. Ocupación del suelo
2. Espacio público y Habitabilidad
3. Movilidad y Servicios
4. Complejidad urbana
5. Espacios verdes y Biodiversidad
6. Metabolismo urbano
7. Cohesión social

1.3.3. Indicadores a utilizar

Como en este trabajo se necesitan indicadores que utilicen información que se pueda extraer a partir de imágenes y que estén relacionados con la distribución de zonas verdes en el área urbana, pues esa es la finalidad de este trabajo se seleccionan los siguientes indicadores dentro del grupo 5 anteriormente citado 'Espacios verdes y Biodiversidad'.

El aumento de la biodiversidad en un contexto urbano se orienta hacia una ordenación del verde urbano que propicie la atracción de avifauna, que haga la traza urbana más permeable a los elementos naturales y que ofrezca espacios verdes de relación y de recreo a la población residente.

Red Verde: Conformará un mosaico verde de interconexión entre parques, jardines, espacios intersticiales, interiores de manzana y calles interiores de supermanzana. Creará una red verde entre las diferentes matrices de la ciudad con un entramado de itinerarios peatonales de enlace. La integración y ordenación de la matriz verde y rural mejorará la calidad y funcionalidad de ésta en los procesos urbanísticos. Asimismo, preservará las unidades naturales para evitar procesos de fragmentación.

Los indicadores que se van a utilizar se describen a continuación:

1. **SVerde: Espacio Verde por Habitante**

- **Objetivo:**

La cobertura de zonas verdes en la ciudad es de gran importancia para mantener una buena calidad de vida. Las plazas, jardines, parques o bosques urbanos tienen un papel fundamental en el medio ambiente y la biodiversidad de la ciudad, además de ser espacios para el paseo, el recreo o el ocio. En la ordenación del territorio forman parte de su estructura y simbolizan un ambiente de ciudad equilibrada, donde la edificación se amortigua con los espacios naturales. Los espacios verdes son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como espacios "imprescindibles" por los beneficios que reportan en el bienestar físico y emocional de las personas y por contribuir a mitigar el deterioro urbanístico de la ciudad, haciéndola más habitable y saludable.

- **Definición:**

La superficie verde por habitante se define como la superficie de parques y jardines y otros espacios públicos dotados de cobertura vegetal del ámbito urbano en relación al número de habitantes. No se consideran las superficies verdes ligadas al tráfico (isletas de tráfico).

La OMS recomienda un mínimo de 10 m², siendo recomendable una dotación de 15 m² por habitante.

- Nuevos desarrollos. Reserva de espacios verdes (sistema de verde local). Reserva de espacios en los interiores de manzana. Incorporación del verde espacio construido: jardines verticales y cubiertas verdes. Definición de corredores verdes urbanos que atraviesen las actuaciones y unan el verde con el tejido urbano consolidado.

$$\text{Sverde (m}^2\text{/habitante)} = [\text{superficie verde/número habitantes}]$$

- Parámetro de evaluación:

Valor mínimo: > 10 m²/habitante De superficie verde por habitante para un determinado barrio o sector.

Valor deseable: > 15 m²/habitante De superficie verde por habitante para un determinado barrio o sector.

2. pVerde: Proximidad de la población a espacios verdes

- Objetivo:

Evaluar la proximidad de la población a los espacios verdes. El objetivo es que todo ciudadano tenga acceso simultáneo a diferentes tipologías de zona verde de dimensiones y funcionalidades diferentes: desde espacios verdes de 1.000 m² hasta espacios mayores de 10 ha, a una distancia que se pueda recorrer a pie o bien mediante un corto desplazamiento en transporte público (4 km). La interconexión entre parques, jardines y espacios intersticiales, conforma un mosaico de verde integral, una verdadera red verde que supone un aumento de la biodiversidad y una mejora de la calidad del espacio público. Las aportaciones de la red de espacios verdes son: la creación de una ciudad atractiva, la mejora de las variables de entorno en el espacio público, la reducción de ruidos, la reducción de contaminación, etc.

- Definición:

Se consideran espacios verdes todos aquellos espacios de estancia con una superficie mínima de 1.000 m² y con más del 50% del área permeable (parques públicos, jardines, espacios abiertos para uso exclusivo de peatones, plazas). No se consideran las superficies verdes ligadas al tráfico (isletas de tráfico). Los espacios y las distancias de acceso consideradas son:

- Espacio verde más grande de 1.000 m² a una distancia menor de 200 metros (desplazamiento a pie de carácter cotidiano). Estos espacios corresponden a zonas ajardinadas, como plazas o áreas de estancia que ofrecen una función de contacto diario del ciudadano con el verde.
- Espacio verde más grande de 5.000 m² a una distancia menor de 750 metros (desplazamiento a pie de carácter cotidiano). Estos espacios ejercen las funciones más básicas de estancia y recreo al aire libre de la población residente.
- Espacio verde más grande de 1 ha a una distancia menor de 2 km (desplazamiento en bicicleta). Estos espacios serían los parques urbanos que garantizan diferentes posibilidades de recreo y presentan cierta singularidad en relación a su carácter histórico.

- Espacio verde mayor de 10 ha a una distancia menor de 4 km (desplazamiento en transporte público). Estos espacios corresponden en su mayoría a áreas libres integrables en el medio natural, a las que se les asigna una finalidad restauradora y paisajística.

$$P_{\text{verde}} (\%) = \frac{\text{población con cobertura simultánea a 3 de los 4 tipos de espacios verdes}}{\text{población total}}$$

- Parámetro de evaluación:

Valor mínimo: acceso simultáneo a 3 tipologías de espacio verde Para la totalidad de la población residente

Valor deseable: acceso simultáneo a las 4 tipologías de espacio verde Para la totalidad de la población residente.

1.4. Fragmentación urbana

El tema de la fragmentación urbana no es nuevo ni reciente. La ciudad se presenta como un mosaico de diferentes usos del suelo con formas y contenido diversos: áreas industriales, residenciales, comerciales, etc., es decir, un espacio fragmentado.

La fragmentación es inherente al proceso histórico de conformación de la ciudad. La ciudad antigua, medieval, moderna, e incluso, la colonial muestra fragmentos claramente delimitados. Es decir que la fragmentación es un atributo de la ciudad y desde su origen la ha caracterizado el heterogéneo uso del suelo conforme a la división social y técnica del trabajo. En tal caso estaría relacionado con el uso del suelo.

La fragmentación urbana se asocia a una ruptura, separación o distanciamiento social en la ciudad. Esta aproximación, considera que la actual dinámica urbana, desde el comportamiento del mercado de suelos, las iniciativas inmobiliarias, el surgimiento de estilos de vida, las transformaciones en el mercado de trabajo, la polarización social, hasta el aumento de la violencia y la inseguridad, lleva a una separación social en el espacio que se refleja en el surgimiento de barrios cerrados o similares, específicamente allí donde se juntan estratos sociales diferentes, gracias a los nuevos patrones de urbanización.

En cuanto a la relación con las zonas verdes digamos que esta fragmentación de espacio se relaciona con el rápido crecimiento de la población y su expansión urbana.

La necesidad de los espacios verdes quedaría consagrada en sus postulados al plantearse el «recrearse» como una de las funciones vitales de todo núcleo urbano. Se olvidaba que el hombre no es sólo un ser que vive en edificios, sino que necesita un entorno, unos espacios convivenciales. La calle no era sólo un sitio por donde pasaban los vehículos o la gente para trasladarse de un lugar a otro, sino donde convivía realmente.

Uno de los mayores fallos del planeamiento urbano hasta ahora, al menos en España, y en lo que se refiere al sistema de espacios libres y áreas verdes, es que en general se han tratado los jardines y ordenado lo dispuesto en nuevas zonas verdes para la ciudad, pero ha faltado siempre una visión amplia y una voluntad de integrar la naturaleza en la ciudad. Se ha olvidado, con frecuencia, que el árbol es el primer y gran protagonista del verde en la ciudad, esto supone un inconveniente en la nueva distribución de zonas verdes o zonas verdes desaparecidas a causa de nuevas edificaciones.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Puesto que el objetivo del trabajo es estudiar la calidad ambiental de ciudades europeas, se ha hecho una selección de 15 de ellas, todas capitales de países. Los países seleccionados no son todos los pertenecientes a Europa, solo son aquellos que se ha considerado, distribuidos por todo el territorio europeo. Por lo tanto, el área a estudiar corresponderá al límite municipal de cada ciudad, donde más adelante se describirá como se ha obtenido. En un estudio más riguroso cabría la posibilidad de ampliar la lista de ciudades para la disposición de más información.

A continuación, se muestra la lista de estas 15 ciudades totales.

- **Atenas:** capital de Grecia

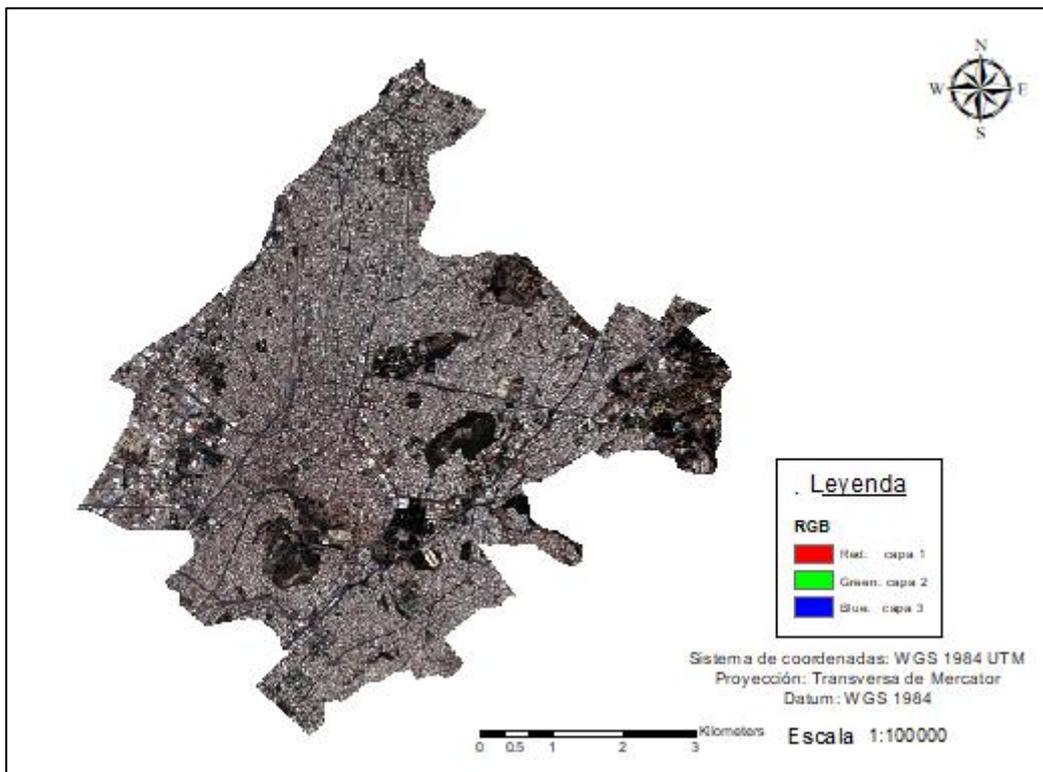


Imagen 2- Zona estudio ciudad de Atenas

- **Berlín:** capital de Alemania

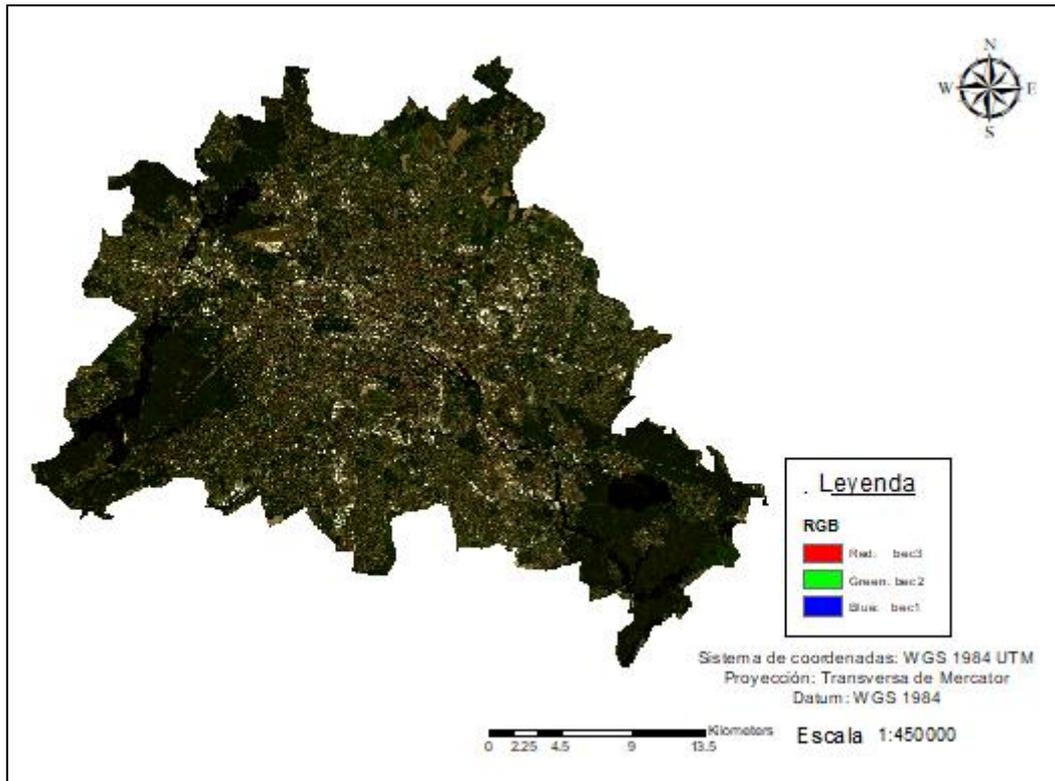


Imagen 3- Zona estudio ciudad de Berlin

- **Bruselas:** capital de Bélgica

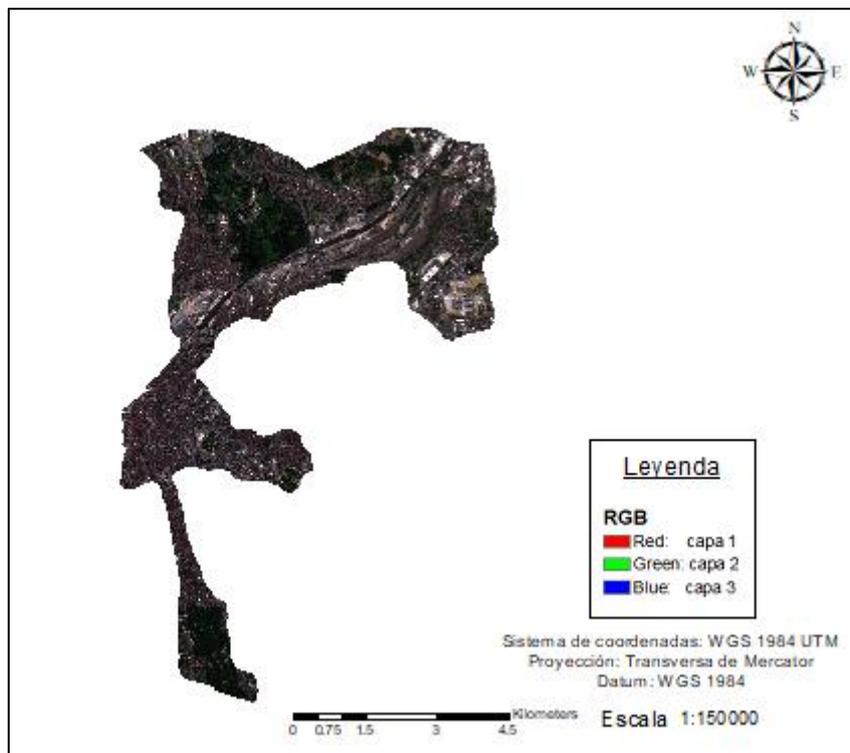


Imagen 4- Zona estudio ciudad de Bruselas

- **Budapest:** capital de Hungría

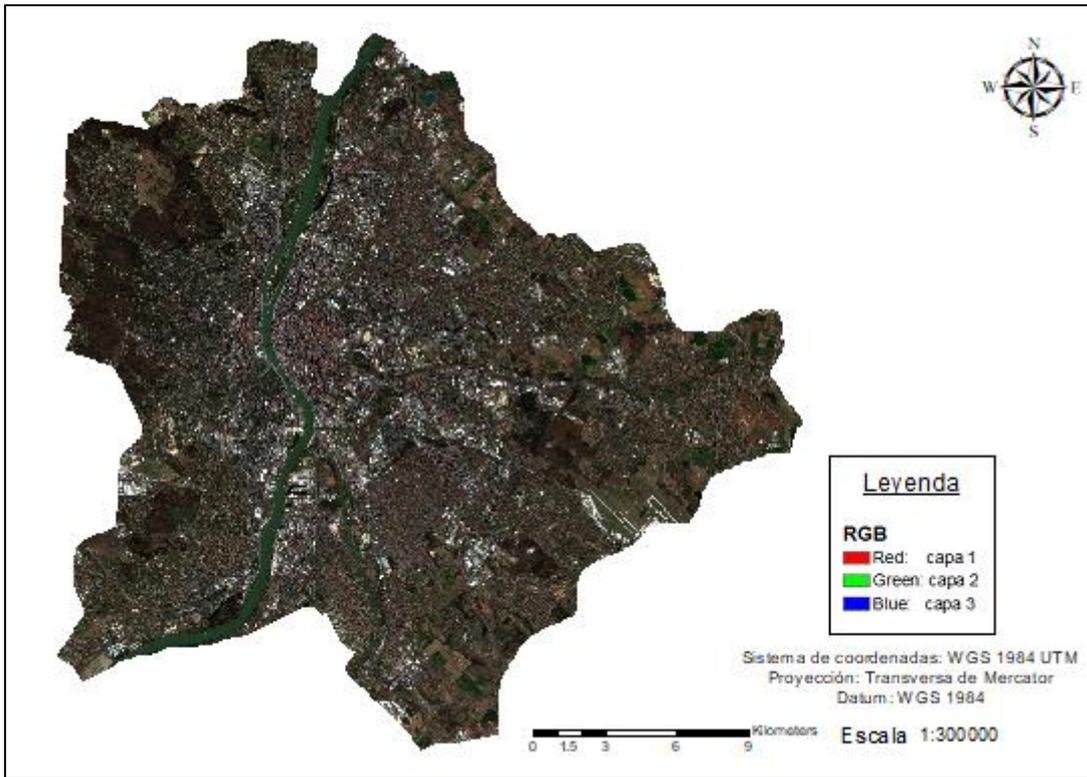


Imagen 5- Zona estudio ciudad de Budapest

- **Copenhague:** capital de Dinamarca

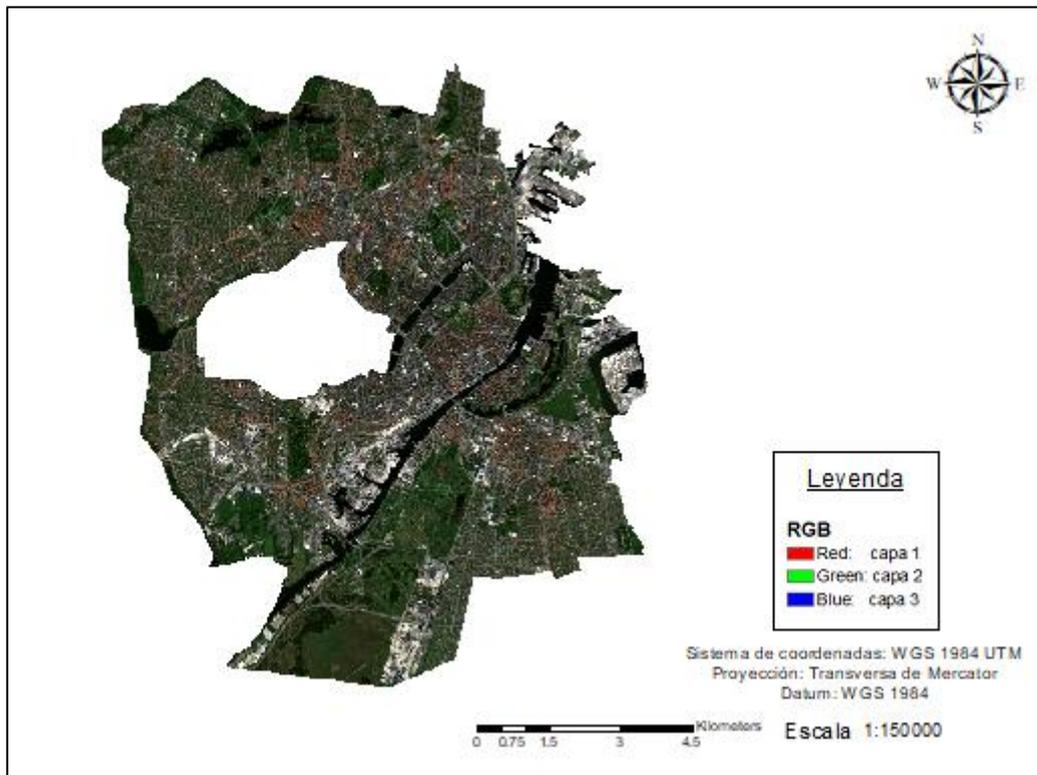


Imagen 6- Zona estudio ciudad de Copenhague

- **Estocolmo:** capital de Suecia

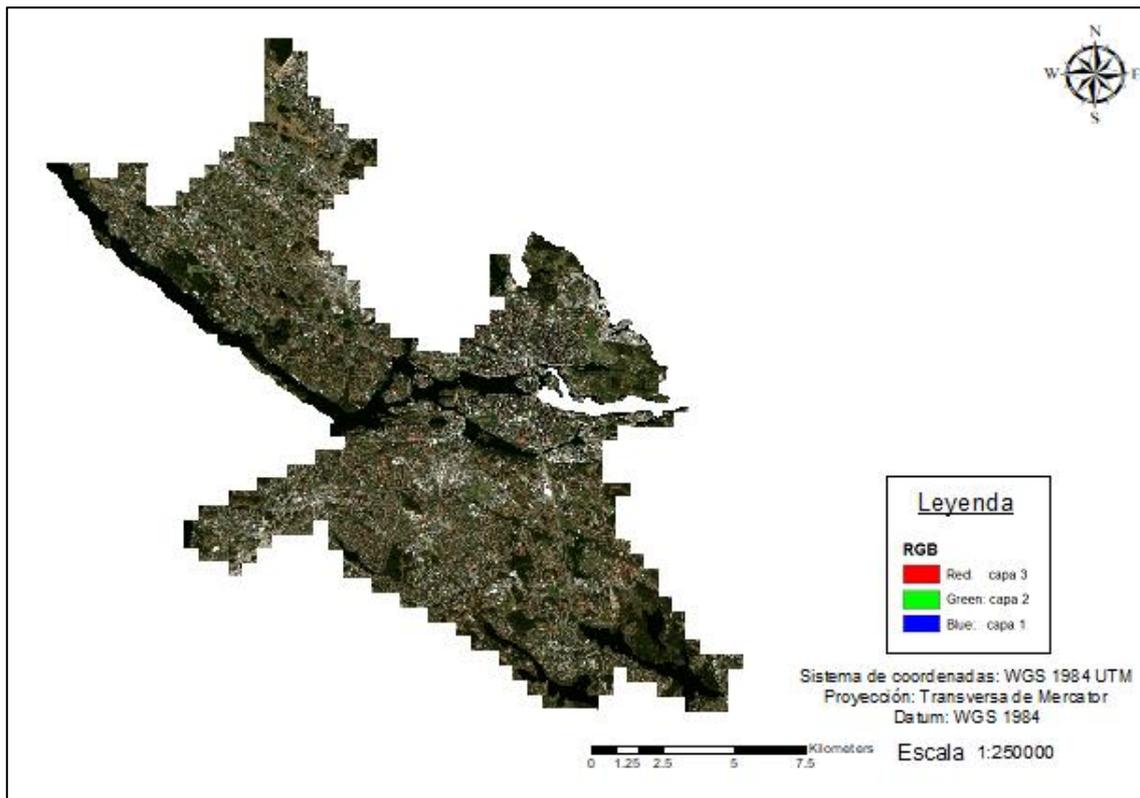


Imagen 7- Zona estudio ciudad de Estocolmo

- **Helsinki:** capital de Finlandia

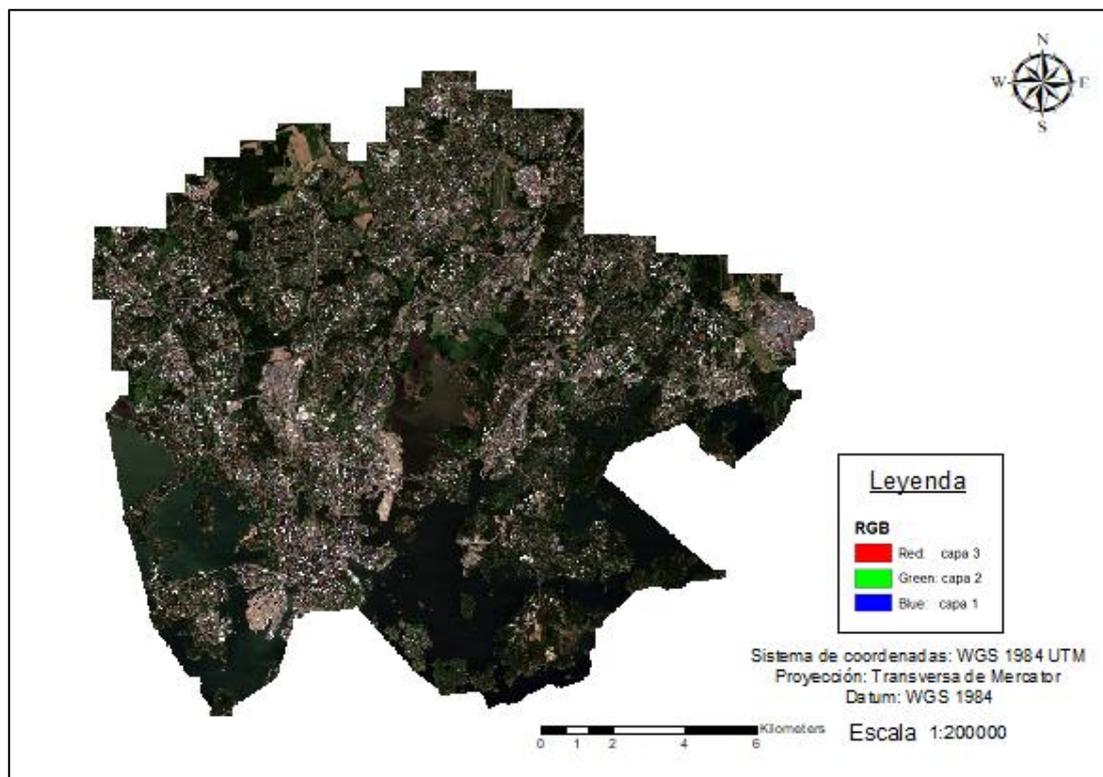


Imagen 8- Zona estudio ciudad de Helsinki

- **Lisboa:** capital de Portugal

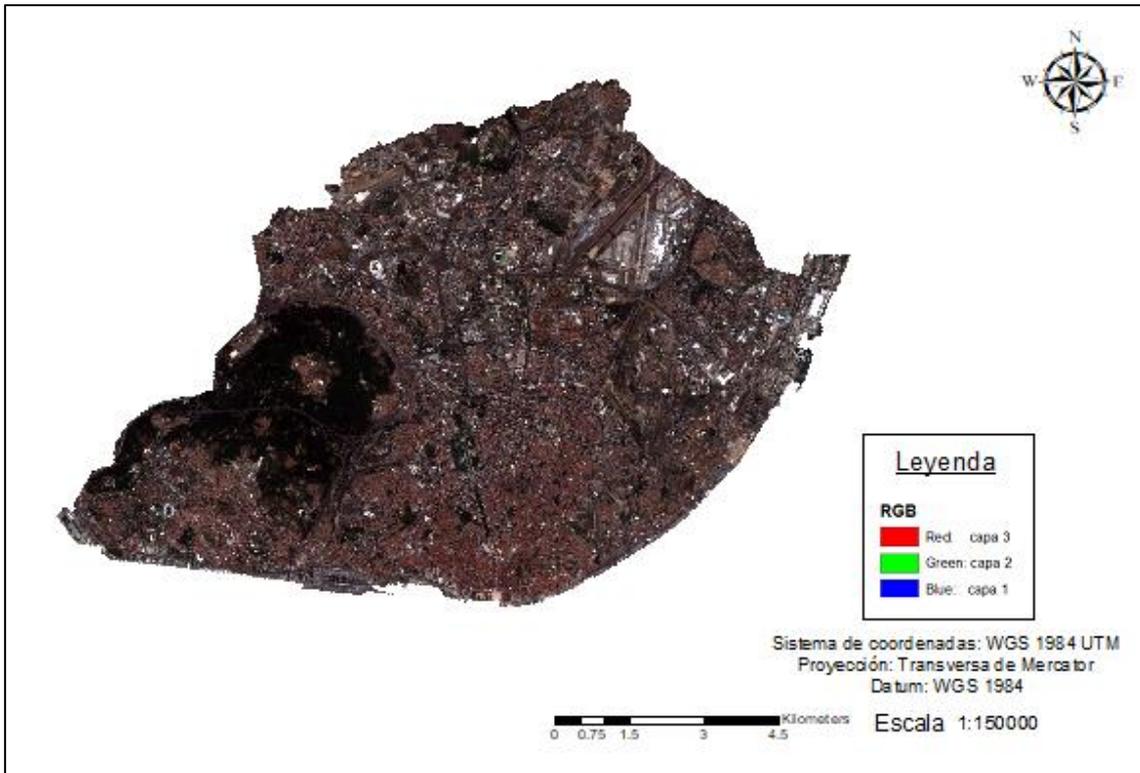


Imagen 9- Zona estudio ciudad de Lisboa

- **Londres:** capital de Inglaterra

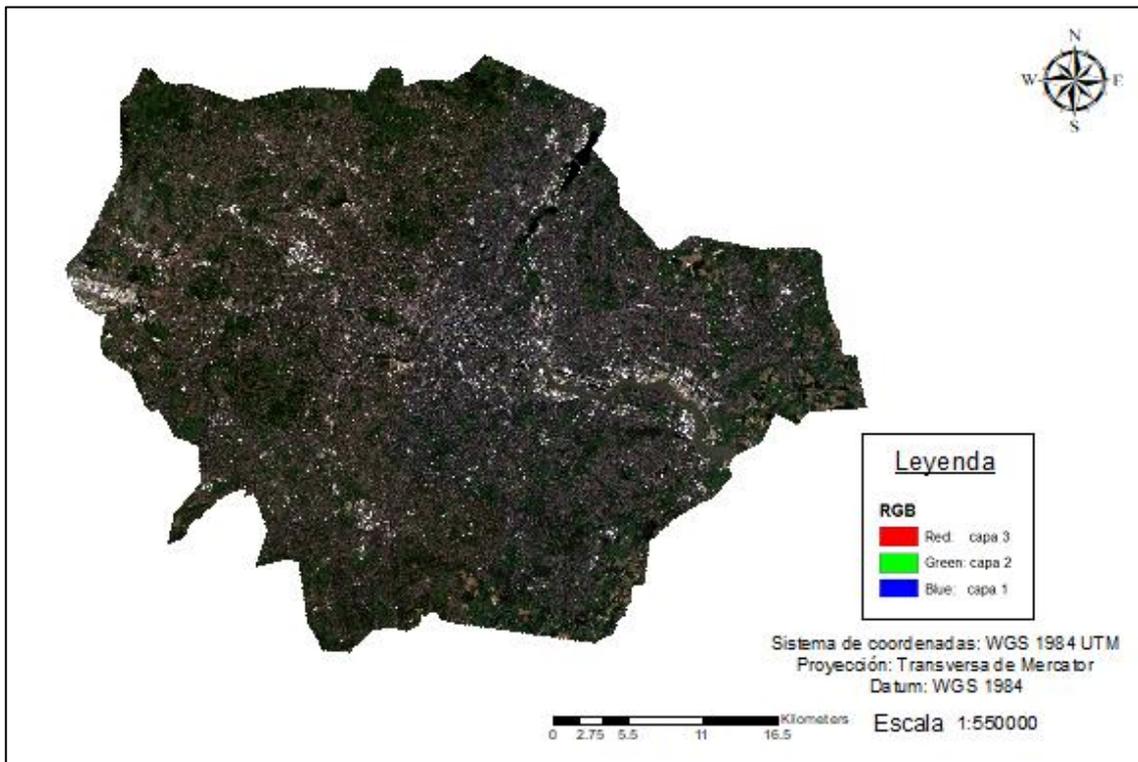


Imagen 10- Zona estudio ciudad de Londres

- **Madrid:** capital de España

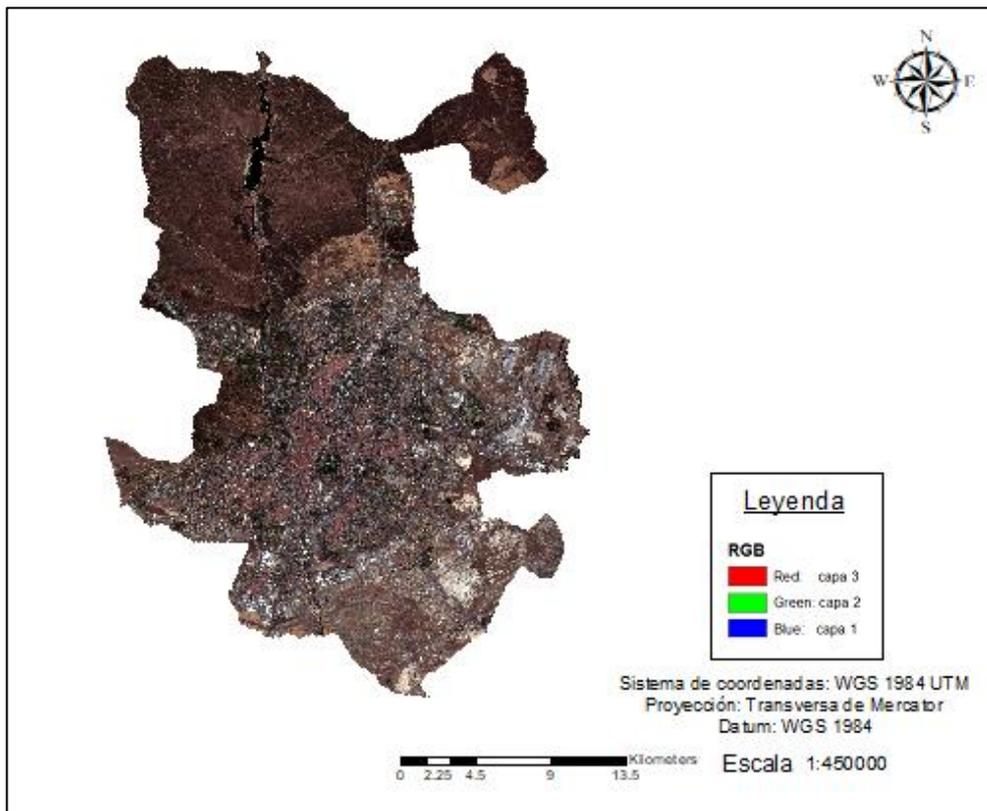


Imagen 11- Zona estudio ciudad de Madrid

- **Oslo:** capital de Noruega

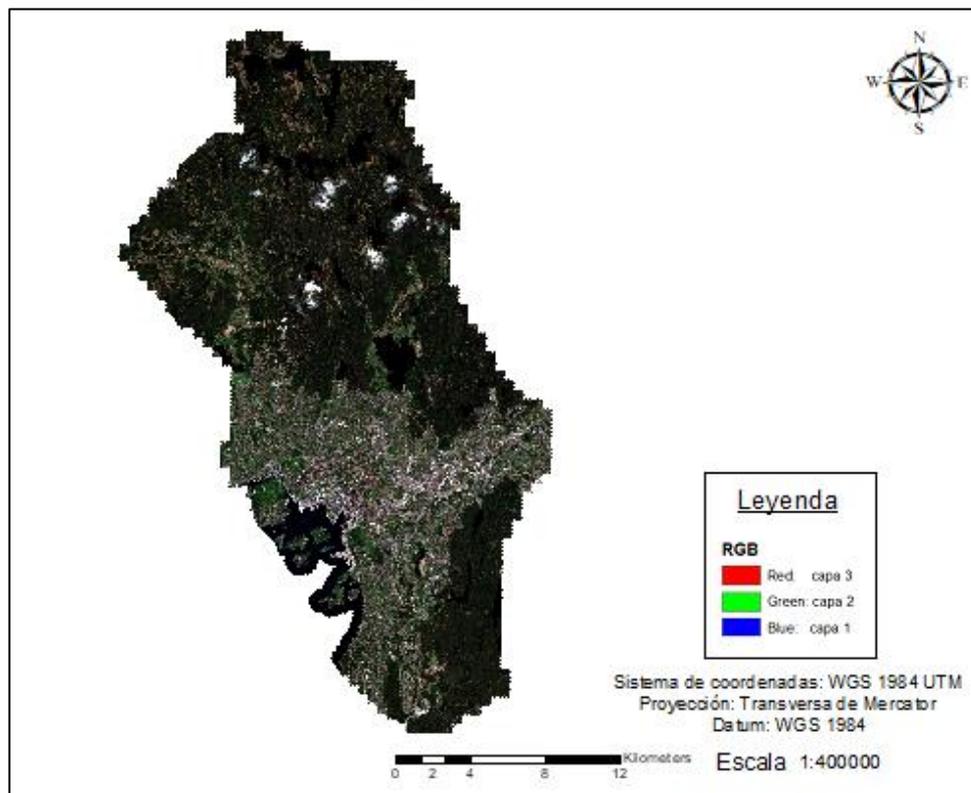


Imagen 12- Zona estudio ciudad de Oslo

- **París:** capital de Francia

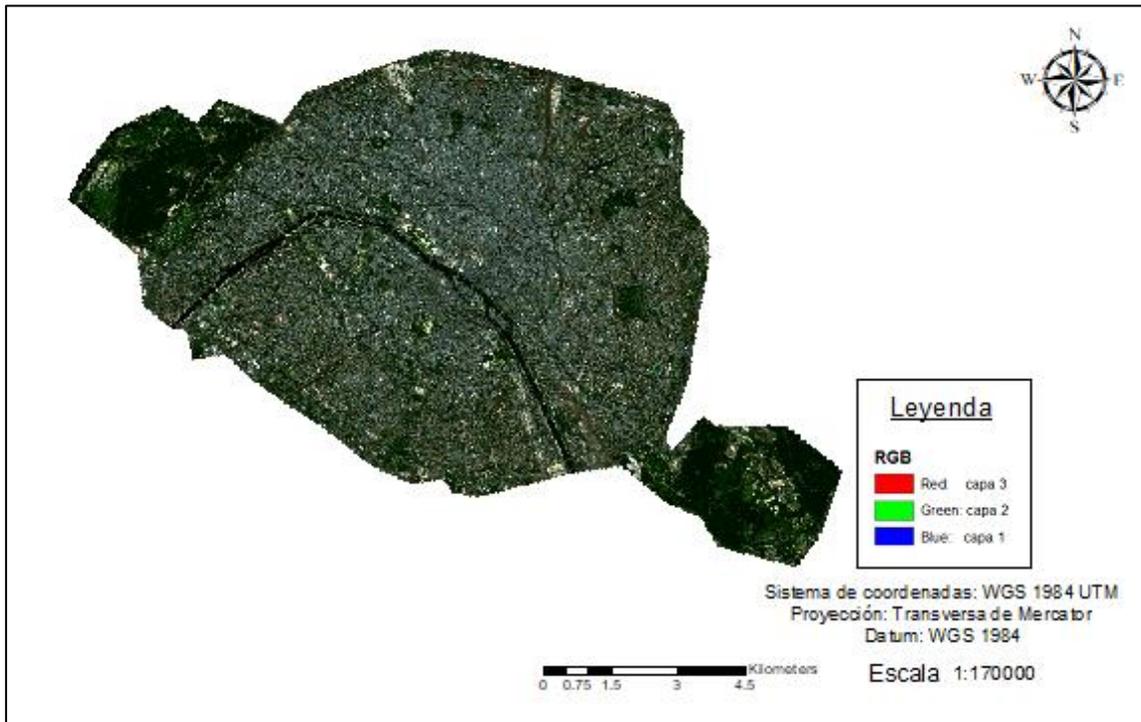


Imagen 13- Zona estudio ciudad de Paris

- **Roma:** capital de Italia

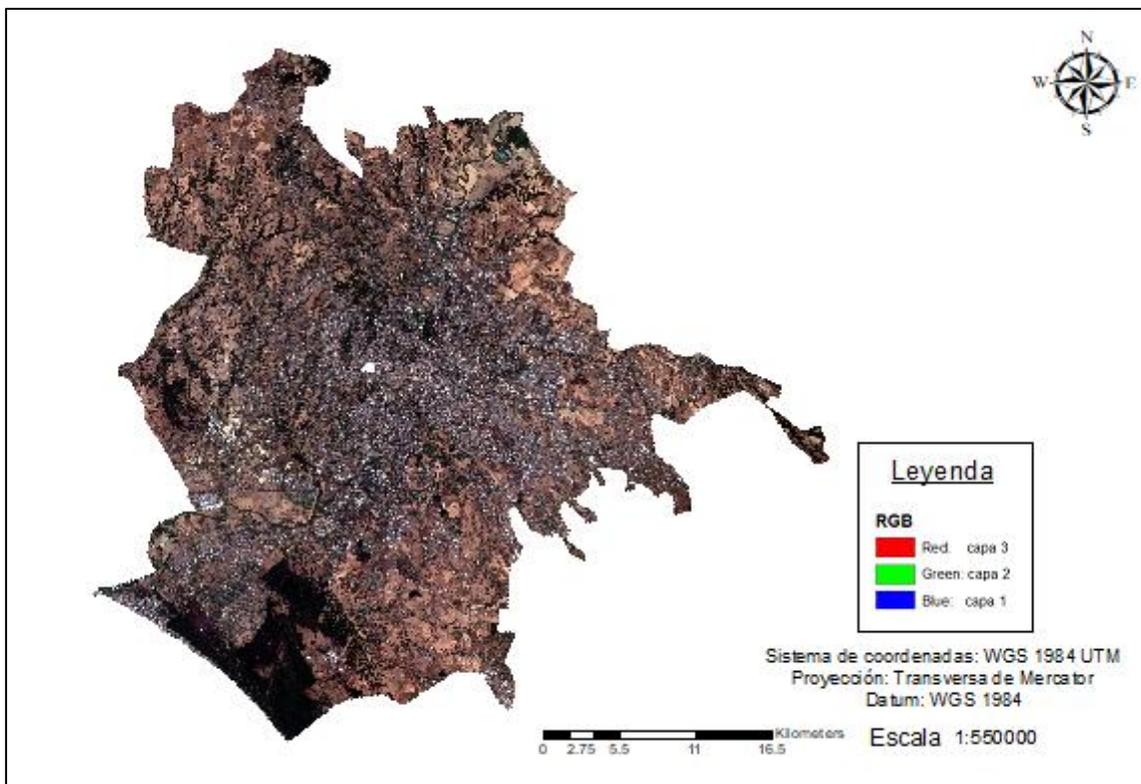


Imagen 14- Zona estudio ciudad de Roma

- **Tallin:** capital de Estonia

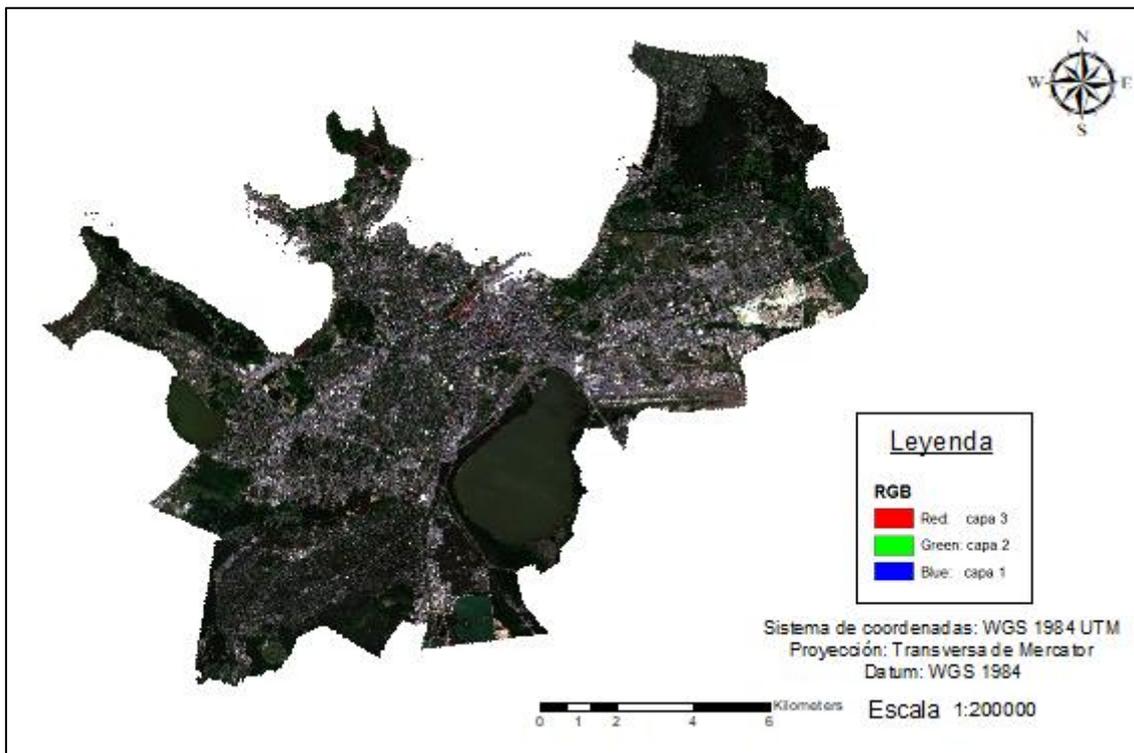


Imagen 15- Zona estudio ciudad de Tallin

- **Varsovia:** capital de Polonia

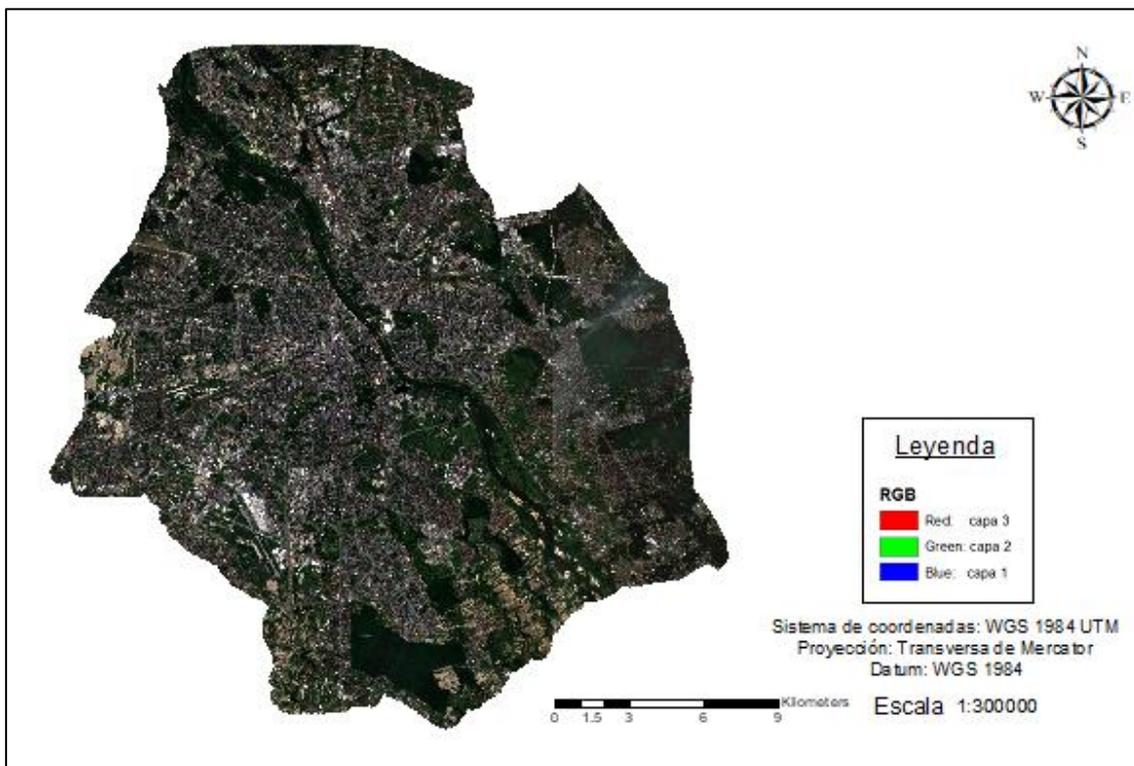


Imagen 16- Zona estudio ciudad de Varsovia

3. DATOS DE PARTIDA

3.1. Datos estadísticos

Para la realización de este trabajo se han tenido en consideración una serie de información de partida. En primer lugar, se ha hecho una búsqueda minuciosa de datos e información que va a ser de utilidad para el desarrollo del estudio. El tipo de dato en el que se va a centrar está relacionado con los índices que se van a obtener a partir de las imágenes, por lo tanto, consultaremos estos datos que serán de ayuda posteriormente.

En principio solo se va a consultar el total de población en un año determinado y para cada ciudad o zona de estudio que se ha seleccionado. Como se ha explicado anteriormente se han seleccionado un total de 15 ciudades europeas, una de cada país europeo disponible en la página de estadística consultada OECD. Estas ciudades tienen la característica común de tener una población igual o superior a 500.000 habitantes.

La OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) es un foro único en donde los gobiernos de 31 democracias y economías de mercado trabajan juntos para hacer frente a los desafíos económicos, sociales y de gobernanza relacionados con la globalización, así como para aprovechar sus oportunidades. La Organización constituye un marco para que los gobiernos comparen experiencias de políticas, busquen respuestas a problemas comunes, identifiquen las buenas prácticas y coordinen políticas públicas nacionales e internacionales. Este foro, en el que la presión de sus integrantes puede contribuir significativamente a la mejora de políticas, elabora instrumentos reconocidos a nivel internacional, toma decisiones y hace recomendaciones en áreas en que es necesario el acuerdo multilateral para que cada país progrese en una economía globalizada. Los países no miembros están invitados a sumarse a estos acuerdos y tratados. Los intercambios entre los gobiernos de la OCDE se basan en la información y el análisis que proporciona un secretariado en París. El secretariado reúne datos, observa tendencias, analiza y hace previsiones con respecto a los progresos económicos. También investiga cambios sociales o la evolución de los modelos en el comercio, el medio ambiente, la agricultura, la tecnología, el sistema tributario y más. La OCDE ayuda a los gobiernos a promover la prosperidad y a combatir la pobreza a través del crecimiento económico, la estabilidad financiera, el comercio y la inversión, la tecnología, la innovación, el estímulo empresarial y la cooperación para el desarrollo. Procura que se tomen en cuenta las implicaciones ambientales del desarrollo social y económico. Otros objetivos incluyen la creación de empleos para todos y la equidad social, así como lograr una gobernanza transparente y efectiva.

La OCDE encabeza los esfuerzos para comprender los nuevos progresos y preocupaciones, y ayudar a los gobiernos a responder a éstos. Ello incluye ajustes comerciales y estructurales, seguridad en línea, y los desafíos sobre la reducción de la pobreza en el mundo en desarrollo. Durante más de 40 años, la OCDE ha sido una de las mayores y más confiables fuentes de información estadística, económica y social. Las bases de datos de la OCDE abarcan campos muy diversos: informes nacionales, indicadores económicos, comercio, empleo, migración, educación, energía, salud y medio ambiente. Y publica gran parte de sus investigaciones y análisis. En la última década, la OCDE ha abordado una serie de problemas económicos, sociales y ambientales, acrecentando su compromiso con los negocios, las uniones comerciales y otros representantes de la sociedad civil. Las negociaciones de la OCDE sobre el sistema tributario y los precios de transferencia, por ejemplo, han llevado a cerrar tratados fiscales bilaterales en todo el mundo. La OCDE está integrada por un grupo de países que comparten las mismas ideas. Para ser miembro, un país debe practicar los principios de la economía de mercado y ser una democracia pluralista. La OCDE es "rica" en el sentido de que sus 31 miembros producen casi el 60 por ciento de los bienes y servicios del mundo, pero de ningún modo es exclusiva. Los países

no miembros están invitados a suscribirse a los convenios y tratados de la OCDE, que comparte sus conocimientos y puntos de vista sobre temas de interés común con más de 100 naciones. En mayo de 2007, los países de la OCDE acordaron convocar a Chile, Eslovenia, Estonia, Israel y Rusia a fin de discutir su ingreso a la Organización, y ofrecieron un mayor acercamiento, con miras a su posible ingreso, a Brasil, China, India, Indonesia y Sudáfrica.

Los datos que se han obtenido como bien se ha dicho son la población total de estas áreas de municipios, así como su delimitación obtenida en otra página que posteriormente se explicará. A continuación, vemos los pasos seguidos para la recolección de esta información.

En primer lugar, se abre la página web de este organismo que contiene los datos estadísticos 'http://stats.oecd.org' y se hace una selección en el apartado de temas 'Data by themes' correspondiente a 'Regions and Cities'.

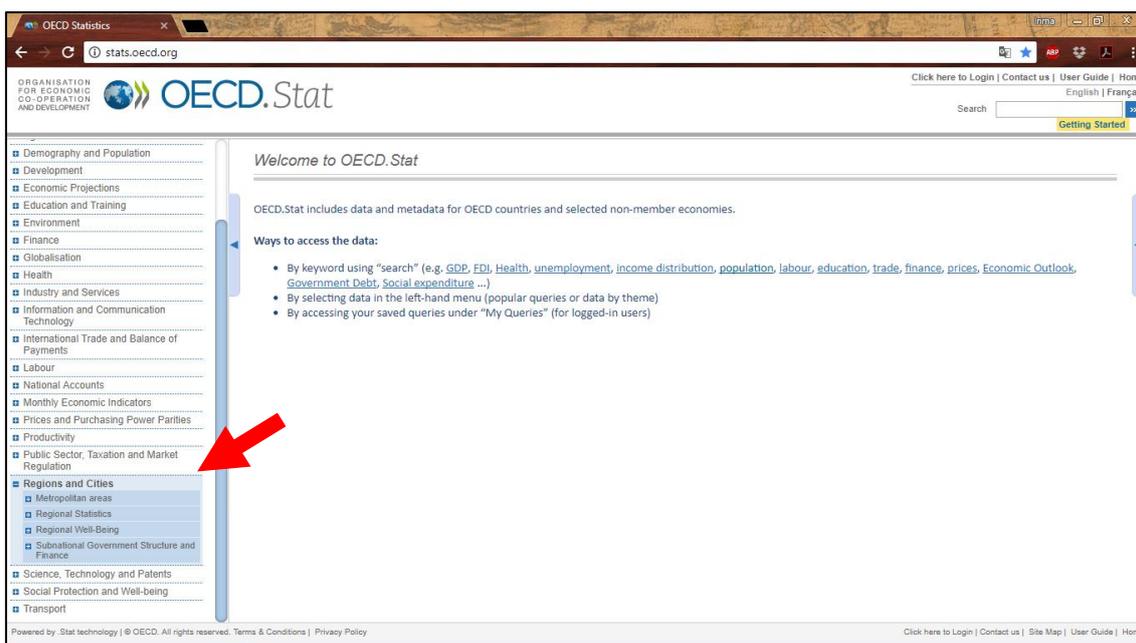


Imagen 17- Acceso página OECD

Posteriormente, se selecciona la pestaña 'Metropolitan areas', la cual contendrá dentro la tabla con los datos que buscamos: 'Population in cities'.



Imagen 18- Ruta a los datos estadísticos

Al abrir la tabla nos encontramos en que la información disponible no está referida a la ciudad en concreto como indica su título, sino que está referida a un área de unas dimensiones un poco más grandes. Esta área no es la que se selecciona ya que no es la que se va a estudiar en este trabajo, que como indica en la información, es un área económica funcional la cual ha sido desarrollada por la OECD y la UE como una definición armonizada de las zonas urbanas y se caracteriza por una "ciudad" densamente habitada y una "zona de desplazamiento", cuyo mercado de trabajo está altamente integrado con los núcleos.

Al desplegar la pestaña correspondiente a las variables que se muestran en la tabla de datos, se visualiza un 'desglose' de esta área metropolitana en el que consta 'Population of the city área(persons)' que es la población del área de la ciudad y 'Population of the commuting zone área(persons)' que se corresponde con el área de influencia de la ciudad. Esta metodología permite comparar áreas urbanas funcionales de tamaño similar entre países. Digamos que se compone por la ciudad (con más de 500.000 habitantes) y su área de influencia.

The screenshot shows a data table interface with the following structure:

Metropolitan areas									
Page: 1 / 2									
Variables	Unit				2005	2006	2007		
Total population of the metropolitan area (persons)	Total population of the metropolitan area (persons)								
Population of the city area (persons)	Population of the city area (persons)								
Population of the commuting zone area (persons)	Population of the commuting zone area (persons)								
Population of the metropolitan area as a share of national value (%)	Population of the metropolitan area as a share of national value (%)								
Population density (persons per km2)	Population density (persons per km2)								
Metropolitan areas									
AUS: Australia		19 028 802	19 274 701	19 495 210	19 720 737	19 932 722	20 176 844	20 450 966	20 827 4
AUS01: Sydney		4 061 905	4 102 580	4 135 637	4 162 593	4 184 763	4 217 563	4 256 161	4 325 3

Imagen 19- Selección de los datos necesarios

A continuación, se explica el procedimiento seguido para delimitar las zonas urbanas funcionales de la OECD.

La definición de áreas urbanas en los países de la OCDE utiliza la densidad de población para identificar los núcleos urbanos y los flujos de viaje al trabajo para identificar las zonas cuyo mercado de trabajo está altamente integrado con los núcleos.

La metodología consta de tres pasos principales:

➤ **PASO 1. Identificación de los municipios principales a través de datos de población en cuadrícula:**

En la primera etapa del procedimiento, los datos de la población en cuadrícula se utilizan para definir áreas urbanizadas o "grupos urbanos de alta densidad" en el territorio nacional, ignorando las fronteras administrativas, ya que los núcleos urbanos se definen a través de datos de población en malla. Los datos de la cuadrícula de población (1 km²) para los países europeos provienen del conjunto de datos Corine Land Cover, producido por el Centro Común de Investigación para la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEE).

Un núcleo urbano consiste en un grupo de alta densidad de celdas contiguas de 1 km² con una densidad de al menos 1.500 habitantes por km² y los huecos llenos.

Pequeños grupos (que albergan menos de 50.000 personas en Europa, Estados Unidos, Chile y Canadá, 100.000 personas en Japón, Corea y en México) se eliminan. Un municipio se define como parte de un núcleo urbano si al menos el 50% de la población del municipio vive dentro del grupo urbano.

➤ **PASO 2. Conexión de núcleos no contiguos pertenecientes a la misma área urbana funcional:**

Los núcleos urbanos definidos en el PASO 1 resultan ser buenas aproximaciones de las superficies contiguas y altamente constructivas. Sin embargo, no todas las zonas urbanas de la OCDE se caracterizan por la contigüidad en el desarrollo urbanizado. Muchos de ellos se están desarrollando de manera policéntrica, alojando núcleos densamente habitados que están físicamente separados, pero económicamente integrados. Una innovación importante de esta metodología identifica qué áreas urbanas tienen tal estructura policéntrica. Esto se hace simplemente mirando las relaciones entre los núcleos urbanos, usando la información contenida en los datos de conmutación. Dos núcleos urbanos se consideran integrados y, por lo tanto, forman parte de la misma área metropolitana policéntrica, si más del 15% de la población residente de cualquiera de los núcleos conmuta para trabajar en el otro núcleo. Este paso permite una corrección de posibles discontinuidades en la densidad de población dentro del mismo centro urbano.

➤ **PASO 3. La identificación del interior urbano**

Una vez que los municipios densamente habitados se agrupan para formar núcleos urbanos y se identifican zonas metropolitanas policéntricas con núcleos atados, el paso final de la metodología consiste en delinear el interior de las áreas metropolitanas. El "interior" puede definirse como la "cuenca de trabajo" de la mano de obra urbana.

Fuera del núcleo densamente habitado. El tamaño del interior, en relación con el tamaño del núcleo, da indicaciones claras de la influencia de las ciudades sobre las áreas circundantes.

Los interiores urbanos se definen como todos los municipios con por lo menos el 15% de sus residentes ocupados que trabajan en un cierto núcleo urbano. Se incluyen municipios rodeados por una sola área urbana funcional y se suprimen los municipios no contiguos.

Una vez explicados y analizados los datos disponibles se elige la variable 'Population of the city área'. Los datos extraídos corresponden al 2014 ya que es la última fecha disponible, pero se va a considerar buena para 2017 ya que la población no es una variable que cambie drásticamente de año en año y se entiende que es una buena aproximación a la población actual. Con un poco más de tiempo se podría haber ido ciudad por ciudad buscando la página de estadística correspondiente a cada país y obteniendo así datos más precisos. Por lo tanto, tenemos una lista de 15 ciudades con su población como se ve a continuación.

Ciudades	Población (nº personas)
Atenas	2715595
Berlin	3467616
Bruselas	1167508
Budapest	1692974
Copenhague	1219803
Estocolmo	1501239
Helsinki	1041177
Lisboa	2416489
Londres	9942283
Madrid	5264307
Oslo	632540
Paris	9532016
Roma	2638663
Tallin	398108
Varsovia	1720167

Tabla 1- Población por ciudad

Para descargar las delimitaciones de los municipios se ha hecho una búsqueda exhaustiva en diferentes páginas de datos cartográficos libres. Localizando la página web 'http://www.diva-gis.org' en la que se encuentra información de países de todo el mundo.

DIVA-GIS es un programa informático en sí, gratuito, para cartografiar y analizar datos geográficos (GIS). Con DIVA-GIS se puede hacer mapas del mundo, o de un área muy pequeña, usando, por ejemplo, los límites del estado, los ríos, una imagen de satélite y las ubicaciones de sitios donde se observó una especie animal, así como datos espaciales gratuitos para todo el mundo.

Como se ha dicho, los datos se han obtenido a partir de este organismo, en el apartado 'Free Spatial Data', lo que viene a ser datos espaciales gratuitos. En este apartado se encuentran los datos espaciales disponibles, entre los cuales se encuentra el que interesa para este trabajo que es 'Country level', donde se encontrarán los límites administrativos

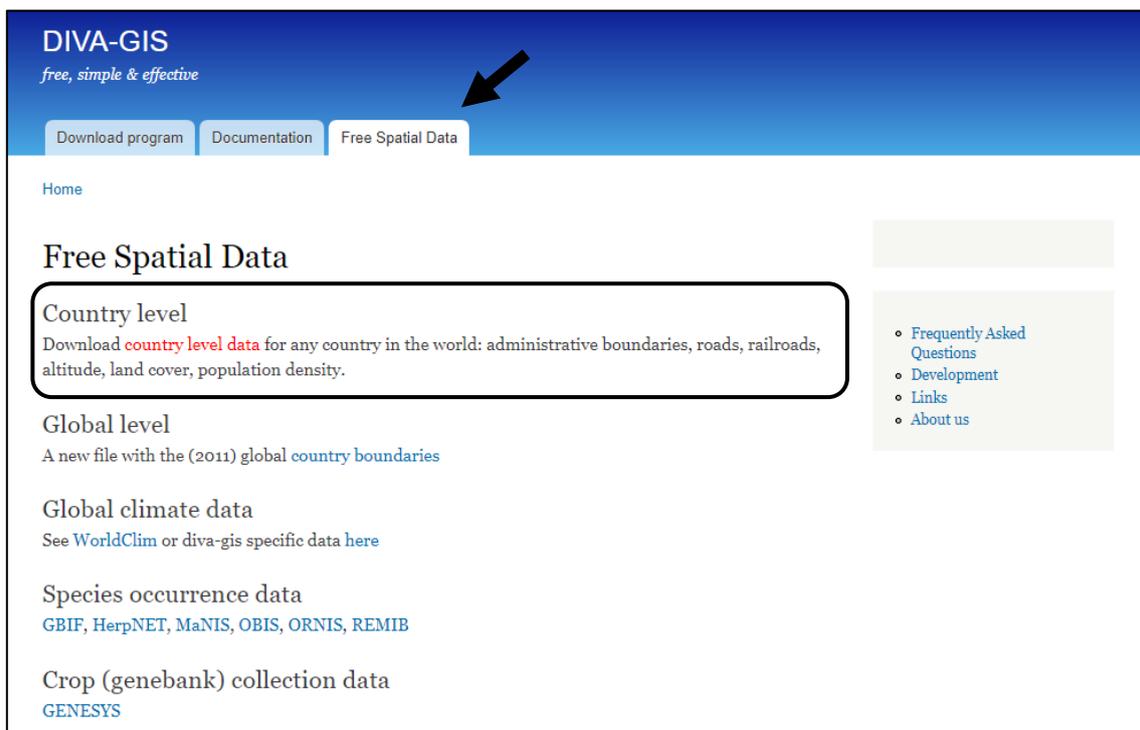


Imagen 20- Página web DIVA-GIS

Dentro de las opciones de descarga además de los límites administrativos se puede encontrar hidrografía, red de carreteras, modelos de elevaciones, cobertura de suelo, densidad de población en formato ráster y datos climatológicos entre otros.

Se puede decir que es una página bastante completa y gratuita que sin duda ha sido de gran utilidad para el estudio. A continuación, vemos una tabla con la información disponible anteriormente nombrada, con su formato y resolución.

Subject	Description	Source	Format	Resolution
Administrative areas (boundaries)	Country outlines and administrative subdivisions for all countries. The level of subdivision varies between countries	GADM , version 1.0	Vector (area)	-
Inland water	Rivers, canals, and lakes. Seperate files for line and area features	Digital Chart of the World	Vector (line and area)	-
Roads	Roads	Digital Chart of the World	Vector (line)	-
Railroads	Railroads	Digital Chart of the World	Vector (line)	-
Elevation	SRTM30 dataset. CGIAR-SRTM data aggregated to 30 seconds	CGIAR SRTM (3 seconds resolution)	Grid	30 seconds
Land cover	Land cover, original data resampled onto a 30 seconds grid	GLC2000	Grid	30 seconds
Population	Population density (old)	CIESIN , 2000. Global gridded population database	Grid	30 seconds
Climate	Monthly climate data	WorldClim	Grid	30 seconds
Gazetteer	A gazetteer is a list of place names and their coordinates. The files you can download here are for use in DIVA for automatic georeferencing (to assign coordinates to places). The files should be placed in the \gazet directory. (old, use Biogeomancer). They can also be used to map localities, however you can download more recent files from NIMA	U.S. National Imagery and Mapping Agency's (NIMA) database of foreign geographic feature names	DBF	-

Imagen 21- Información datos disponibles

Para la descarga de la información necesaria, es decir, los archivos shape de cada país en los cuales figuraran las ciudades elegidas, se seleccionará el país y el campo 'Administrative areas'.

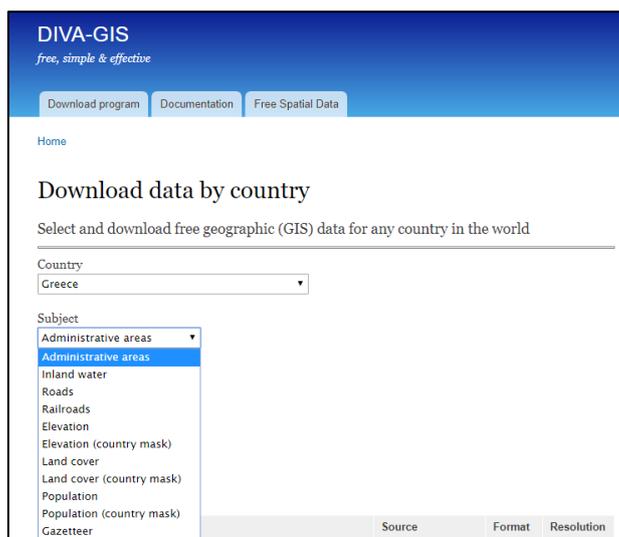


Imagen 22- Selección de país y dato

En el apartado posterior correspondiente a 'Metodología' se describirá el tratamiento de estos datos y como se extraerá la información de cada archivo.

3.2. Imágenes Sentinel-2

La ESA está desarrollando una nueva familia de misiones para atender a las necesidades operacionales del programa Copérnico. Cada misión Sentinel está formada por una constelación de dos satélites, lo que permite cumplir los requisitos de cobertura y frecuencia de observación y ofrecer un conjunto robusto de datos para los servicios del programa 'Copernicus'.

Copernicus es el programa de observación de la Tierra más ambicioso de la historia, diseñado para proporcionar información precisa, actualizada y de fácil acceso para mejorar la gestión del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad ciudadana. Copernicus es el nuevo nombre del programa para la Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad, antes conocido como GMES.

Esta iniciativa de misiones está liderada por la Comisión Europea (CE), en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA). La ESA es la responsable de coordinar la distribución de los datos recogidos por más de 30 satélites, mientras que la EEA (Agencia Europea de Medio Ambiente) se encargará de la información recopilada por sensores en tierra o aerotransportados. La Comisión Europea está a cargo de la iniciativa en nombre de la Unión Europea, definiendo los requisitos y gestionando los diferentes servicios.

Dentro de la familia sentinel se pueden encontrar las siguientes misiones, las cuales transportan las tecnologías más avanzadas para la observación de la Tierra, como los instrumentos radar o multiespectrales que permitirán monitorizar cualquier cambio en el terreno, en los océanos o en la atmósfera.

- **Sentinel-1:** es una misión radar en órbita polar capaz de tomar imágenes en cualquier condición meteorológica, de día o de noche, para estudiar la superficie de la tierra y los océanos. El primer satélite Sentinel-1 se lanzó a bordo de un Soyuz desde el Puerto Espacial Europeo, en la Guayana Francesa, el pasado día 3 de abril de 2014.
- **Sentinel-2:** es una misión multiespectral de alta resolución en órbita polar, diseñada para monitorizar la superficie de la tierra estudiando la cubierta vegetal, los usos del terreno y de las aguas, los cauces navegables y las zonas costeras. Sentinel-2 también tomará datos para los servicios de emergencias.
- **Sentinel-3:** transporta distintos instrumentos para medir la elevación, la temperatura o el color de la tierra y de los océanos con gran precisión y fiabilidad. Esta misión contribuirá significativamente a los servicios de pronóstico marítimo y de la monitorización del clima y del medio ambiente.
- **Sentinel-4:** es un instrumento embarcado en un satélite MetOp de Segunda Generación que monitorizará la atmósfera de nuestro planeta desde una órbita polar.
- **Sentinel-5 Precursor:** es un satélite concebido para reducir la discontinuidad de datos entre las misiones de Envisat (y en especial, de su instrumento Sciamachy) y Sentinel-5. Esta misión estará dedicada al estudio de la atmósfera.

La misión que interesa en este estudio, de la cual se obtendrán las imágenes a analizar y que serán de utilidad para obtener la información necesaria para el trabajo es la **Sentinel-2**.

Es una misión multiespectral de alta resolución en órbita polar, diseñada para monitorizar la superficie de la tierra. También consta de dos satélites, Sentinel-2A que fueron lanzados en 2015, y Sentinel-2B en 2016. Juntos, los dos ingenios pueden obtener imágenes de la totalidad de la superficie de tierra firme del planeta en sólo cinco días.

Sentinel-2 se ha diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de los servicios operativos de seguimiento del terreno y de emergencia. Los datos se emplearán principalmente para la monitorización de desastres naturales (inundaciones, incendios forestales, corrimiento de tierras, erosión) y para las áreas de uso del terreno, aislamiento de la superficie de los suelos, planificación territorial, gestión forestal y ayuda humanitaria.

Sentinel-2 cuenta con un barrido de 290 kilómetros de ancho, resoluciones de 10, 20 y 60 metros y un instrumento de 13 canales ópticos, que funcionará entre las bandas de visible/cercano al infrarrojo e infrarrojo de onda corta. Con una calidad mejorada, se ocupará de garantizar la continuidad de las misiones presentes Spot y Landsat. Aportará un plazo de revisita más breve, mayor amplitud de barrido, área de cobertura más amplia, más bandas de espectro y una mejor calibración y calidad de imagen.

La misión se basa en una constelación de dos satélites idénticos en la misma órbita, separados por 180 grados, para lograr una cobertura y una descarga de datos óptimos. Cada cinco días los satélites cubrirán todas las superficies terrestres, grandes islas y aguas costeras. La misión proporcionará sobre todo información útil para las prácticas agrícolas y forestales, y para gestionar la seguridad alimentaria. Las imágenes de los satélites serán empleadas para determinar varios índices vegetales, como el área con clorofila en la hoja y el contenido en agua.

Además de para vigilar el crecimiento de las plantas, Sentinel-2 puede mapear el estado y los cambios de la superficie terrestre, y observar las selvas. También alertará de la contaminación en lagos y aguas costeras. Las imágenes de inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos contribuirán a gestionar las consecuencias de estos desastres, y ayudarán en las tareas de ayuda humanitaria.

Sentinel-2A es el resultado de una colaboración estrecha entre la ESA, la Comisión Europea, la industria, los proveedores de servicios y los usuarios de datos. Ha sido diseñado y construido por un consorcio de 60 compañías liderado por Airbus Defence and Space, con el apoyo de la agencia espacial francesa CNES para optimizar la calidad de las imágenes, y del Centro Aeroespacial Alemán DLR para mejorar la recuperación de datos mediante comunicaciones ópticas.

Con su cámara multiespectral y su amplia cobertura, la misión Sentinel-2 ofrece no solo continuidad, sino que amplía las capacidades de las misiones Spot, francesa, y Landsat, estadounidense.



Imagen 23- Satélite Sentinel-2

A continuación, se ofrece una tabla resumen de las características de cada banda de las imágenes obtenidas con esta misión.

Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Espectral (nm)
Banda 1 (Aerosol)	60	443
Banda 2 (Azul)	10	490
Banda 3 (Verde)	10	560
Banda 4 (Roja)	10	665
Banda 5 (Infrarrojo cercano-NIR)	20	705
Banda 6 (Infrarrojo cercano-NIR)	20	740
Banda 7 (Infrarrojo cercano-NIR)	20	783
Banda 8 (Infrarrojo cercano-NIR)	10	842
Banda 8a (Infrarrojo cercano-NIR)	20	865
Banda 9 (Vapor de Agua)	60	9945
Banda 10 (Cirrus)	60	1375
Banda 11 (Infrarrojo Lejano-SWIR)	20	1610
Banda 12 (Infrarrojo Lejano-SWIR)	20	2190

Tabla 2- Características imagen Sentinel-2



Imagen 24- Imagen obtenida por el satélite Sentinel-2

Se sabe que las misiones Sentinel, no son las únicas operativas en la actualidad, de hecho, existen otras organizaciones que tiene su flota de satélites que capturan de igual forma imágenes que posteriormente están disponibles. A continuación, se hace una comparativa con Landsat (una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre) y Spot (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).

Descripción	LANDSAT 1-8	SPOT	SENTINEL-2
Vida de la misión	1972-Presente	1986-Presente	2015-Presente
Instrumento principal	Scanner	Pushbroom	Pushbroom
Repetición de ciclos (días)	16	26	5
Ancho de franja	185	2x60	290
Bandas espectrales	7	4	13
Resolución Espacial (metros)	30,60	25,10,20	10,20,60
Costo	Gratuito	Pago	Gratuito

Tabla 3- Comparación Sentinel-2 con otras misiones

4. METODOLOGÍA

4.1. Descarga imágenes

La descarga de imágenes se hará a través de la página <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> perteneciente a la 'Agencia Espacial Europea'. El 'Copernicus Open Access Hub' es un sistema basado en web diseñado para proporcionar a los usuarios de datos EO, archivos de espejo distribuidos y capacidades de difusión masiva para los productos Sentinel.

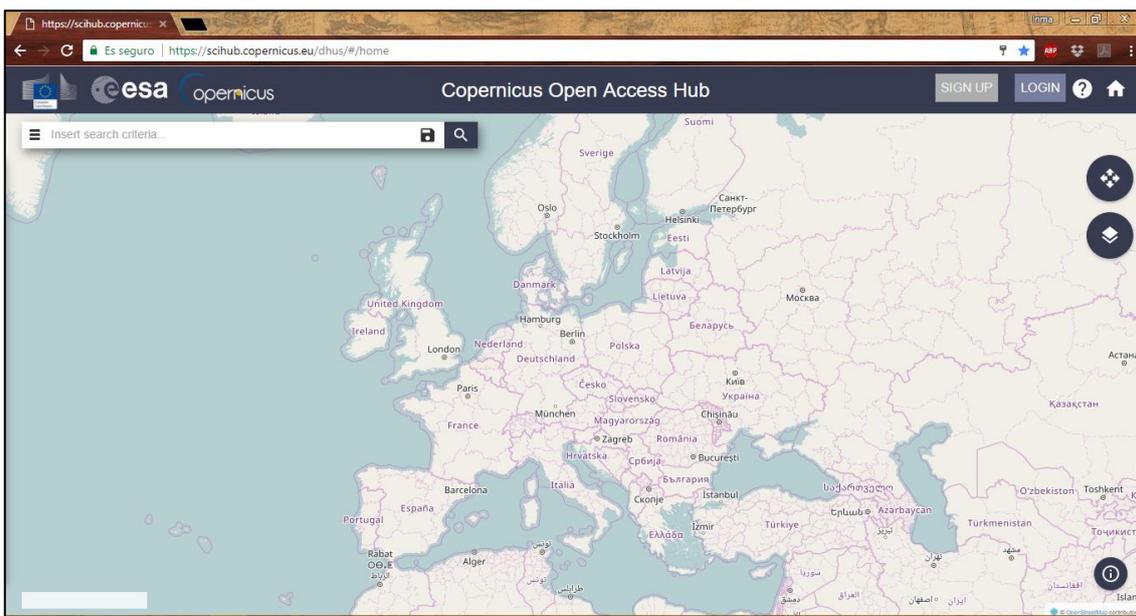


Imagen 25- Página principal del servicio de descargas de Copernicus

En primer lugar, se pedirá usuario y contraseña necesarios para la descarga de las imágenes. Una vez registrados, rellenamos el 'LOGIN' y entramos en la página.

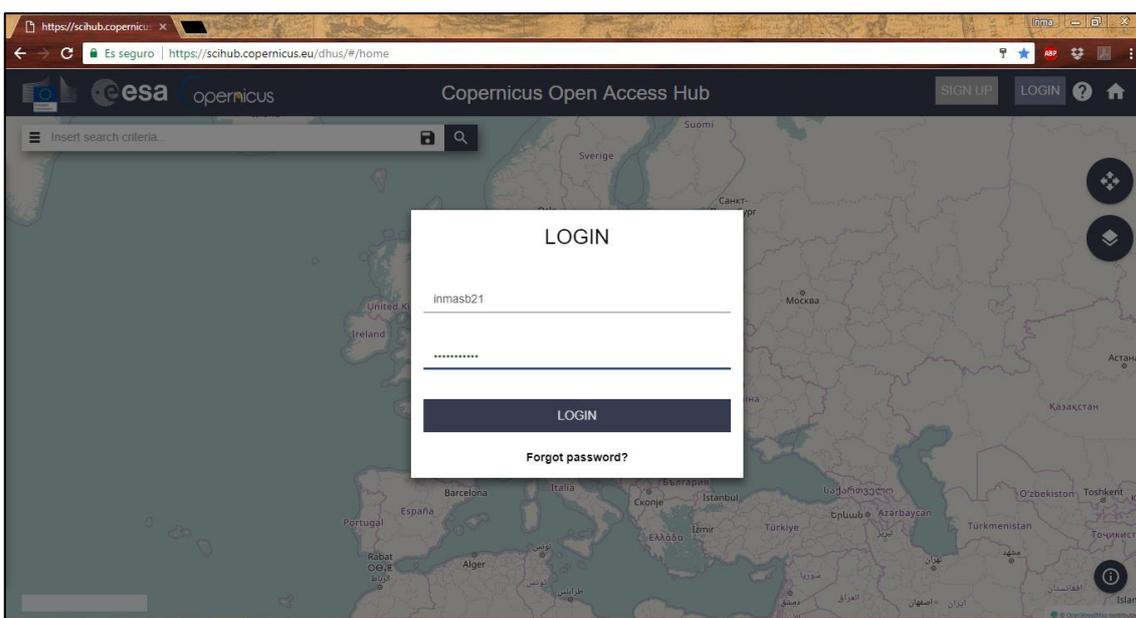


Imagen 26- Ventana correspondiente al logueo del usuario

Como ejemplo de descarga de imágenes se va a realizar solamente la de una ciudad, en este caso Roma, de la siguiente manera.

Para descargar la imagen o imágenes correspondientes a la ciudad de roma, se localiza en el mapa y se hace un zoom a ella. Una vez localizada se selecciona la superficie correspondiente con un recuadro.

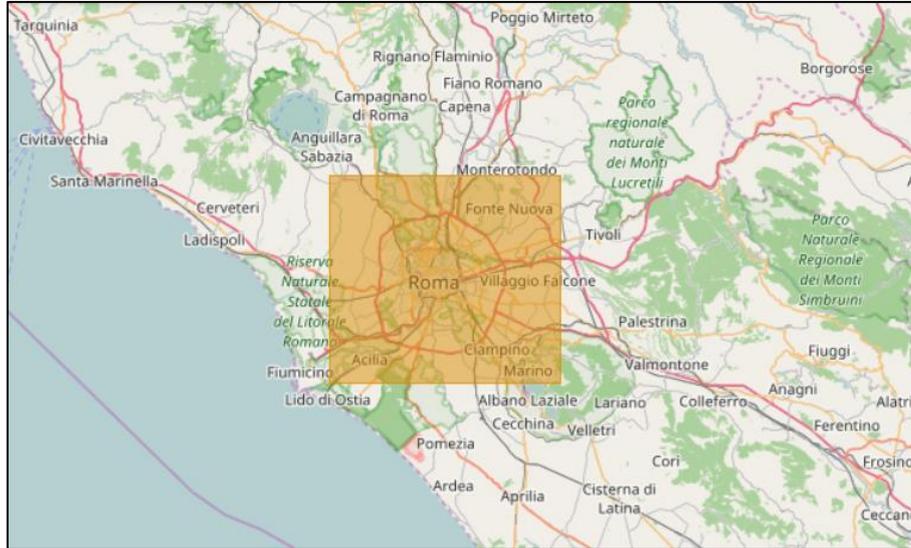


Imagen 27- Selección zona de estudio

Ahora vamos a las opciones de búsqueda y seleccionamos los criterios que serán los que marcarán los resultados.

En primer lugar, se selecciona que los resultados los ordene por fecha de detección, a continuación, se selecciona el rango de fechas en las que se tomaron las imágenes que se quiere descargar, para así tener todas las zonas en un mismo intervalo de tiempo. En este trabajo se selecciona un rango reciente, desde el 1 de Abril hasta el 30 de Junio de 2017.

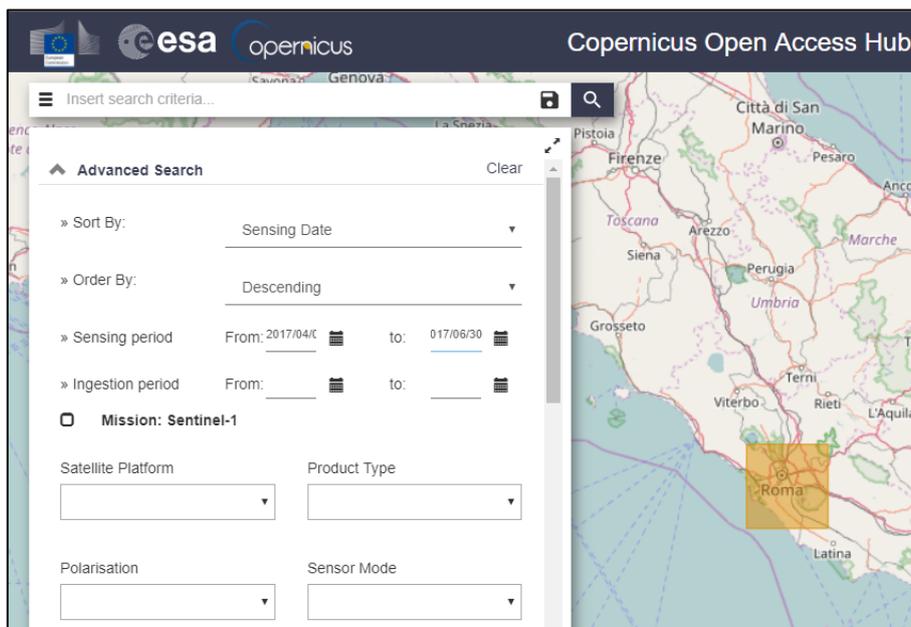


Imagen 28- Opciones de búsqueda

Después se marca la opción de 'Sentinel2' que es la misión que interesa, como se ha explicado anteriormente. Y se da a buscar:

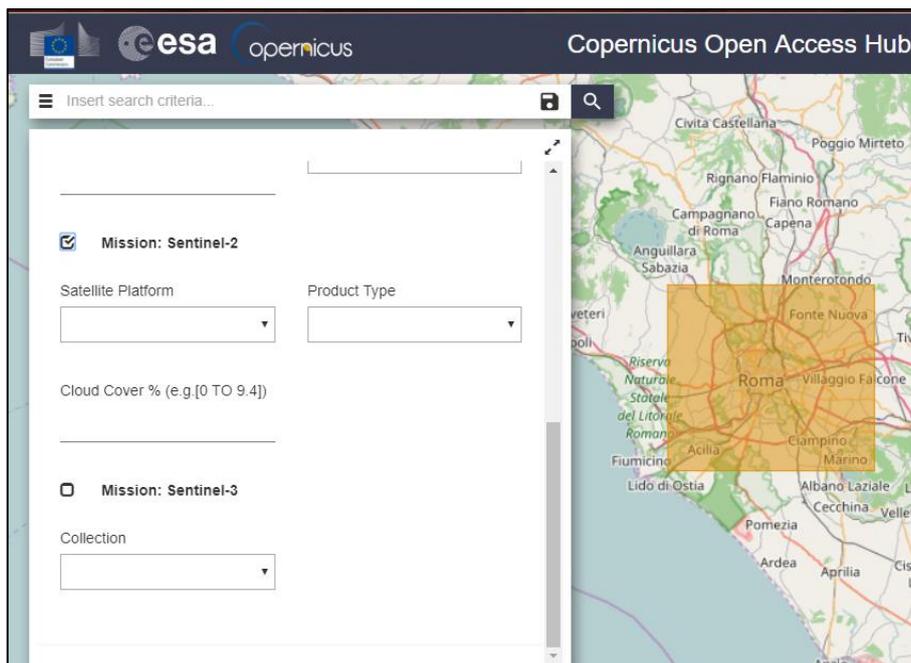


Imagen 29- Opciones de búsqueda parte 2

De los resultados se va a intentar coger una imagen que abarque toda la zona de estudio y que tenga la menos cobertura de nubes posible, para reducir el tiempo de corrección de la imagen.

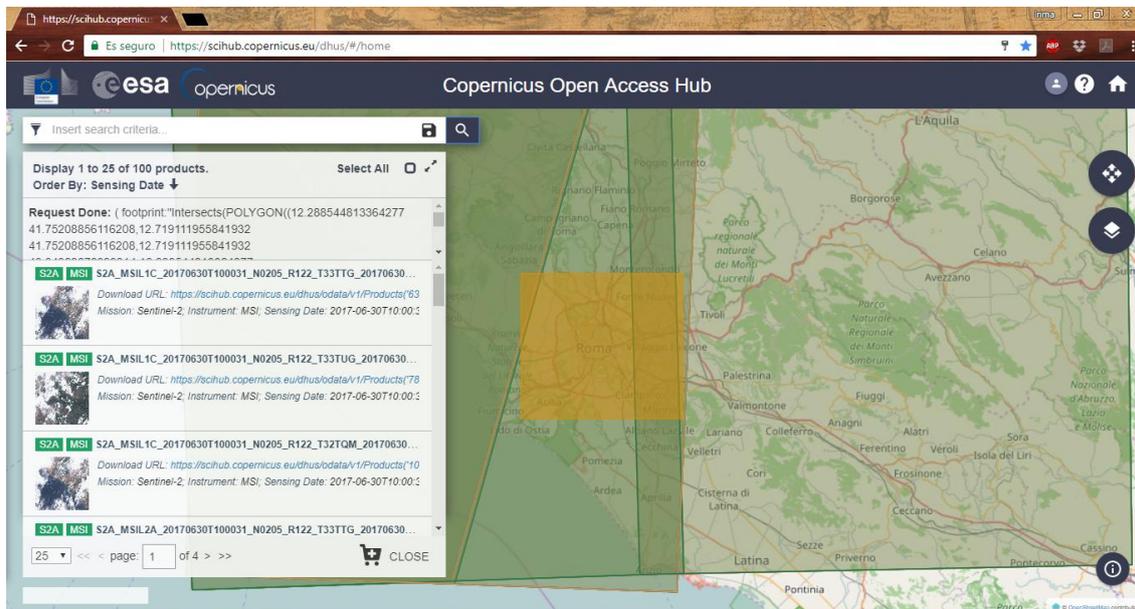


Imagen 30- Resultados de la búsqueda

Se selecciona una de las miniaturas que se cree que puede cubrir la zona y se abre su vista previa y su huella. Se confirma que efectivamente la imagen corresponde con la zona que se desea estudiar. Por esta razón se da a descargar.

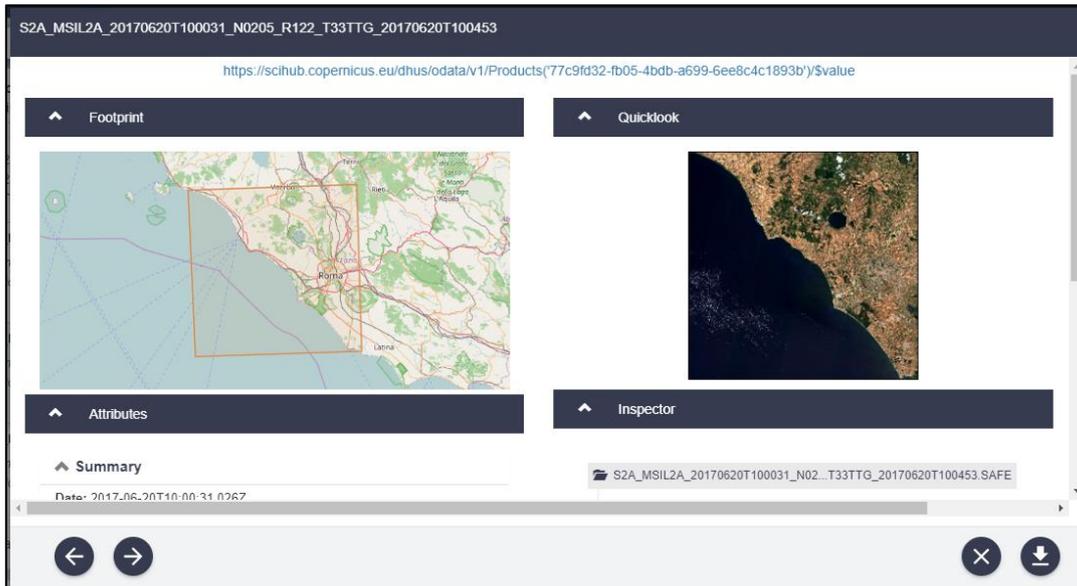


Imagen 31- Imagen elegida con sus correspondientes elementos

En el caso de algunas ciudades se encuentra el inconveniente que se necesita más de una imagen para cubrir la zona de estudio, por esta razón se descargarán dos o más imágenes adicionales, según hagan falta, para completar la zona como es el caso de Londres que se observa a continuación:

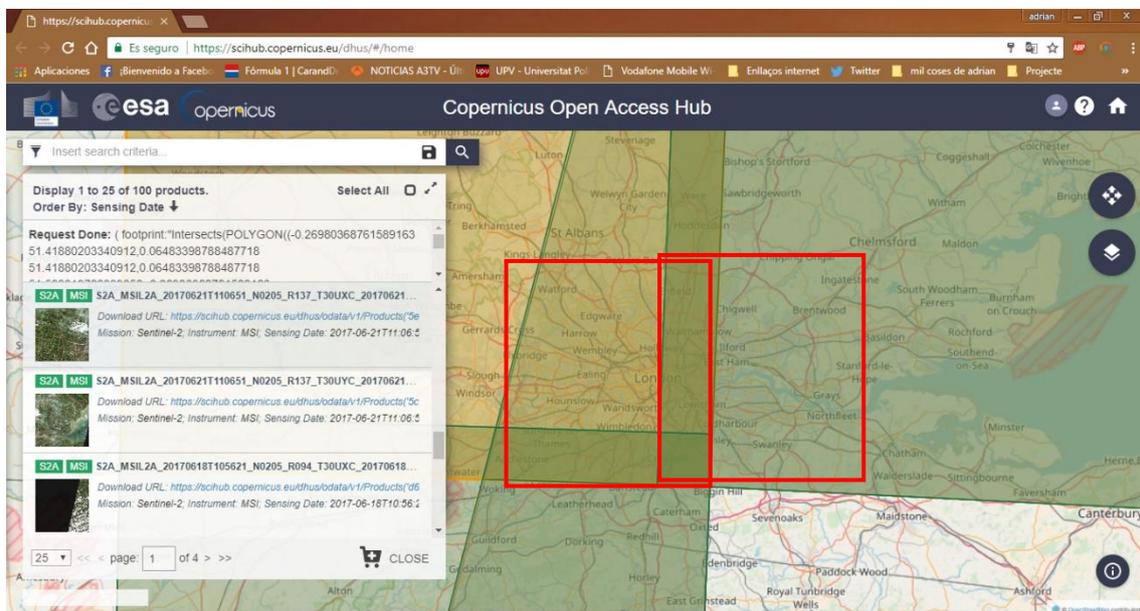


Imagen 32- Zona de estudio de Londres

4.2. Extracción de los polígonos de cada país

Al descargar los shape de la página de 'http://www.diva-gis.org' se visualiza que por cada país descargado se ha obtenido una serie de archivos. Entre estos archivos figuran varias capas shape de tipo polígono, las cuales contienen límites administrativos a diferentes escalas, se detalla el caso de Madrid por ejemplo que nos es más conocido.

el motivo anteriormente expuesto será por el cual se irá analizando capa a capa seleccionando la ciudad que necesitamos de cada país y la delimitación correspondiente ya que no todos los países tienen la misma división administrativa. Como ejemplo vemos el siguiente:

En primer lugar se va a abrir la capa necesaria, que será la del límite administrativo correspondiente a los municipios. En caso que no se tenga disponibilidad de esta capa como en el caso de Londres, en que se tienen divisiones más pequeñas de la ciudad, en este caso se seleccionarían todas ellas y se aplicaría un 'merge' donde se unirían.

Según se ve en la tabla de atributos de cada shape perteneciente a España, será de utilidad el shape 'ESP_adm4', el correspondiente a los municipios ya que los otros corresponden a comarcas, provincias, comunidades autónomas y al país.

Una vez se abre la tabla perteneciente a este shape se hace una búsqueda por atributos en que el campo 'NAME_4' sea igual a 'Madrid'. Este registro se exportará a una nueva capa shape y será el límite de la ciudad. Este procedimiento se realizará para cada una de las ciudades.

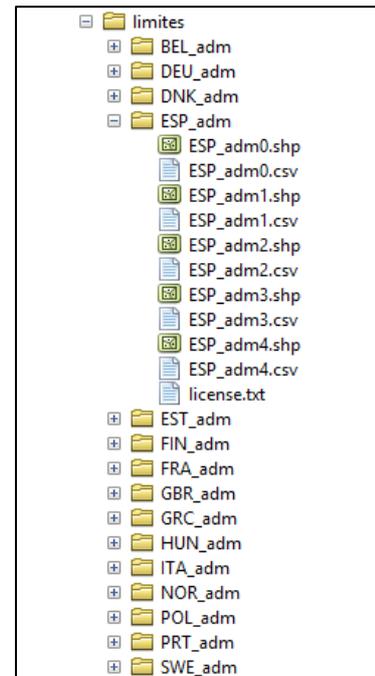


Imagen 33- Listado de todas las carpetas contenedoras de los límites administrativos

FID	Shape	ID 0	ISO	NAME 0	ID 1	NAME 1	ID 2	NAME 2	ID 3	NAME 3	ID 4	NAME 4	VAR	TYPE 4	ENGTYP 4
5906	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5907	Alcobendas		Municipality	Municipality
5907	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5908	Alcorcón		Municipality	Municipality
5908	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5909	Boadilla del Monte		Municipality	Municipality
5909	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5910	Brunete		Municipality	Municipality
5910	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5911	Colmenar Viejo		Municipality	Municipality
5911	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5912	Coslada		Municipality	Municipality
5912	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5913	Getafe		Municipality	Municipality
5913	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5914	Las Rozas de Madrid		Municipality	Municipality
5914	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5915	Leganes		Municipality	Municipality
5915	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5916	Madrid		Municipality	Municipality
5916	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5917	Majadahonda		Municipality	Municipality
5917	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5918	Mejorada del Campo		Municipality	Municipality
5918	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5919	Paracuellos de Jarama		Municipality	Municipality
5919	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5920	Pinto		Municipality	Municipality
5920	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5921	Pozuelo de Alarcón		Municipality	Municipality
5921	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5922	Quijorna		Municipality	Municipality
5922	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5923	Rivas-Vaciamadrid		Municipality	Municipality
5923	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5924	San Fernando de Henares		Municipality	Municipality
5924	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5925	San Sebastián de los Reyes		Municipality	Municipality
5925	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5926	Torrejón de Ardoz		Municipality	Municipality
5926	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5927	Tres Cantos		Municipality	Municipality
5927	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5928	Veilla de San Antonio		Municipality	Municipality
5928	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5929	Villanueva de la Cañada		Municipality	Municipality
5929	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5930	Villanueva del Pardillo		Municipality	Municipality
5930	Polygon	215	ESP	Spain	8	Comunidad de Madrid	33	Madrid	235	n.a. (177)	5931	Villaviciosa de Odón		Municipality	Municipality

Imagen 34- Tabla atributos shape 'SP_adm4'

A continuación se muestra el paso de exportación a una nueva capa.

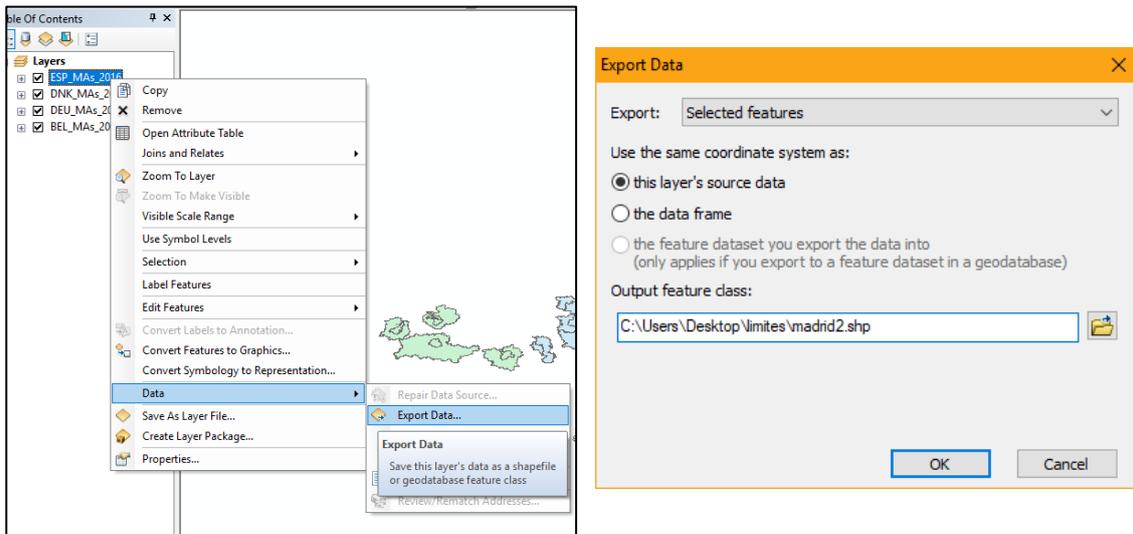


Imagen 35- Exportación shape y su ruta

4.3. Creación de las imágenes con composite Bands

En primer lugar se cargan en arcmap las bandas del sensor que nos interesa para crear la imagen multibanda.

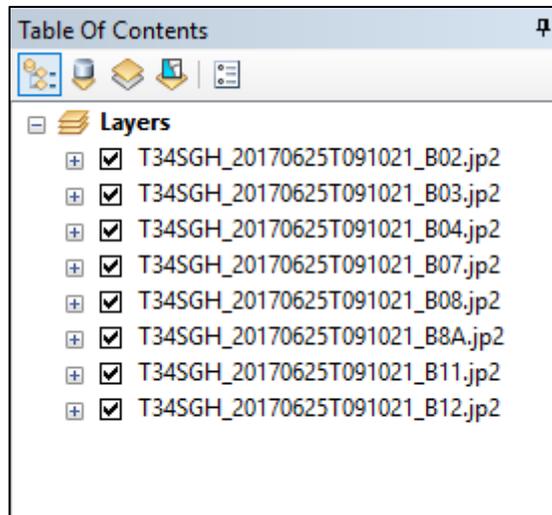


Imagen 36- Total de bandas en la imagen

A continuación se busca la herramienta que nos permitira combinar estas bandas y así formar una única imagen.

‘Composite Bands’ o lo que es lo mismo ‘Bandas compuestas’, es la herramienta utilizada, la cual crea un único dataset ráster a partir de varias bandas. Posteriormente se podrá hacer una combinación de estas bandas en la simbología del ráster.

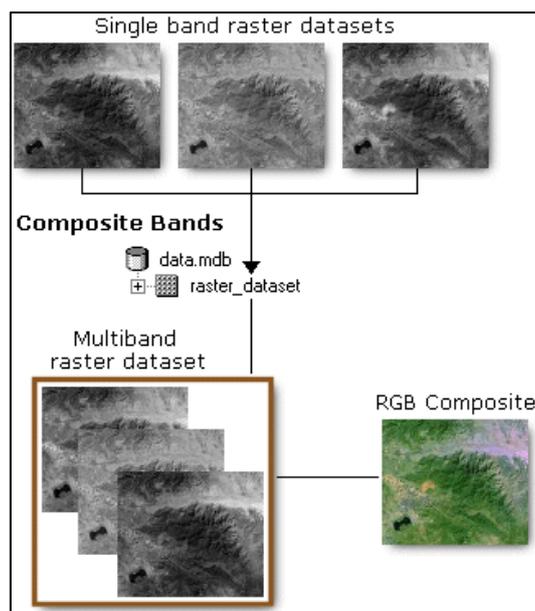


Imagen 37- Esquema de la composición de bandas

En primer lugar y una vez abierta la ventana principal de esta herramienta, se cargarán las bandas correspondientes y se establecerá una ruta y nombre de salida.

Como se ha mostrado en uno de los apartados anteriores (Imágenes Sentinel-2), se dispone de un total de 13 bandas, correspondientes al aerosol, espectro visible, infrarrojo cercano, vapor de agua, cirrus e infrarrojo lejano. Puesto que algunas de estas bandas no son de interés para este estudio solo se seleccionarán 8:

- Banda 2: Azul
- Banda 3: Verde
- Banda 4: Rojo
- Banda 7: Infrarrojo cercano
- Banda 8: Infrarrojo cercano
- Banda 8a: Infrarrojo cercano
- Banda 11: Infrarrojo lejano
- Banda 12: Infrarrojo lejano

Las cuales se transformarán sucesivamente en la banda número 1 hasta la número 8. Por eso será importante que en la selección de las bandas se introduzcan de forma ordenada como se han descrito ya que el programa asignará en orden el nombre de las bandas resultantes.

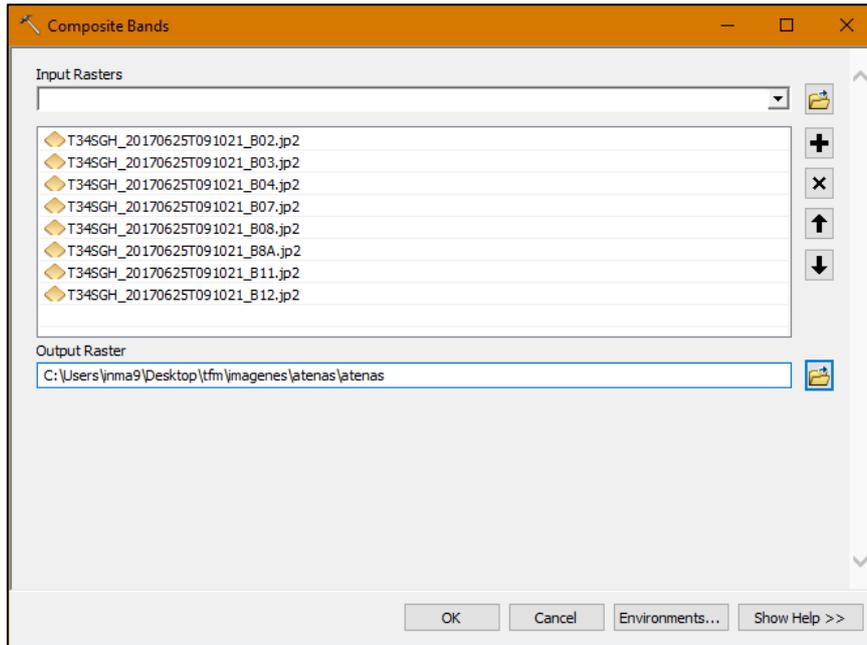


Imagen 38- Opciones herramienta 'Composite Bands'

Cambiando el orden de las bandas podemos obtener las diferentes visualizaciones. En color natural, por ejemplo:

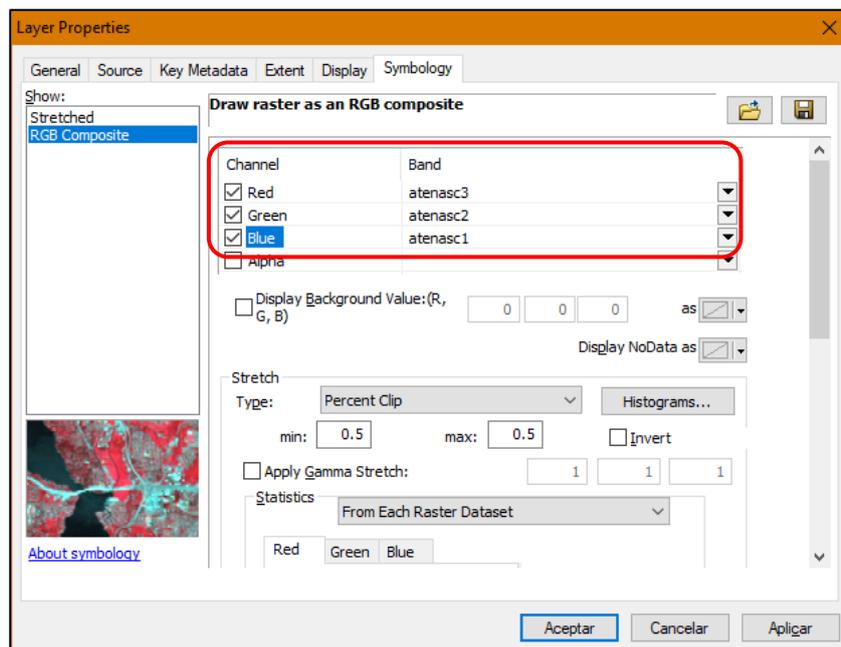


Imagen 39- Cambio de bandas en el apartado simbología

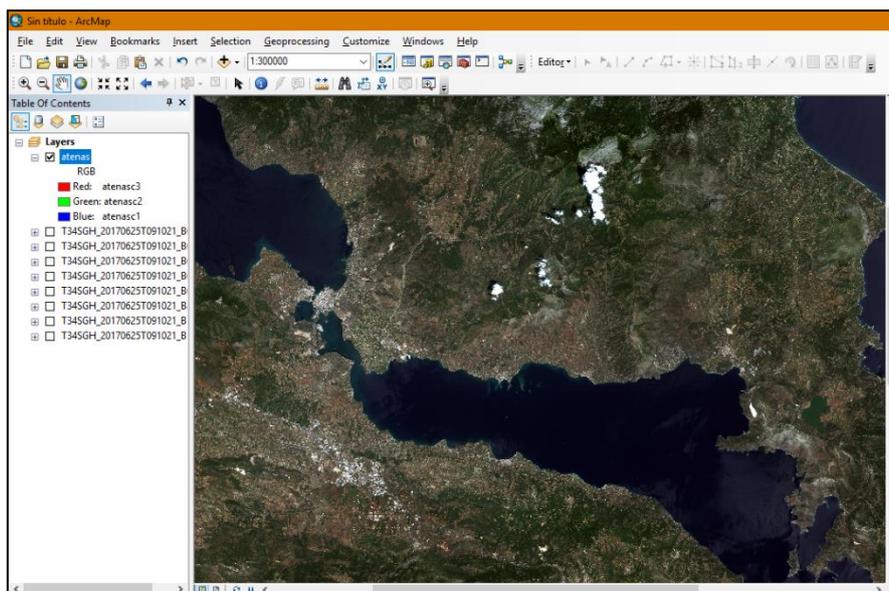


Imagen 40- Resultado proceso 'Composite Bands' en color natural

Al hacer la composición de la primera imagen y al cargar el shape que contiene el polígono que abarca la zona de estudio se ve que falta una zona por cubrir. Por este motivo no se podría hacer una buena realización del estudio. En el caso de estas ciudades se necesitará más de una imagen para cubrir la zona de estudio, por esta razón se descargarán dos o más imágenes adicionales, según hagan falta, de forma que sean contiguas para completar la zona. A continuación, se muestra el caso de la ciudad de Berlín (Alemania)

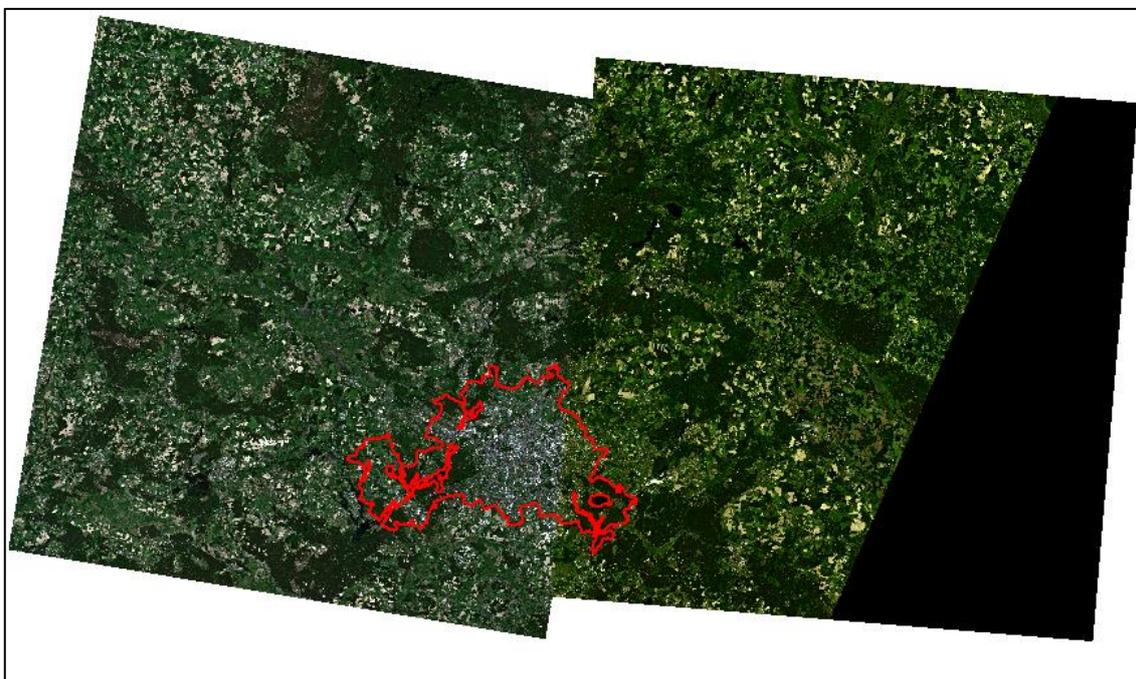


Imagen 41- Zona de estudio cubierta por completo

Una vez se cubre la zona de estudio con el número de imágenes que haga falta, se procede a unir las, para así trabajar con un solo ráster, cosa que facilitará el proceso de estudio. Para ello se localiza la herramienta ‘mosaic to new raster’, donde se introducirán las imágenes compuestas anteriores y se elegirá una ruta y nombre de archivo nuevos.

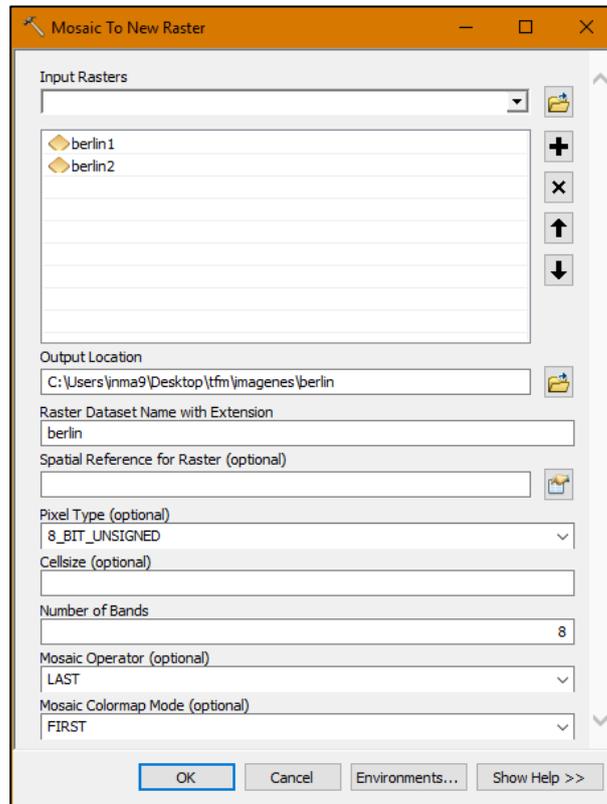


Imagen 42- Opciones herramienta ‘Mosaic to New Raster’

Como resultado se obtiene:

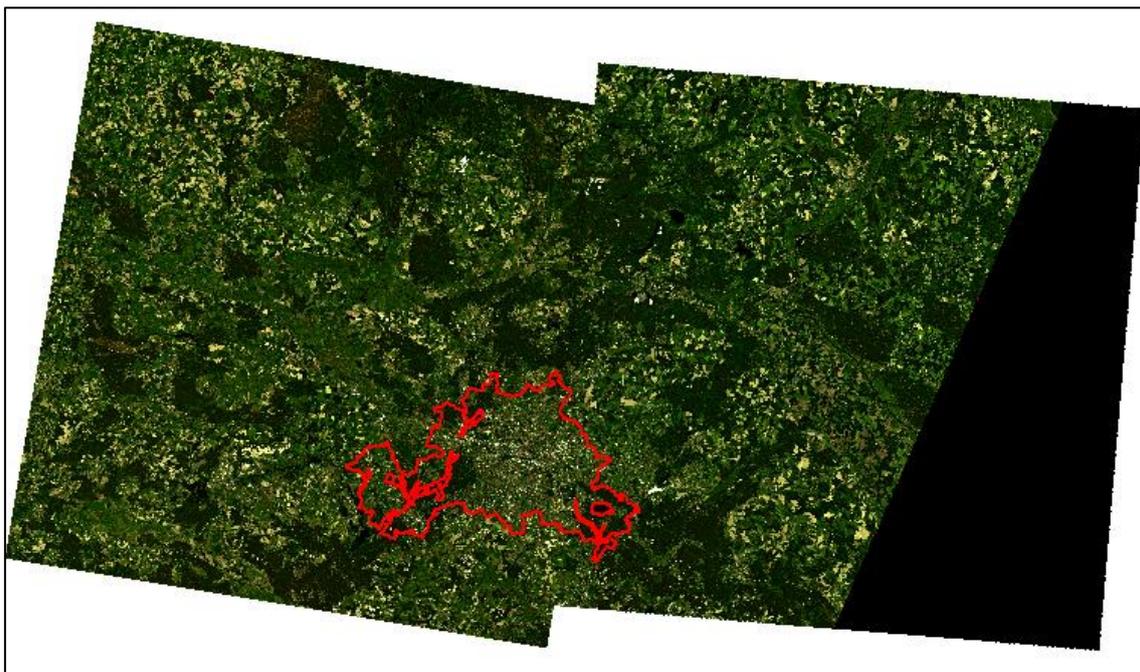


Imagen 43- Resultado herramienta ‘Mosaic to New Raster’

4.4. Recorte del área de estudio

En este apartado se utilizará la herramienta de procesamiento 'CLIP' perteneciente al software de ArcGIS. Esta herramienta será de utilidad para extraer de la imagen la zona que se quiere estudiar con ayuda del shape del límite de área de estudio. El resultado mostrará las mismas propiedades que el ráster de entrada.

Para empezar, se carga el shape que contiene el polígono correspondiente al límite de la zona de estudio de la ciudad con la imagen correspondiente de la zona.

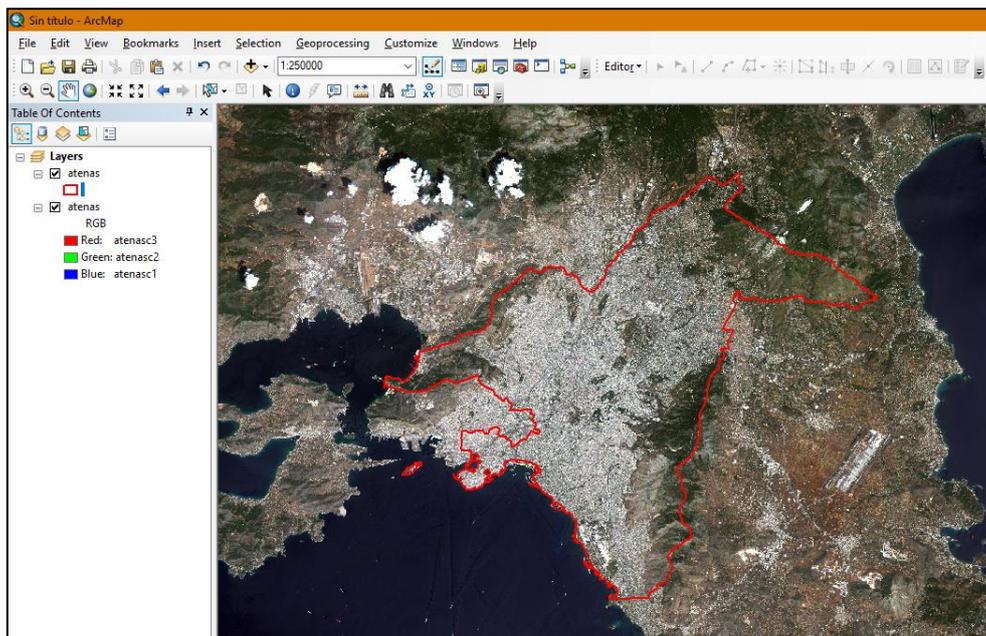


Imagen 44- Imagen de la ciudad con el area de estudio correspondiente

A continuación, se busca la herramienta de recortar ráster 'Clip (Data Management)' y se rellena cada apartado con los datos correspondientes como se muestra a continuación.

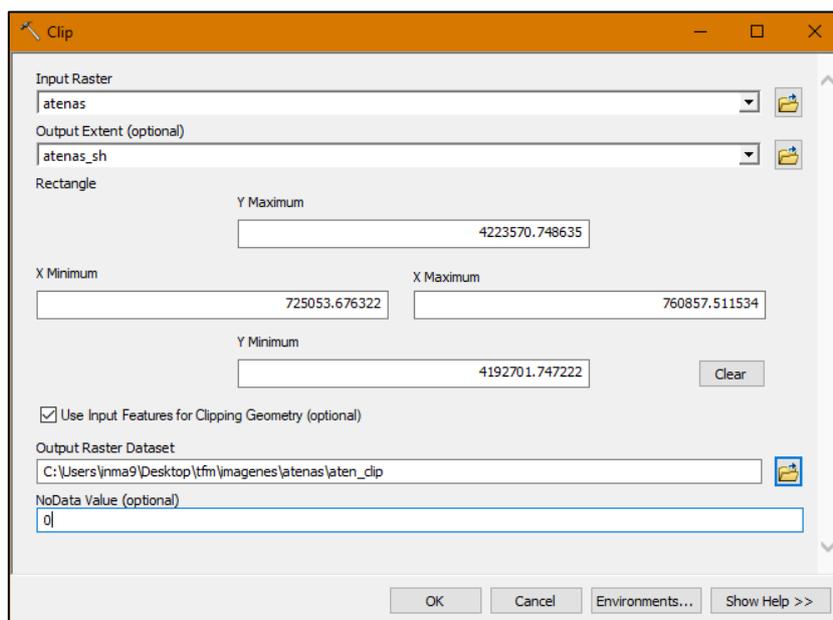


Imagen 45- Opciones herramienta 'Clip'

Como ráster de entrada se selecciona la imagen, en la extensión de salida se indica que sea la del shape correspondiente. Vemos como se asignan unas coordenadas correspondientes a las dimensiones del recorte, pero como solo se va a estudiar los límites del polígono, se selecciona que use la geometría de los objetos de entrada.

EL resultado se visualiza en la combinación de bandas de color verdadero (3,2,1) y como se observa la salida ha sido con la extensión del shape.

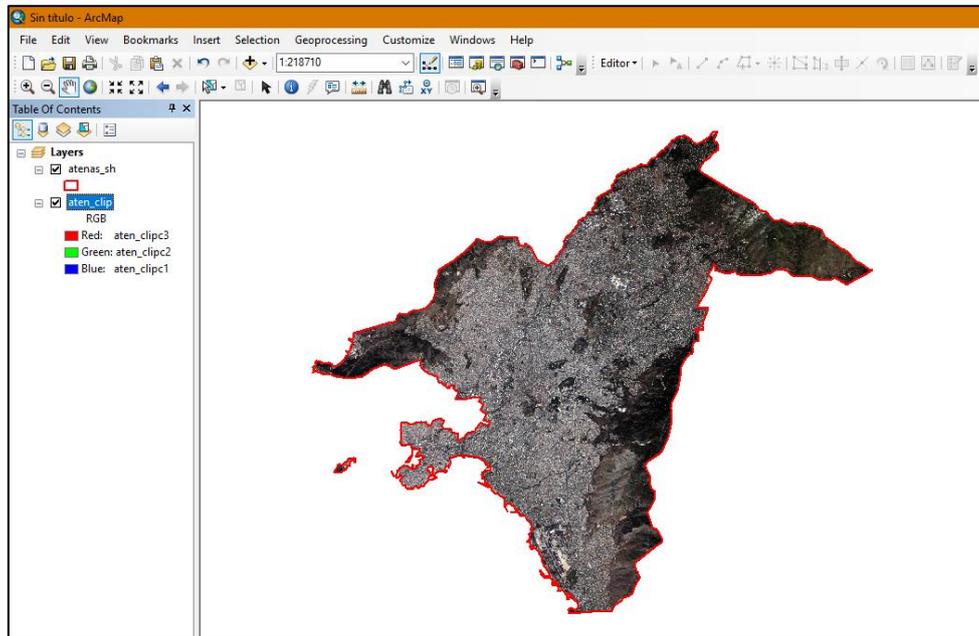


Imagen 46- Resultado herramienta 'Clip'

Pues bien, este ejemplo solo con una ciudad se tendrá que repetir para las restantes y se guardará en formato 'tiff' para poder abrirlas en los pasos siguientes. Los campos a tener en consideración son el tamaño de celda, el cual será de 10x10 el formato 'TIFF' y la ruta y el nombre de salida.

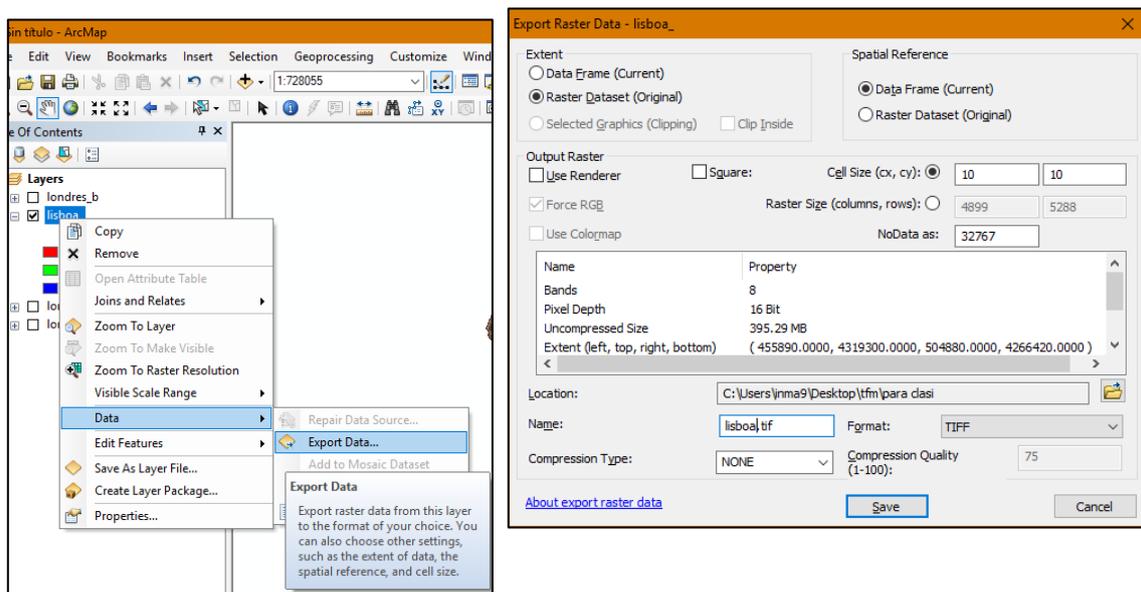


Imagen 47- Exportación de la capa raster a formato .tiff

4.5. Clasificaciones de las zonas urbanas

La clasificación del suelo según su ocupación a partir de las imágenes es esencial para este trabajo ya que se debe localizar principalmente las zonas de vegetación y las urbanas del área de estudio, para posteriormente analizarlas. Este tipo de clasificaciones se van a realizar con el software 'ENVI', especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales utilizado por profesionales GIS, científicos, investigadores y analistas de todo el mundo. Envi cuenta con 2 formas de clasificación la 'Supervisada' y la 'No Supervisada' las cuales cuentan con diversos métodos de análisis.

La clasificación supervisada y no supervisada permite explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, crea y evalúa las clases o clúster (firmas), finalmente reclasifica de acuerdo a las probabilidades de cada clase. Este procedimiento es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo o de cobertura vegetal.

Clasificación no supervisada: No se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y dejar que las defina un procedimiento estadístico. Se utilizan algoritmos de clasificación automática multivariante en los que los individuos más próximos se van agrupando formando clases. En cada paso se identifican los dos individuos más similares (próximos), se hace una clase con ellos y se sustituyen por el centroide de la clase resultante. De este modo cada paso analiza un individuo menos que el anterior ya que los individuos van siendo sustituidos por clases. El proceso se detiene cuando se ha alcanzado un número de clases igual al número de clases que había sido establecido a priori o cuando se ha alcanzado un umbral de distancia entre clases por encima del cual no debe continuarse.

- La clasificación no supervisada de **ISODATA** calcula los centros de clase distribuidos uniformemente en el espacio de datos y luego agrupa iterativamente los píxeles restantes utilizando técnicas de distancia mínima. Cada iteración recalcula los centros y reclasifica los píxeles con respecto a los nuevos centros. La división, la fusión y la supresión de la clase iterativa se realiza basándose en parámetros de umbral de entrada. Todos los píxeles se clasifican en la clase más cercana a menos que se especifique una desviación estándar o un umbral de distancia, en cuyo caso algunos píxeles podrían no clasificarse si no cumplieren con los criterios establecidos. Este proceso continúa hasta que el número de píxeles en cada clase cambia cada vez menos que el umbral de cambio de píxeles seleccionado o se alcanza el número máximo de iteraciones.
- La clasificación no supervisada de **K-Medias** calcula los centros de la clase inicial uniformemente distribuidos en el espacio de datos y luego agrupa iterativamente los píxeles en la clase más cercana usando una técnica de distancia mínima. Cada iteración recalcula los centros de clase y reclasifica los píxeles con respecto a los nuevos centros. Todos los píxeles se clasifican en la clase más cercana a menos que se especifique una desviación estándar o un umbral de distancia, en cuyo caso algunos píxeles pueden no clasificarse si no cumplen con los criterios seleccionados. Este proceso continúa hasta que el número de píxeles en cada clase cambia cada vez menos que el umbral de cambio de píxeles seleccionado o se alcanza el número máximo de iteraciones.

Clasificación supervisada: Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales en contraposición a las clases espectrales que genera la clasificación no supervisada. Las áreas de entrenamiento más conocidas como ROI's (región de interés) deben ser lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Según el método escogido, la clasificación de los píxeles se hará de una forma u otra.

- La clasificación de **paralelepípedos** utiliza una regla de decisión simple para clasificar datos multiespectrales. Los límites de decisión forman una clasificación paralelepípedica n-dimensional en el espacio de datos de imagen. Las dimensiones de la clasificación paralelepípedica se definen sobre la base de un umbral de desviación estándar de la media de cada clase seleccionada. Si un valor de píxel está por encima del umbral bajo y por debajo del umbral alto para todas las n bandas que se están clasificando, se asigna a esa clase. Si el valor de píxel cae en varias clases, ENVI asigna el píxel a la última clase emparejada. Las áreas que no están dentro de ninguna de las clases de paralelepípedo se designan como no clasificadas.
- La técnica de **mínima distancia** utiliza los vectores medios de cada miembro final y calcula la distancia euclídea desde cada píxel desconocido al vector medio para cada clase. Todos los píxeles se clasifican en la clase más cercana a menos que se especifique una desviación estándar o un umbral de distancia, en cuyo caso algunos píxeles pueden no estar clasificados si no cumplen con los criterios seleccionados.
- La clasificación de **distancia de Mahalanobis** es un clasificador de distancia sensible a la dirección que utiliza estadísticas para cada clase. Es similar a la clasificación de máxima verosimilitud, pero asume que todas las covarianzas de clase son iguales y por lo tanto es un método más rápido. Todos los píxeles se clasifican en la clase ROI más cercana a menos que especifique un umbral de distancia, en cuyo caso algunos píxeles pueden no estar clasificados si no cumplen el umbral.
- La clasificación de **máxima verosimilitud** asume que las estadísticas de cada clase en cada banda se distribuyen normalmente y calcula la probabilidad de que un píxel determinado pertenezca a una clase específica. A menos que seleccione un umbral de probabilidad, todos los píxeles se clasificarán. Cada píxel se asigna a la clase que tiene la probabilidad más alta (es decir, la máxima verosimilitud). Si la probabilidad más alta es menor que un umbral especificado, el píxel permanece sin clasificar.
- La técnica de clasificación de **codificación binaria**, codifica los datos y los espectros de extremo en ceros y unos, basándose en si una banda cae por debajo o por encima de la media del espectro, respectivamente. Una función OR exclusiva compara cada espectro de referencia codificado con los espectros de datos codificados y produce una imagen de clasificación. Todos los píxeles se clasifican en el miembro final con el mayor número de bandas que coinciden, a menos que se especifique un umbral de coincidencia mínimo, en cuyo caso algunos píxeles pueden no estar clasificados si no cumplen los criterios.

La clasificación seleccionada es la supervisada por mínima distancia. Se elige que sea supervisada porque se pretende controlar el proceso y definir las clases que queremos que aparezcan, como hemos dicho anteriormente lo principal es localizar las zonas verdes y las urbanas, después diferenciaremos las zonas de agua y las de suelo desnudo. El algoritmo de clasificación será el de mínima distancia sin ningún tipo de umbral así se asegura que todos los píxeles estarán dentro de una de las 4 clases sin quedar ninguno por clasificar.

A continuación, se describe el proceso paso por paso de la clasificación supervisada realizada para todas las zonas de estudio.

En primer lugar, se carga la imagen en el software desde 'File-> open image file' y se carga en un nuevo display con la combinación de color natural para RGB, (3,2, 1).

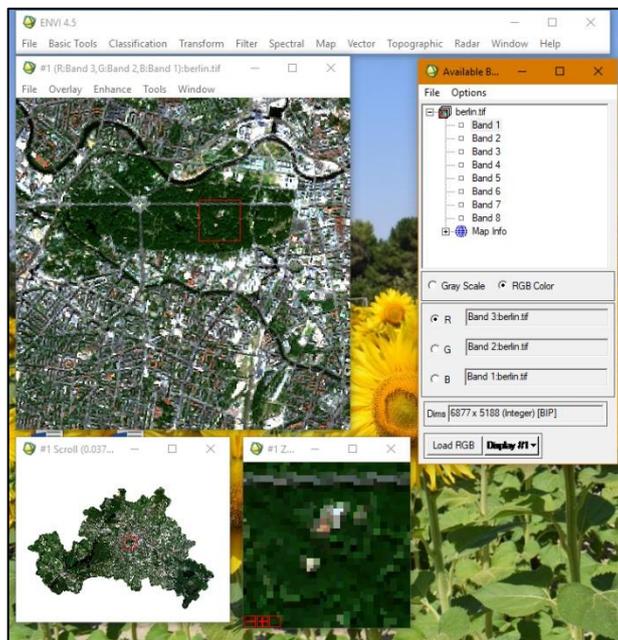


Imagen 48- Carga de la imagen en un nuevo display en ENVI

Para localizar las diferentes zonas a clasificar, se deberán hacer combinaciones de bandas de manera que resaltarán zonas de vegetación, zonas urbanas o bien zonas de agua entre otras.

Esto será de ayuda para crear las ROIs (Region of Interest) son porciones de imágenes, seleccionadas gráficamente o seleccionadas por otros medios, como el umbral. Las regiones pueden tener forma irregular y se usan típicamente para extraer estadísticas de clasificación, enmascaramiento y otras operaciones.

Se procede a crear una primera región de interés que contenga la vegetación perteneciente a parques, jardines, arboles... para ello se hace una combinación de bandas infrarroja (5,3, 2) así se ven las zonas de vegetación con tonos rojizos. La combinación de bandas de las imágenes satélite, nos permiten analizar elementos de específicos de la superficie terrestre en función de su espectro de emisión. Gracias a las distintas bandas multiespectrales de operación de los satélites podemos interpretar aspectos como la vegetación, los usos del suelo o las masas de agua. Combinaciones específicas RGB nos mostrarán y discriminarán los elementos de nuestras imágenes satélite de forma rápida.

La creación de estas imágenes parte del paso de bandas a través de tres canales: rojo, verde y azul. El paso de cada banda por un canal u otro permitirá la pigmentación de los elementos que ofrezcan mayor o menor reflexión de longitudes de onda.

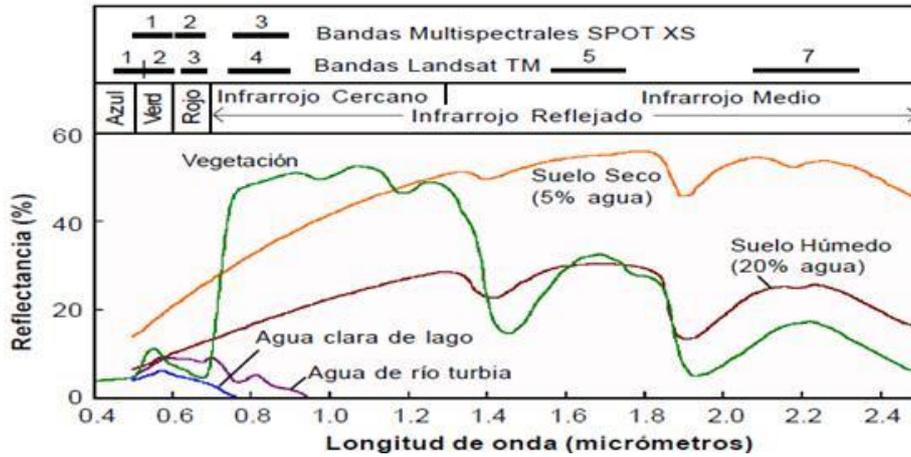


Imagen 49- Esquema de reflectancia en las diferentes zonas del espectro

Así, por ejemplo, la vegetación refleja en la zona del infrarrojo y absorbe en la zona visible del rojo, como es en este caso (5, 3, 2). Esta combinación de banda es la rendición de color infrarrojo familiar la cual ha estado disponible con data Landsat MSS por muchos años. Tiene buena sensibilidad a la vegetación verde (la cual esta delineada como rojo) y representa adecuadamente caminos y masas de agua. Muestra bosques coníferos como un rojo más oscuro distinto que bosques caducifolios.

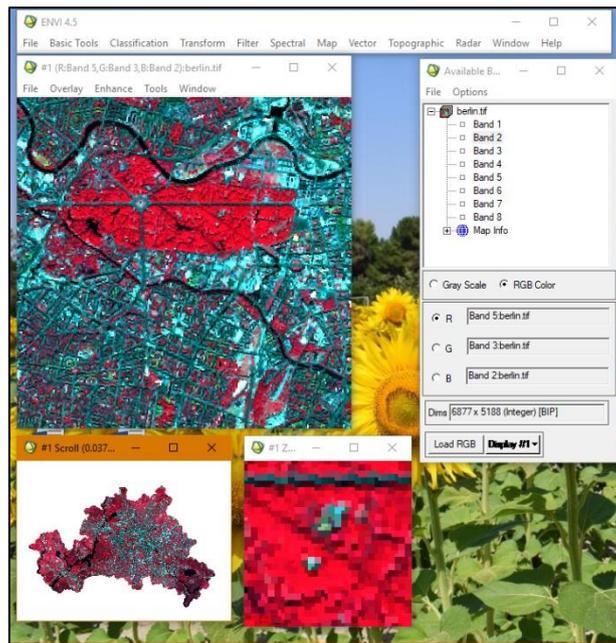


Imagen 50- Imagen en composición 5, 3, 2

Se procede ahora a crear las regiones de interés. En primer momento se seleccionará la toma de datos de tipo punto, aunque en áreas más homogéneas se podría seleccionar el polígono.

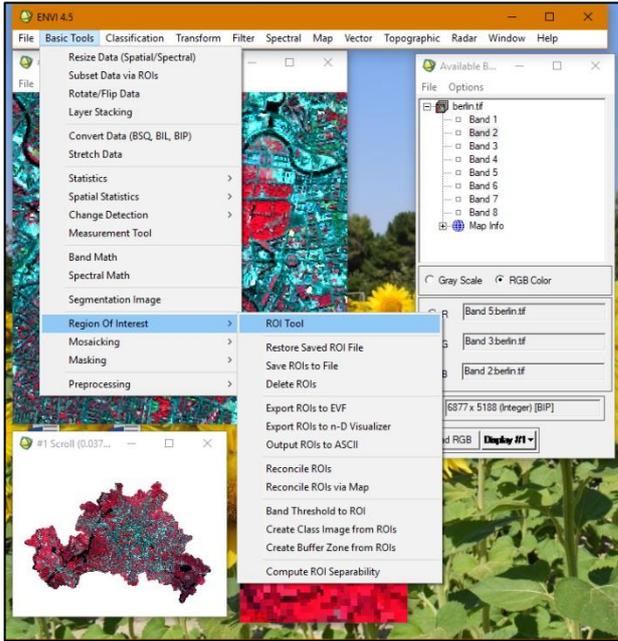


Imagen 52- Ruta herramienta 'ROI Tool'

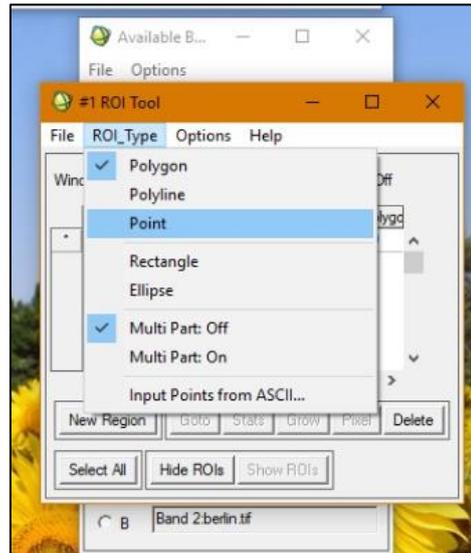


Imagen 51- Selección de punto como método de toma de datos

Además los datos se recogerán desde la ventana 'zoom' como se muestra en las opciones de la herramienta en la imagen siguiente:

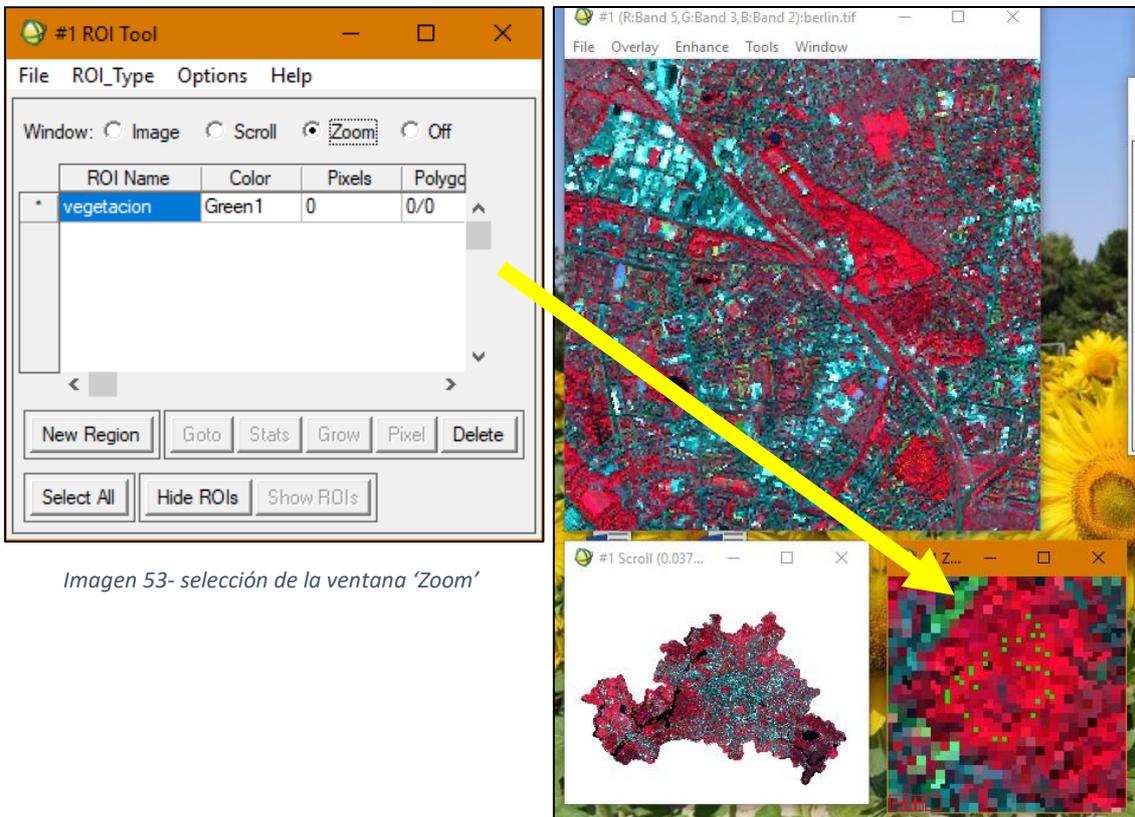


Imagen 53- selección de la ventana 'Zoom'

Imagen 54- Selección de puntos de vegetación para la ROI

A continuación se procede a crear otra nueva región para zonas urbanas con la combinación en falso color 8,7,3. En esta combinación las construcciones de visualizaran con colores morados-blancos.

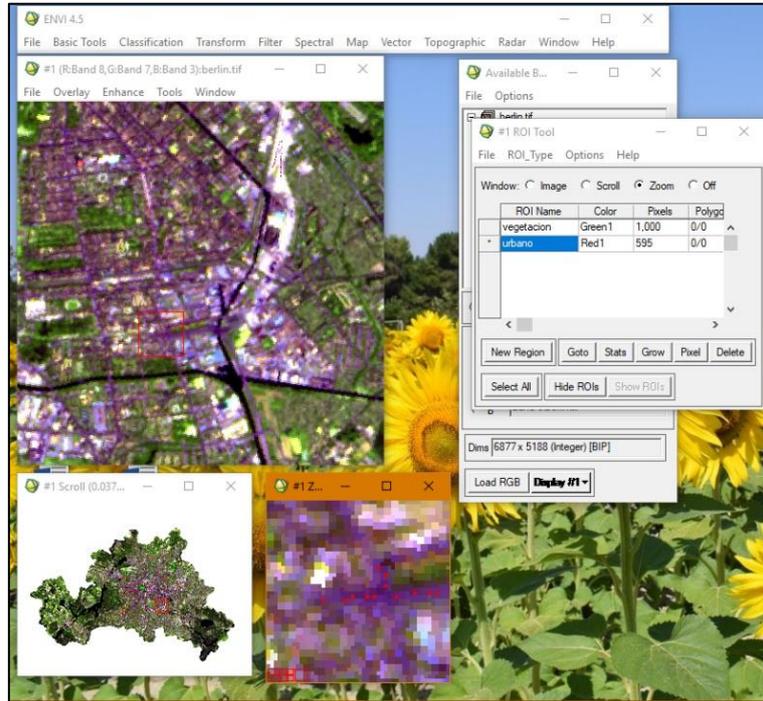


Imagen 55- Imagen en composición 8, 7, 3

Ahora se localiza las masas de agua con la combinación 6,7,3 y se crea otra región de interés. Aunque el agua es bastante fácil reconocer en bastantes combinaciones de bandas que utilicen infrarrojo, pues una característica determinante es que su reflectancia es baja en el visible y desaparece en los infrarrojos.

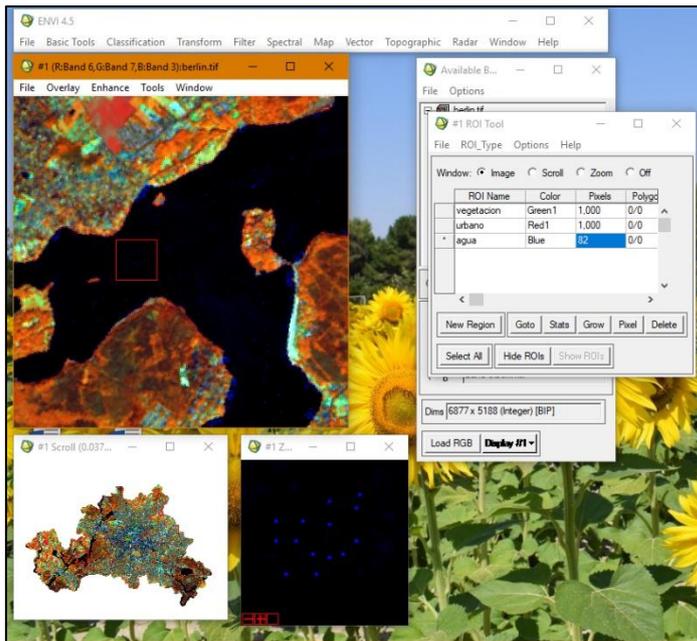


Imagen 57- Imagen en composición 6, 7, 3

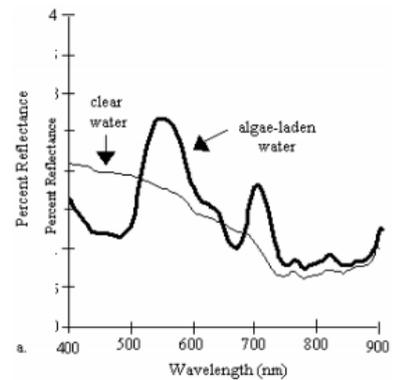


Imagen 56- Firma espectral agua clara y agua turbia

Con la combinación de análisis de la vegetación localizaremos las zonas desnudas o con poca vegetación 7, 6, 3 las zonas que interesan se verán de un tono rosa.

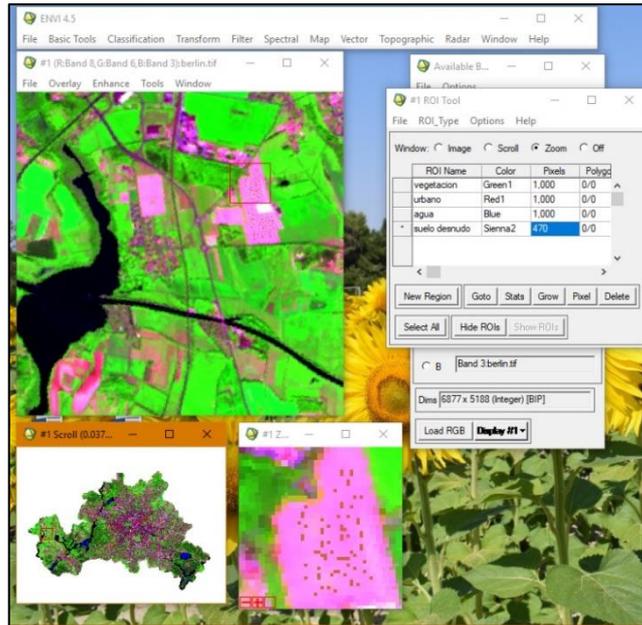


Imagen 58- Imagen en composición 7, 6, 3

Dependiendo de ciudades se tomarán más o menos datos con un mínimo de 1000 muestras, pero, cuantas más mejores estadísticas podrán resultar. En total se va a tomar muestras de estas 4 regiones (Agua, Suelo desnudo, Suelo urbano y Vegetación)

Una vez se tiene preparado el archivo del ROI se procede a hacer la clasificación supervisada que como se ha descrito anteriormente. Se utiliza el proceso de mínima distancia que irá asignando cada pixel a su clase correspondiente según su respuesta espectral.

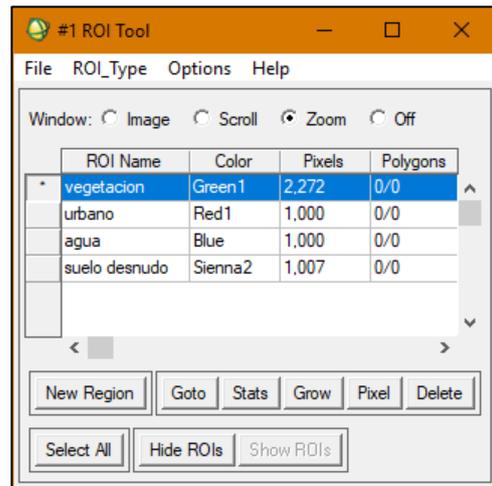


Imagen 60- Conjunto de regiones de interés finales

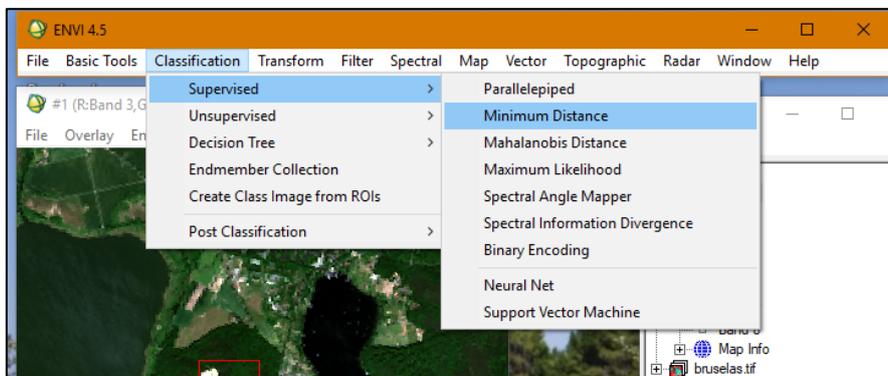


Imagen 59- Ruta de la clasificación supervisada por mínima distancia

Imagen 61- Proceso clasificación, selección de la imagen

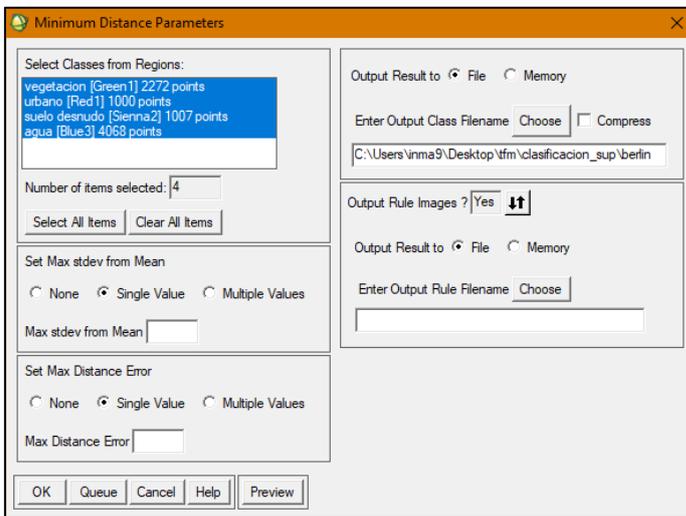
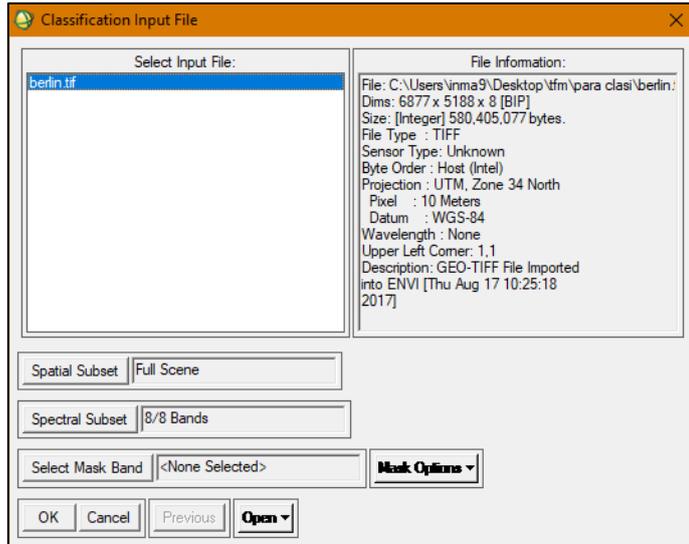


Imagen 62- Selección de las clases que se quieren para la clasificación

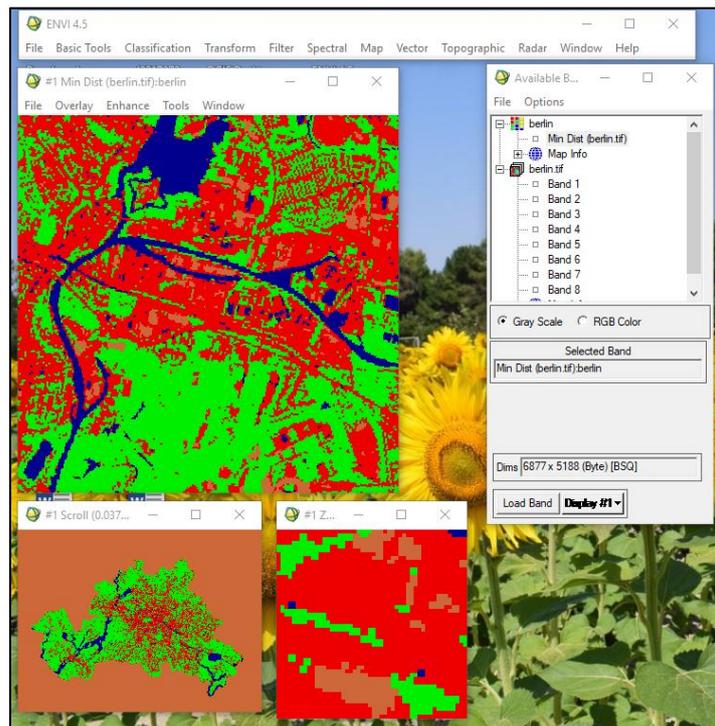


Imagen 63- Resultado de la clasificación

4.6. Creación de polígonos

Una vez se haya creado una clasificación de cobertura en ENVI, se va a proceder a trabajar con estos datos en ArcGIS. Si incluye una extensión de archivo ".DAT" como parte del nombre de archivo, se podrá abrir este archivo directamente en ArcGIS y se verá la imagen clasificada con los colores que ha especificado.

Se debe tener en cuenta que se trata de una imagen ráster de 8 bits y no tiene los atributos de una imagen vectorial en ArcGIS, es decir, no se puede utilizar para sacar estadísticas de la zona, tampoco la selección por atributo (clase) o recorte y almacenamiento en búfer de otros datos. Para realizar cualquiera de estas funciones GIS, necesitará convertir el archivo ráster ENVI en un archivo shape de ArcGIS.

Una vez que se haya realizado la clasificación de imágenes y evaluado la precisión de su trabajo, el último paso tiene una opción para exportar los vectores de clasificación directamente a un shapefile. Hay un proceso simple de dos pasos que se procede a utilizar para convertir los datos ráster clasificados finales en una estructura de archivo vectorial que pueda ser utilizada en ArcGIS. Se debe tener en cuenta que este podría ser un proceso que consume mucho tiempo en imágenes grandes con muchos polígonos de clase.

Paso 1: Exportar a Vector

En la barra de herramientas de ENVI se selecciona 'Vector' / 'Raster to vector', como se muestra en la imagen siguiente.

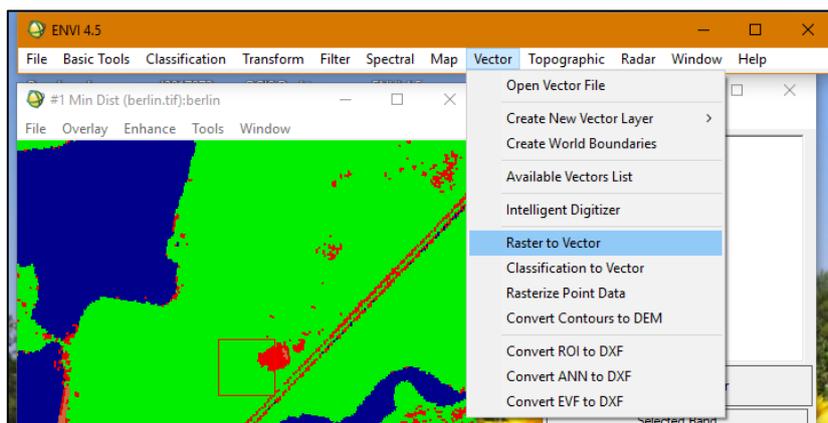


Imagen 64- Ruta herramienta 'Raster to Vector'

Se selecciona la imagen clasificada y se hace clic en Aceptar para abrir el cuadro de diálogo de los parámetros de ráster a vector.

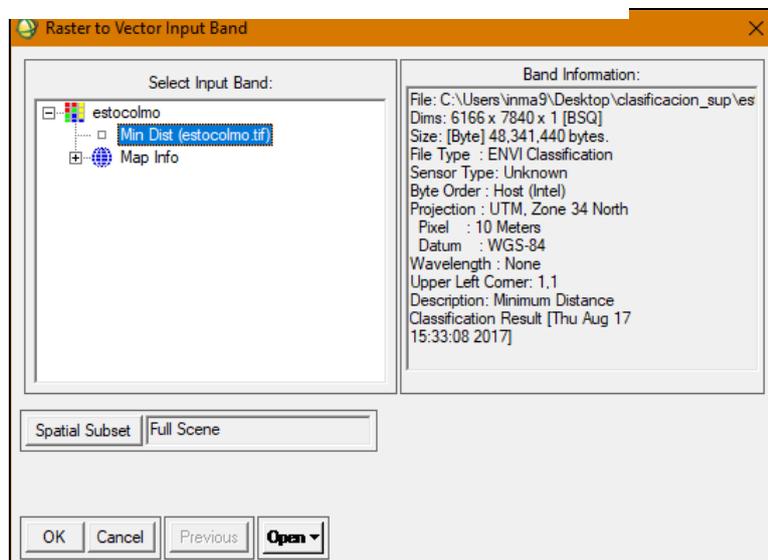


Imagen 65- Ventana selección de imagen

En este paso se tiene varias opciones dentro de este diálogo. Para este caso se seleccionarán todas las clases, pero se podría seleccionar algún subconjunto de ellas, y se guardarán todos los datos en un archivo de una sola capa, con posibilidad de guardar cada clase como una capa independiente. Se tiene en cuenta no seleccionar la clase predeterminada "Sin clasificar" ya que estos no interesan a los posteriores análisis. Se selecciona el nombre y la ruta de salida y se hace clic en Aceptar.

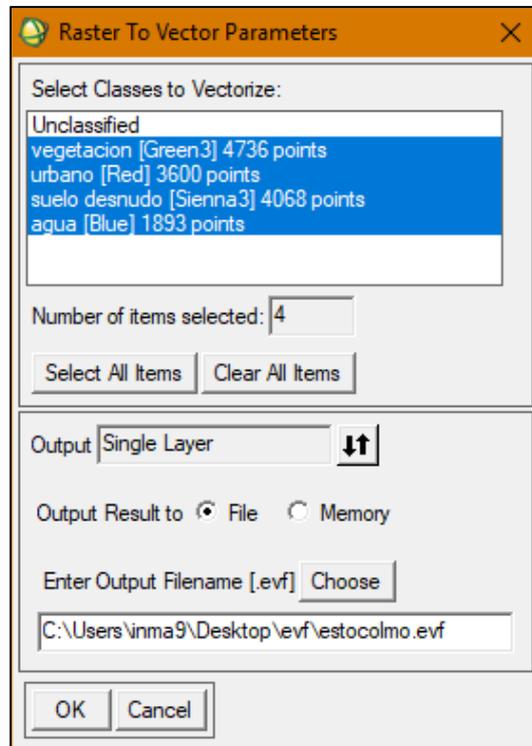


Imagen 66- Selección de las clases a convertir en vector

Este procedimiento crea un archivo vectorial ENVI con la extensión de archivo ". EVF " (Envi Vector File). Este formato de imagen es completamente distinto al formato de las imágenes de mapa de bits, también llamados imágenes matriciales, que están formados por píxeles.

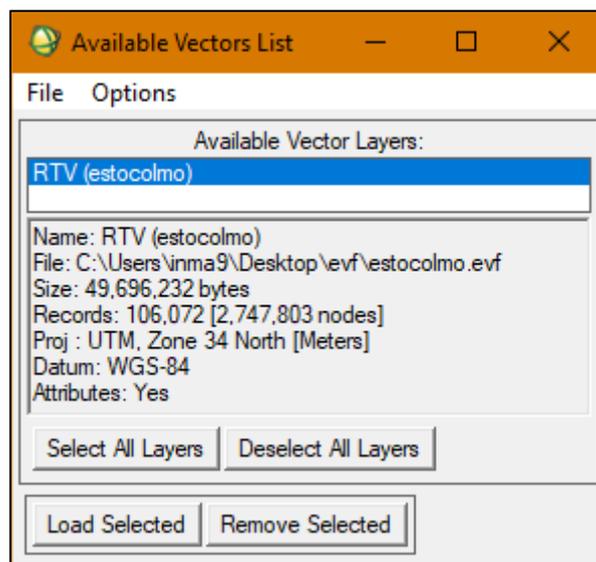


Imagen 67- Resultado de la operación 'Raster to Vector'

Paso 2: Exportar a Shapefile:

Utilizando la caja de herramientas seleccione: Vector | EVF clásico a Shapefile. Seleccione el archivo EVF del paso anterior, escriba un nombre de archivo adecuado para el nuevo shapefile y haga clic en Aceptar. ENVI anexará la extensión de archivo ".SHP" a su nombre de archivo. Puede tomar algún tiempo para completar la exportación, ser paciente.

Una vez que esto se haya completado, agregue este shapefile a un mapa en ArcGIS. Abra las Propiedades de la capa y bajo la pestaña Simbologías seleccione Categorías | Valores únicos y haga clic en el botón Agregar todos los valores para mostrar las clases separadas. ArcGIS utilizará los nombres de clase ENVI, pero utilizará su propio esquema de colores. Se puede cambiar fácilmente los colores y las etiquetas individuales aquí o en el panel Tabla de contenido.

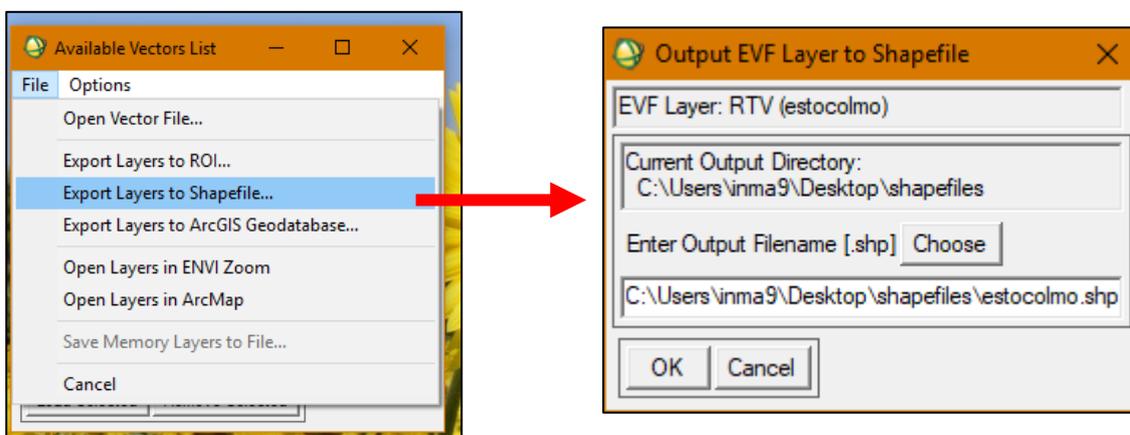


Imagen 68- exportación a formato shapefile

4.7. Eliminación polígonos

Las herramientas de generalización en ArcGIS permiten refinar o limpiar la información, con la finalidad de suprimir datos erróneos o innecesarios, automatizando la identificación de las áreas a intervenir, dando como resultado la obtención de información más general para su respectivo análisis.

Por ejemplo, una capa tipo poligonal resultado de un mapa de pendientes, cobertura vegetal, imágenes satelitales clasificadas, imágenes escaneadas, rásters reclasificados, etc., contienen una gran cantidad de áreas diminutas que perturban el análisis de la información, como se muestra en la siguiente imagen

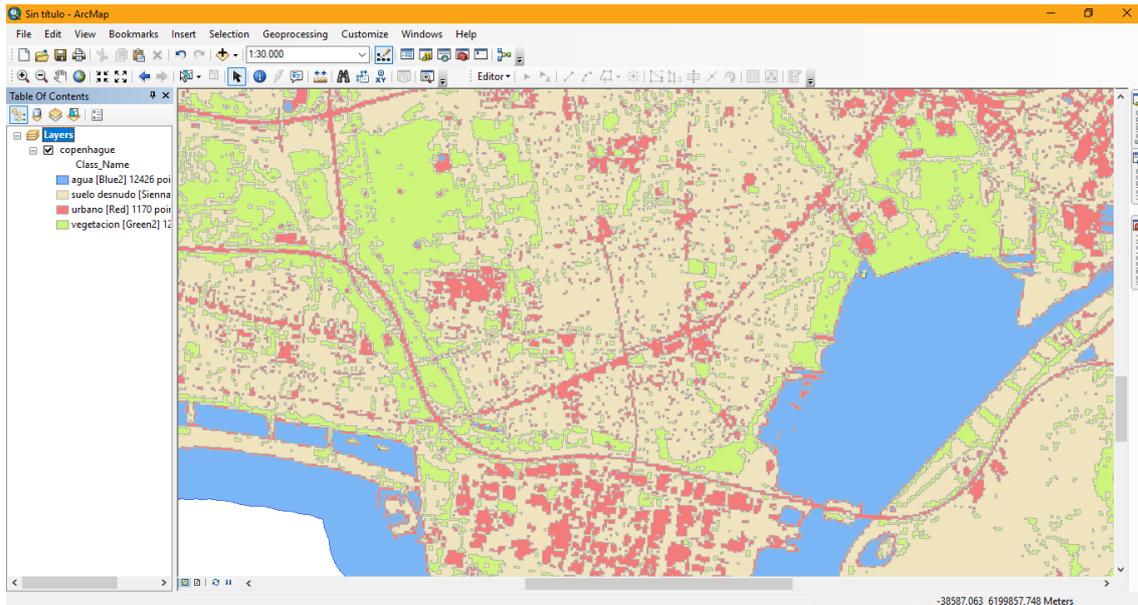


Imagen 69- Archivo shape de imagen clasificada

En la imagen anterior se puede apreciar gran cantidad de polígonos con superficies relativamente insignificantes para los análisis posteriores, como primer paso para ejecutar su limpieza, se debe crear un campo y calcular la superficie, seguidamente en la tabla de atributos ordenar ascendente mente y seleccionar los polígonos cuya superficie no sea deseable para nuestro trabajo.

Como la superficie ya está calculada previamente por Envi, se pasa directamente a seleccionar los polígonos que no van a ser de utilidad. Se encuentra un inconveniente adicional y es que al pasar el archivo ráster a formato vectorial el programa ha unido varios polígonos en uno solo formando un polígono grande con partes. Se quiere cada polígono por separado pues así van a ser los análisis, para ello se utiliza la herramienta 'Multipart to Singlepart'

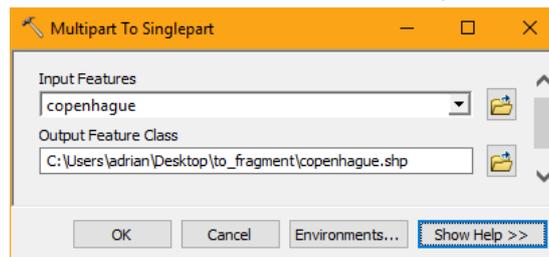


Imagen 70- Ventana herramienta 'Multipart to Singlepart'

A continuación, ya se pasa a la eliminación de estos polígonos que no servirán para el análisis de las imágenes. Como la superficie mínima a considerar de espacios verdes es de 1.000 m² y con más del 50% del área permeable (parques públicos, jardines, espacios abiertos para uso exclusivo de peatones, plazas), este será el valor mínimo de área para el estudio de los indicadores. Para ello se hará una selección previa donde se seleccionen todos los registros pertenecientes a vegetación y dentro de estos, los menores a 1000 m²

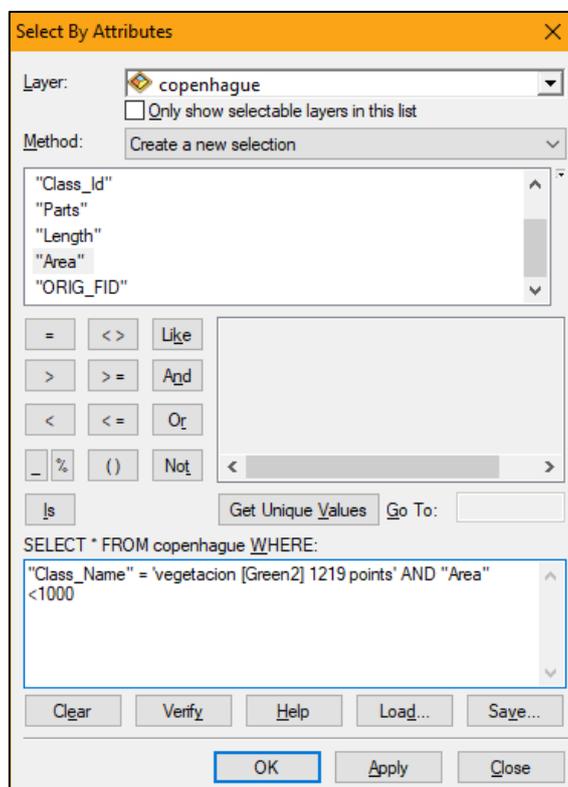


Imagen 72- selección por atributos



Imagen 71- Registros seleccionados según la consulta

Una vez abierta la herramienta 'Eliminate' la cual suprime los polígonos al fusionarlos con los polígonos adyacentes que tienen el área más grande o el borde compartido más largo. Además, se dejará deseleccionada la opción 'Eliminating polygon by border' ya que así fusionará un polígono seleccionado con un polígono vecino no seleccionado dejando caer el borde compartido. El polígono vecino es el que tiene el área más grande.

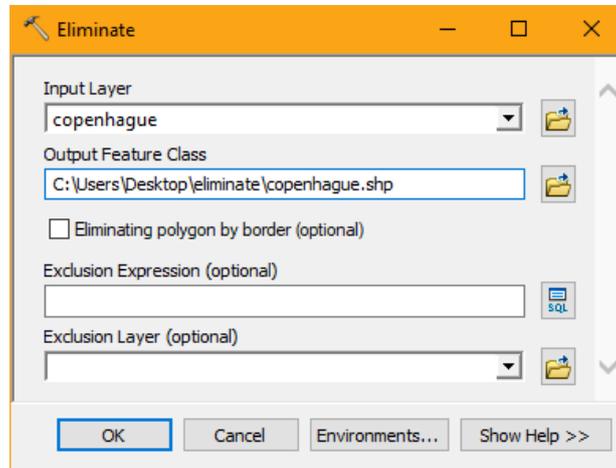


Imagen 73- Ventana herramienta 'Eliminate'



Imagen 74- Comparación resultado, izquierda: antes del proceso, derecha: después del proceso

4.8. Extracción de las métricas de fragmentación

Para el análisis de este apartado se utilizará el software **'IndiFrag'** es una herramienta que permite calcular un conjunto de índices y variables que describen de forma cuantitativa el nivel de fragmentación y la distribución espacial de los usos y coberturas del suelo atendiendo a propiedades morfológicas, espaciales y tipológicas de los objetos cartográficos, así como cuantificar los cambios ocurridos en un periodo de tiempo, todo ello de manera automática. Al trabajar con mapas de coberturas en formato vectorial utiliza las relaciones topológicas, facilitando la interpretación y el análisis de la fragmentación en diferentes áreas de una zona de estudio determinada. La herramienta compila un gran número de índices y los calcula según varios niveles de jerarquía. Por un lado, los índices de fragmentación están divididos en cinco grupos en función de los atributos que describen: área y perímetro, forma, agregación, diversidad y contraste. Por otro, tanto los índices de fragmentación como los multitemporales están divididos en tres niveles de cálculo en función de la escala: súper-objeto, clase y objeto. Los resultados obtenidos se almacenan en la tabla de atributos de los datos de entrada, de modo que pueden interpretarse mediante mapas de variables de forma directa y sencilla.

Para obtener esta herramienta se localizará la página web de *'http://cgat.webs.upv.es/software/'* y se descargará el software en formato *' .zip'*, el cual se extraerá para posteriormente añadirlo en ArcGis.

Una vez extraído y antes de añadirlo a la caja de herramientas de ArcMap, se debe cumplir un paso inicial y de importancia para el funcionamiento como es la instalación de las librerías de Python, necesarias para ejecutar ciertas funciones del código. La mayoría de las librerías utilizadas se instalan automáticamente al instalar ArcGis, ya que con el programa también se instala por defecto Python (Python 2.7 para ArcGis 10.1) y un conjunto de librerías básicas, las cuales no es necesario instalar puesto que ya lo están y la herramienta las carga al inicio del proceso de ejecución para así poder utilizar sus métodos y funciones.

Por ello, sólo es necesario instalar las siguientes librerías localizadas en la carpeta *'Other_Libraries'*: **'Numpy'** es un paquete fundamental para el cálculo científico con Python, **'Matplotlib'** es un paquete que permite generar gráficos con los datos que se le proporcionan y **'Pyparsing'** es una librería utilizada para extraer información de un texto, en este caso es necesaria para ciertas funciones de Matplotlib.

Se añade el *'ToolBox'* de IndiFrag a ArcMap desde la carpeta que contiene los archivos descargados:

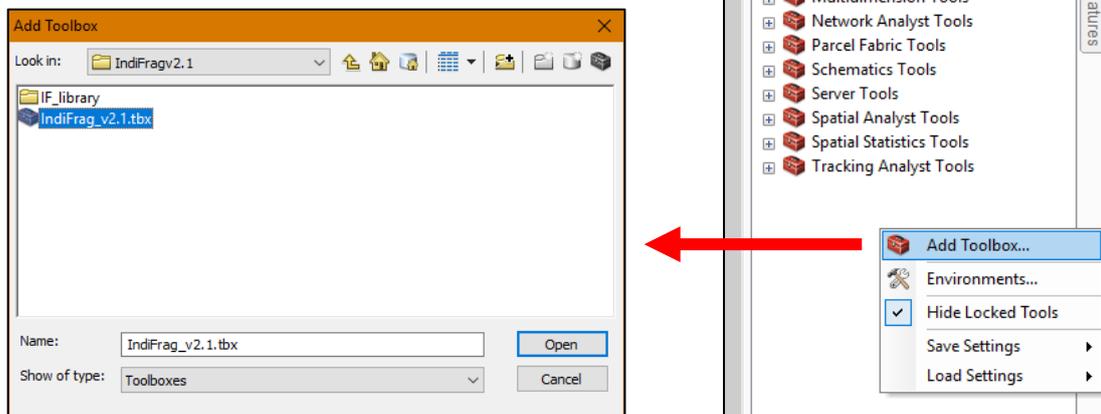


Imagen 75- Carga del Toolbox de IndiFrag

Se guardan los cambios 'To Default', para que así cada vez que se abra el software aparezca esta herramienta y se visualiza como se ha instalado correctamente en la caja de herramientas.

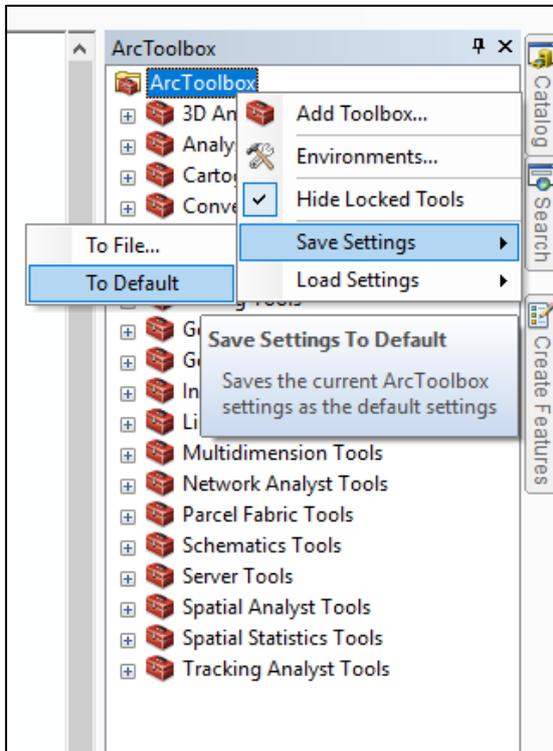


Imagen 77- Guardado de los cambios

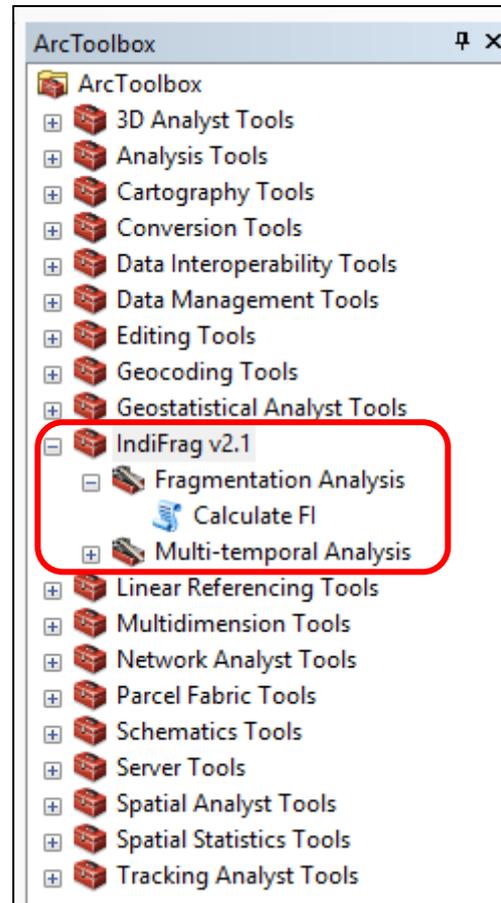


Imagen 76- Ruta herramienta IndiFrag

Al desplegar la opción "Fragmentation Analysis" aparece una opción para calcular los índices llamada "Calculate FI", al abrirla aparece una ventana donde se deben introducir los datos de entrada que a continuación se explican:

- Input Feature with Objects: shapefile con los objetos clasificados.
- Land Use Field Name: nombre del campo que contiene la clasificación con los usos de suelo, debe ser tipo texto o entero. Al cargar la capa con los objetos, automáticamente, se crea un listado de todos los campos de la capa que cumplen las condiciones para que se seleccione uno.
- Urban Field Name: opcionalmente, nombre del campo con el uso urbano y no urbano, se trata de una segunda clasificación o agrupación de las clases anteriores en función de si se trata de un uso antrópico, debe ser tipo texto o entero, de nuevo se crea un listado de todos los campos de la capa que cumplen las condiciones. Si no se introduce no se calcularán los índices de densidad y compacidad urbana.
- Urban Value: opcionalmente, valor del uso urbano. En función de la capa con los objetos y el campo con el uso urbano se desplegará un listado con los usos disponibles. Si no se introduce no se calcularán los índices de densidad y compacidad urbana.

- Input Feature with Super-Objects: opcionalmente, shapefile con los súper-objetos.
- Super-Objects Field Name: opcionalmente, nombre del campo que contiene el nombre o identificador de cada súper-objeto, debe ser tipo texto o entero. Al cargar la capa con los súper-objetos se crea un listado de todos los campos de la capa.
- Output Text File: opcionalmente, ruta de salida y nombre del fichero de texto con los resultados, no hay que escribir la extensión del archivo, por defecto será .txt
- ¿Is there any Road class?: Si los datos de entrada tienen un uso asignado a las carreteras o red de transporte es necesario indicar cuál es, para poder descartarlo de algunos índices y realizar correctamente el análisis de contraste. Al cargar la capa con los objetos y el campo con la clase, se generará un listado con todas las clases disponibles para que el usuario seleccione una o ninguna.
- Select/Unselect all: Si se quieren calcular todos los índices o bien deseleccionarlos se puede hacer utilizando este checkbox. En ese caso, es conveniente revisar los distintos grupos ya que algunas métricas requieren datos adicionales.

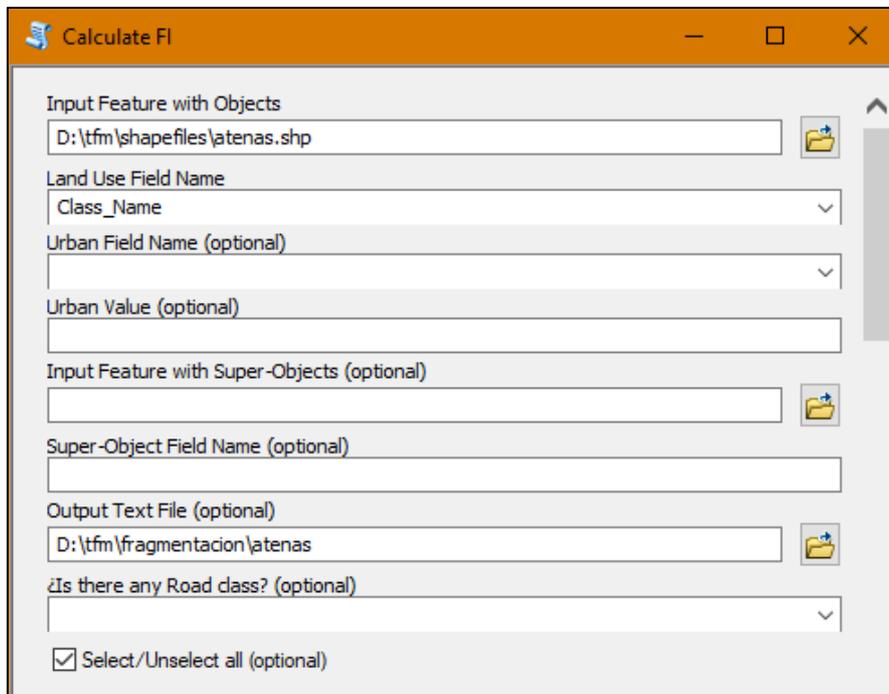


Imagen 78- Ventana de la herramienta 'IndiFrag'

A continuación, se van a explicar los grupos de opciones de análisis que hay:

- Agregation: Este grupo representa una colección de medidas que muestran la tendencia de los objetos a agregarse espacialmente, también se le conoce como la estructura del súper-objeto. El término agregación engloba otros conceptos como la dispersión, la intercalación, subdivisión y la separación. En el caso de la compacidad urbana (CU) es necesario indicar el campo y el uso urbanos.

- **Area and Perimeter:** en este grupo se encuentran todos los índices que reflejan información relativa al área y perímetro. En el caso de calcular el índice de fragmentación urbana ponderada (IFU), al activar esta casilla y una vez se haya introducido la capa con los objetos y el campo con la clase, se creará un listado con las clases disponibles para que el usuario seleccione qué clases pertenecen a qué coeficiente de obstrucción, en función de lo que se explicará más adelante en la definición de este índice o bien en la ayuda de la herramienta.
- **Contrast:** El grupo de contraste está formado por un único índice que se calcula analizando la contigüidad entre objetos de la misma o distinta clase. En un paso anterior se ha indicado si existe o no el uso de carreteras, esta información es necesaria para calcular este índice. En una clasificación sin carreteras, el índice de contraste se calculará analizando las fronteras de cada objeto. En el caso de tener una clase de carreteras, se analizarán las fronteras prescindiendo de la clase de carreteras para que no falsee los resultados obtenidos, ya que en un entorno urbano los objetos pueden ir rodeados de carreteras y calles y el contraste sería siempre el máximo.
- **Diversity:** en este grupo se encuentran todos los índices que reflejan la diversidad.
- **Shape:** índices relacionados con la forma de los objetos.

Como se ha dicho anteriormente, muchas de las opciones de cálculo están relacionadas con las clases de uso urbano que hay. Al no tener campo de uso urbano, todas las opciones que consideren este parámetro no se van a poder calcular, por eso no se seleccionarán. A continuación, se hace una descripción de los índices que se van a calcular.

Número de Objetos (Nob)

Número de objetos en cada clase (NobCl) y súper-objeto (NobSO). En el caso del súper-objeto se tienen en cuenta todos los objetos excepto los de la clase asociada a las carreteras si se ha asignado previamente este uso. Es una medida sencilla, necesaria para calcular otros índices. Su rango es todo número positivo. Este valor sale por defecto sin ser señalado en ninguna opción.

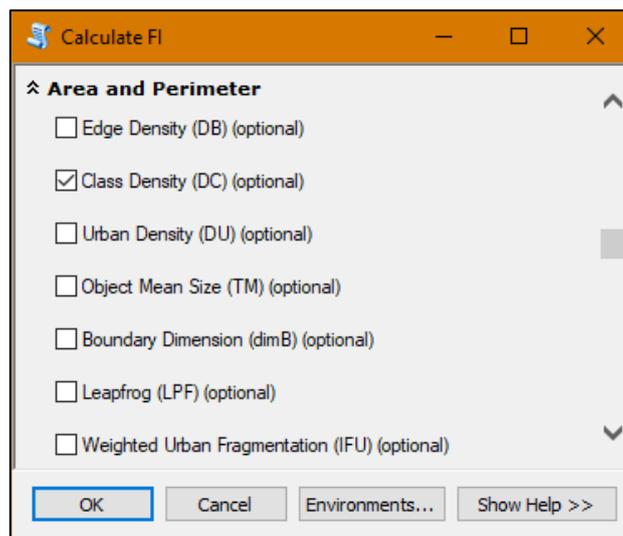


Imagen 79- Opciones herramienta IndiFrag

Densidad de Clase (DC)

Es el ratio entre la superficie de una clase y la superficie del súper-objeto. Al tratarse de dos superficies con unidades en m^2 el resultado obtenido es un porcentaje (%). Su fórmula a nivel de súper-objeto es la siguiente:

$$DC = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i)}{A_T}$$

Donde:

A_i = área del objeto i en la clase estudiada (m^2).

n = número de objetos en la clase.

A_T = área del súper-objeto (m^2).

Al tratarse de un porcentaje, su valor varía entre cero y uno. Será mayor cuanto mayor sea la densidad de una clase en el súper-objeto.

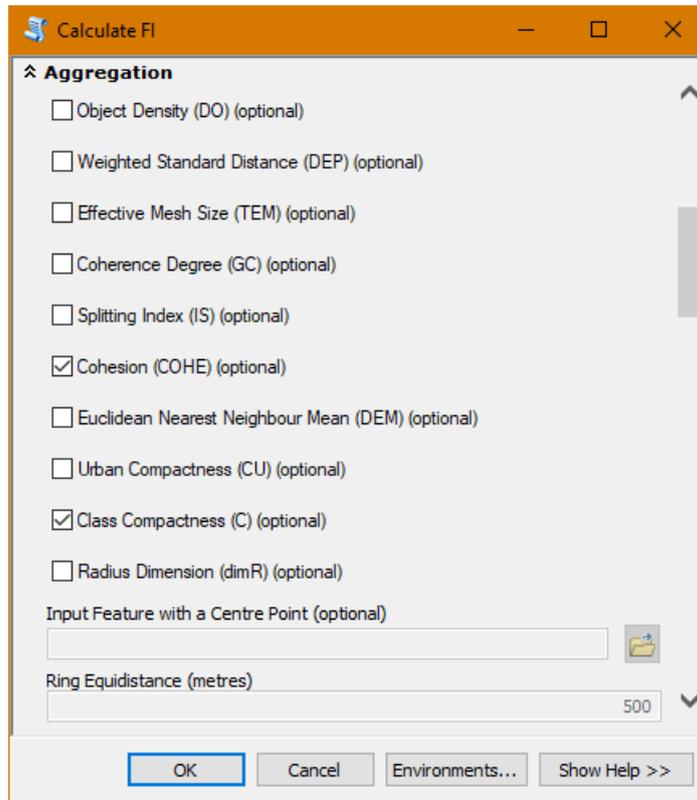


Imagen 80- Opciones herramienta IndiFrag 2

Cohesión (COHE)

El índice de Cohesión, mide la conectividad de la clase (COHECI) o súper-objeto (COHESO), dependiendo del nivel al que se evalúe. La Cohesión aumenta cuanto más agregados en su distribución estén los objetos de una misma clase o súper-objeto, es decir, más conectados estén entre sí. Su fórmula es la siguiente, siendo su resultado adimensional

Donde:

P_i = perímetro del objeto i (m).

A_i = área del objeto i (m^2).

A_T = área total de la clase o súper-objeto (m^2).

n = número de objetos en la clase o súper-objeto.

$$COHE = \frac{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot \sqrt{A_i})} \right)}{1 - \left(\frac{1}{\sqrt{A_T}} \right)}$$

Su rango es de 0 a 100. Es próximo a 0 cuando los objetos no están conectados entre sí y el súper-objeto se encuentra más subdividido. Aumenta con la conectividad de la clase.

Compacidad de la clase (C)

Este índice muestra la compacidad de los objetos de una clase. La compacidad expresa la idea de proximidad de los objetos de una clase que configuran un súper-objeto, su fórmula es la siguiente.

$$C = \frac{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \sum_{i=1}^n (A_i)}}{\sum_{i=1}^n (P_i)}$$

Donde:

P_i = perímetro del objeto i de la clase estudiada (m).

A_i = área del objeto i de la clase estudiada (m^2).

Cuanto mayor es la compacidad mayor agregación espacial de la clase, y por lo tanto menor dispersión de los objetos.

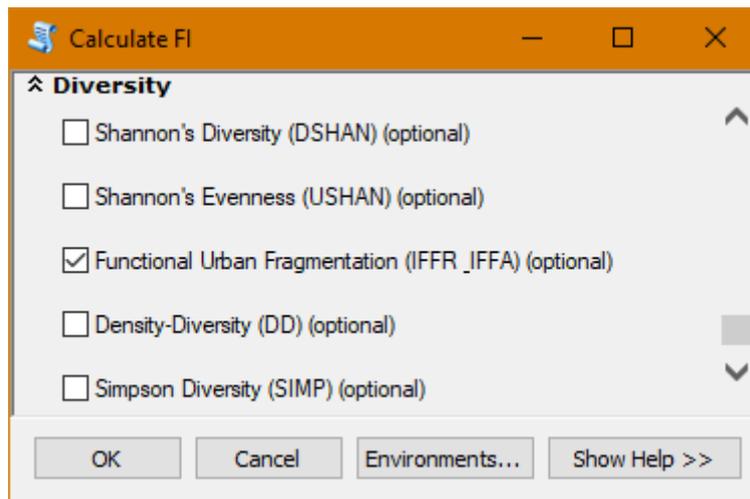


Imagen 81- Opciones herramienta IndiFrag 3

Índice de Fragmentación Funcional Absoluta (IFFA)

Este índice mide el nivel de integración funcional y estructural dentro del perímetro analizado, tiene en cuenta el tamaño del perímetro medio de las áreas funcionales de la zona de estudio. Su fórmula es la siguiente, siendo adimensional:

$$IFFA = \frac{P_T}{\sum_{i=1}^m (\sum_{i=1}^n (P_i))}$$

Donde:

P_i = perímetro del objeto i (m).

P_T = valor referencial del área funcional (m) (perímetro total del súper-objeto).

n = número de objetos en la clase.

m = número de clases en el súper-objeto

Su rango es todo número positivo. Cuando IFFA es menor resulta en alta fragmentación funcional. Por otro lado, cuando IFFA aumenta su integración urbana también, derivando la homogeneidad urbana.

4.9. Cálculo de los indicadores ambientales

4.9.1. Zonas verdes por habitante

Como se ha descrito en uno de los apartados anteriores uno de los indicadores de calidad ambiental según la distribución de zonas verdes es los metros cuadrados de vegetación que existe por habitante. En este primer paso se va a hacer un cálculo de estos por zonas de influencia ya descritas y comparar posteriormente entre ellas, cual se ajusta más al valor deseado.

Antes de empezar con el análisis se va a describir cual será el rango deseable de este indicador y así poder hacer un mejor estudio a posteriori.

Este rango va a definirse ya que los beneficios producidos en una ciudad gracias a una presencia significativa de espacios verdes son innumerables. Además de los beneficios en relación al bienestar físico, como elementos mitigadores de contaminación y sumideros de CO₂, la existencia de espacios verdes da estructura a la ciudad, y amortiguan el impacto producido por niveles excesivamente altos de densidad y edificación, de ahí su gran importancia como elementos clave en la prevención de riesgos naturales y mitigación de los efectos producidos por el cambio climático.

Según recomendaciones de la OMS, las ciudades deben disponer, como mínimo, de entre 10 y 15 metros cuadrados de área verde por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población. Es aconsejable que esta relación alcance valores entre 15 y 20 metros cuadrados de zona verde útil.

Se podría establecer, por tanto, de acuerdo a las directrices marcadas por la OMS el nivel mínimo deseable para este indicador igual a 10 metros cuadrados de zona verde por habitante para el conjunto de ciudades mediterráneas que participan en este proyecto.

Para empezar, hacen falta datos que se deben extraer de los archivos generados anteriormente. Como al separar polígonos en el paso de 'Multipart to singlepart' los registros resultantes han adquirido los atributos del conjunto inicial, es decir, en el campo área, por ejemplo, ha quedado registrada la total, antes de separar los polígonos. Por eso, será necesario crear un nuevo campo 'area2' y calcular su nueva geometría.

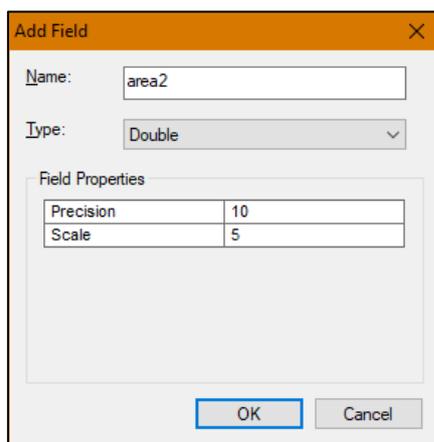


Imagen 82 - Creación campo 'area2'

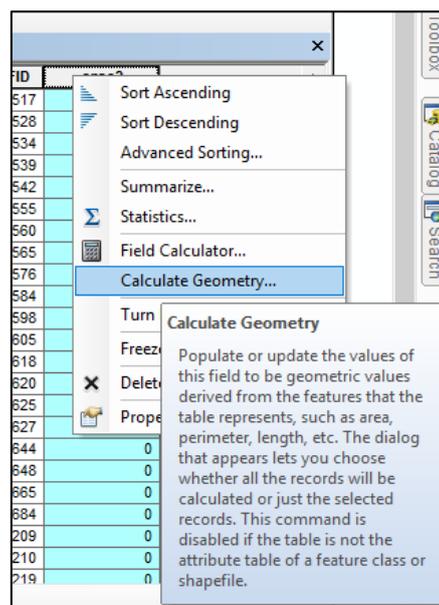


Imagen 84- Cálculo del área de los nuevos registros

ID	area2
517	7648.07174
528	2195.89408
534	1200.00018
539	7599.9999
542	1028.89978
555	4800.00115
560	2800.00053
565	4799.99998
576	1600.00025
584	3200.00083
598	8800.00028
605	2799.99986
618	1600.00044
620	1599.9998
625	1200.00059
627	3599.99995
644	2399.99972
648	7600.00009
665	1200.00009
684	1200.00058
209	1200.00007
210	6799.99953
219	1199.99964

Imagen 83- Campo 'area2'

De la misma forma que anteriormente se pasará la herramienta ‘Eliminate’ a los posibles polígonos resultantes con área menor a 1000 m²

A continuación, desde la tabla de atributos de cada capa, se seleccionarán todos los registros de polígonos pertenecientes a vegetación y se hará un resumen estadístico, obteniendo así la suma total de las áreas de vegetación. A continuación, se muestra el proceso.

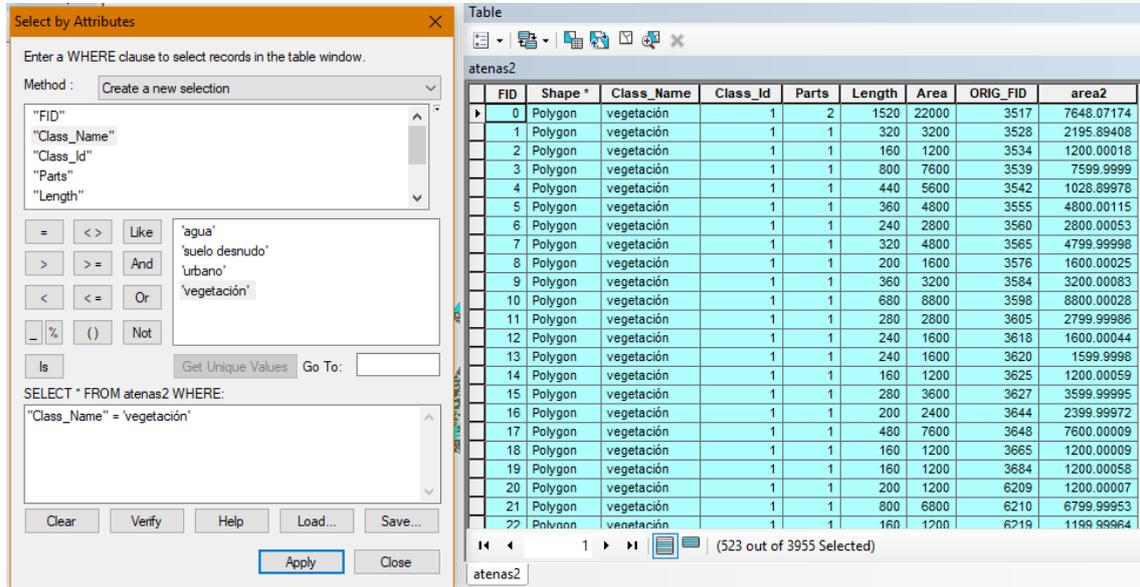


Imagen 85- Selección registros pertenecientes a la clase vegetación

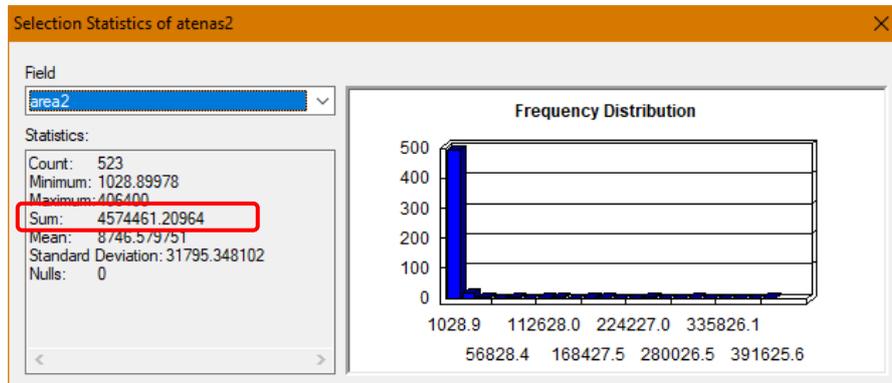


Imagen 86- Estadísticas clase vegetación

Junto con la población anteriormente localizada de cada ciudad, y la suma de las áreas correspondientes a la clase vegetación de cada ciudad, se procede a calcular el primer índice.

Ciudades	Población (nº personas)	m2 de vegetación	m2 de vegetación /habitante
Atenas	2715595	4574040.59	1.68
Berlin	3467616	505785570.74	145.86
Bruselas	1167508	7999372.94	6.85
Budapest	1692974	27456286.70	16.22
Copenhague	1219803	10554977.40	8.65
Estocolmo	1501239	68949790.37	45.93
Helsinki	1041177	65220407.49	62.64
Lisboa	2416489	12883055.81	5.33
Londres	9942283	375212635.85	37.74
Madrid	5264307	22632118.80	4.30
Oslo	632540	313768563.90	496.05
París	9532016	19460163.03	2.04
Roma	2638663	282407330.06	107.03
Tallin	398108	92556193.57	232.49
Varsovia	1720167	321102599.24	186.67

Tabla 4- Resultados indicador metros cuadrados/habitante

4.9.2. Proximidad a zonas verdes

El indicador anteriormente calculado es de mucha importancia para evaluar la calidad ambiental en una ciudad a partir de las zonas verdes. No obstante, es conveniente señalar la importancia de la proximidad y accesibilidad, ya que esta característica es incluso más importante que la cantidad total de superficie verde.

La existencia de zonas verdes y áreas de esparcimiento en grandes ciudades no es suficiente, su localización también es importante. Los beneficios que las zonas verdes producen son menos relevantes en el caso de que la mayoría se encuentren localizadas en las afueras o en la parte periurbana de las ciudades.

Es necesario, por tanto, que los espacios naturales se encuentren integrados en el área urbana consolidada, cerca de la gente, de tal forma que la población pueda acceder a ellos fácilmente. Los espacios verdes de proximidad (localizados a una distancia inferior de 200 metros), dan cobertura a las necesidades cotidianas de recreo y a aquellos ciudadanos que tienen movilidad reducida; gente mayor, niños.

Para el análisis de este indicador se va a utilizar la herramienta 'Buffer' del software Arc-Map. A continuación, se muestra el criterio establecido para el tamaño de buffer (proximidad) según las áreas de las zonas verdes.

- Mayor a 1000 m² de superficie: 200 metros de distancia.
- Mayor a 5000 m² de superficie: 750 metros de distancia.
- Mayor a 1 hectárea de superficie: 2000 metros de distancia.

Con la superficie de cada polígono existe un problema, no se tiene los polígonos separados a cada zona, sino, se tiene un polígono más extenso que puede abarcar varias zonas verdes, por eso no se hará la distinción descrita antes. En este caso se considerará que la población debe tener cerca una zona verde de entre 1000 y 5000 m² que corresponde a zonas ajardinadas, como plazas o áreas de estancia que ofrecen una función de contacto diario del ciudadano con el verde y por lo tanto como promedio a una distancia de unos 500 metros.

Es necesario, por tanto, garantizar un porcentaje mínimo de proximidad a las zonas verdes, para lo cual se ha definido una clasificación en función de la extensión de las zonas verdes existentes. Se podría de esta forma establecer los intervalos en torno al 90%-100% como el nivel deseable de proximidad del conjunto de ciudades europeas que participan en este proyecto.

Puesto que la fórmula para calcular este porcentaje utiliza datos de población por zonas ($P_{verde} (\%) = \frac{\text{población con cobertura simultánea a 3 de los 4 tipos de espacios verdes}}{\text{población total}}$) y de este dato no se tiene disponibilidad, se va a hacer un análisis gráfico que va a utilizar la herramienta de 'Buffer'.

Esta herramienta conocida también como 'Zona de influencia' Crea polígonos a partir de una entidad alrededor de otras entidades de entrada a una distancia especificada.

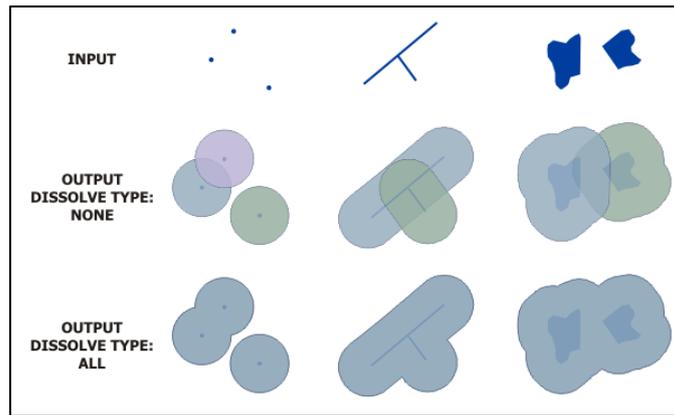


Imagen 87- Explicación 'Buffer'

En primer lugar, se seleccionan los registros pertenecientes a la clase de vegetación, se va a hacer el buffer a partir de estos registros y de esta manera poder ver si cubre lo que es toda el área de la ciudad.

FID	Shape *	Class Name	Class Id	Parts	Length	Area	ORIG FID	area2
1663	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15610	1199,99909
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15611	400
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15612	1200,00017
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15613	1200
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15614	299,99952
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15615	1700
1664	Polygon	suelo desnudo [Sienna1] 4370 poi	2	13431	4122400	1035750000,2421	15616	3000
1664	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	13000
1664	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	7199,99823
1664	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	2200
1664	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	157200,00519
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	1700
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	1400
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	1399,99984
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	3399,99983
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	2199,99978
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	3600
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	1700
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	7000
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15618	13320371,31716
1665	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15658	1200,00003
1666	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15659	3800,00022
1666	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15660	5899,99955
1666	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15660	23499,99792
1666	Polygon	vegetacion [Green2] 21570 points	3	1272	519020	24994999,898438	15669	1700

Imagen 88- Selección registros de vegetación

La zona de influencia como bien se ha dicho, va a ser de 500 metros, así de esta manera aseguramos que cualquier persona tenga cerca una zona verde mayor a 1000 m2, que era la superficie mínima de polígono de vegetación que se ha establecido en un principio.

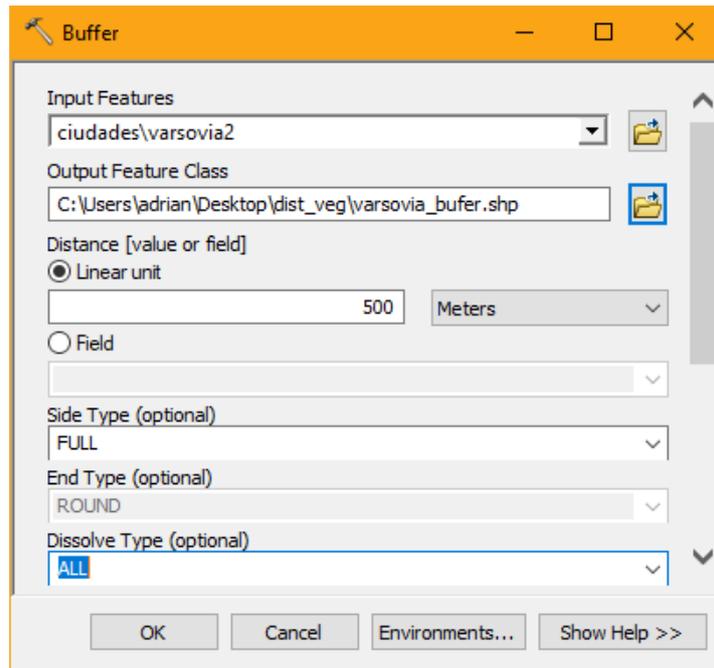


Imagen 89- Ventana herramienta 'Buffer' con las opciones seleccionadas

A continuación, para obtener las zonas no abarcadas por este buffer, es decir, las zonas que tienen a más de 500 metros un espacio verde se utiliza la herramienta 'Diferencia simétrica' en que las entidades o partes de entidades de entrada y de actualización que no se superpongan se escribirán en la clase de entidad de salida. Es como una intersección, pero utilizando la parte que resta, en cierto modo.

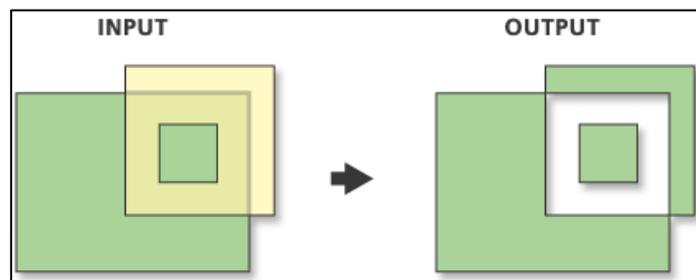


Imagen 90- Herramienta 'Symmetrical Difference'

Solo se utiliza el archivo de entrada, el de superposición y la ruta y nombre de salida.

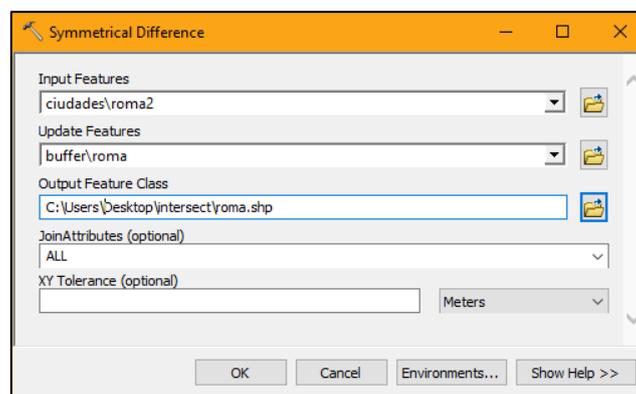
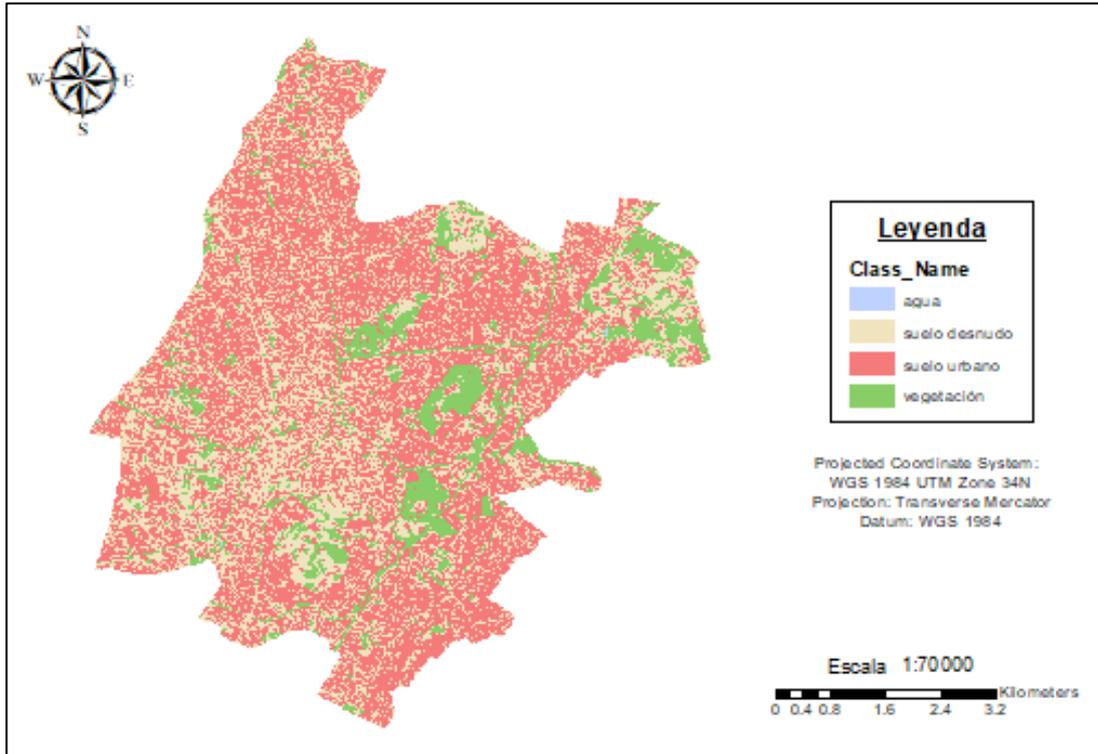


Imagen 91- Ventana herramienta 'Symmetrical Difference'

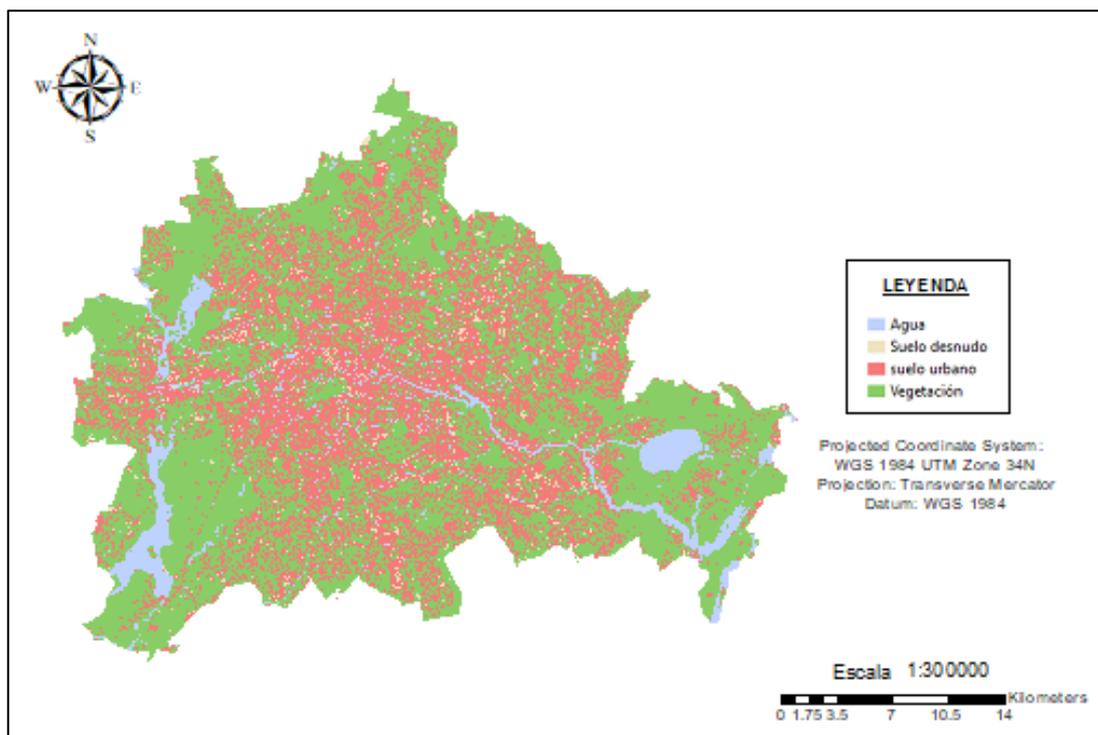
5. RESULTADOS

5.1. Imágenes clasificadas

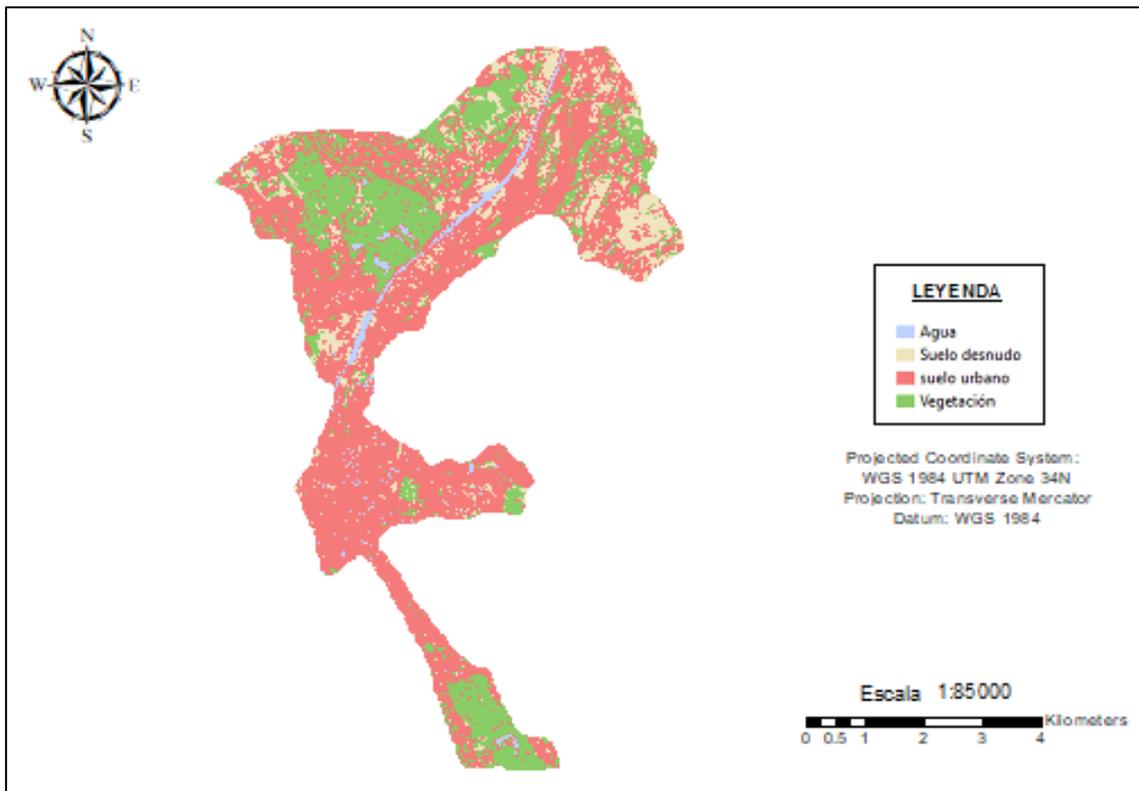
- Clasificación ciudad de Atenas



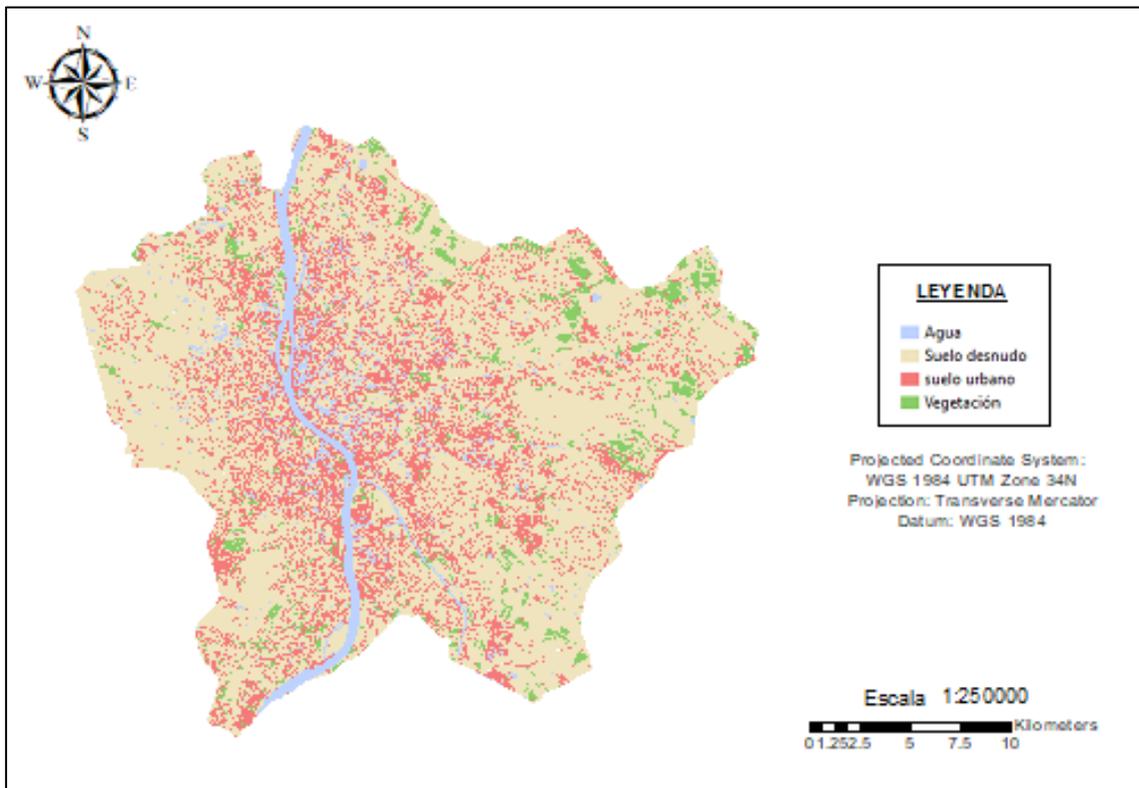
- Clasificación ciudad de Berlín



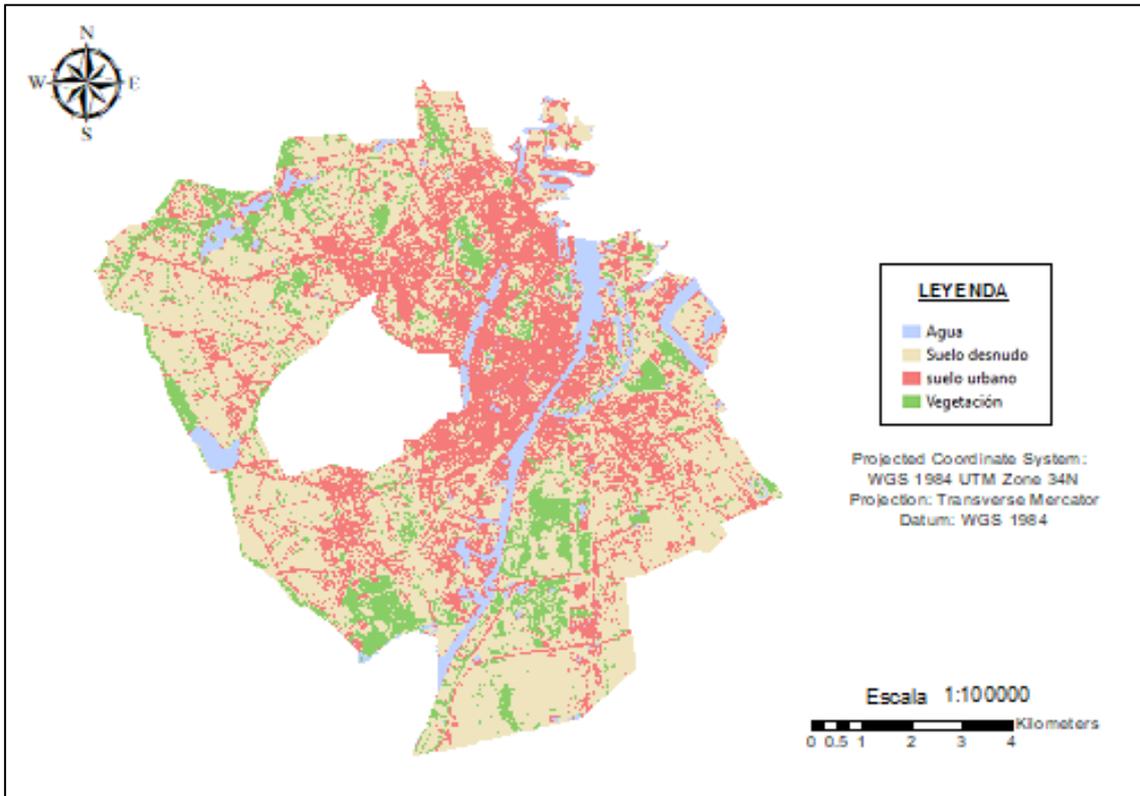
- Clasificación ciudad de Bruselas



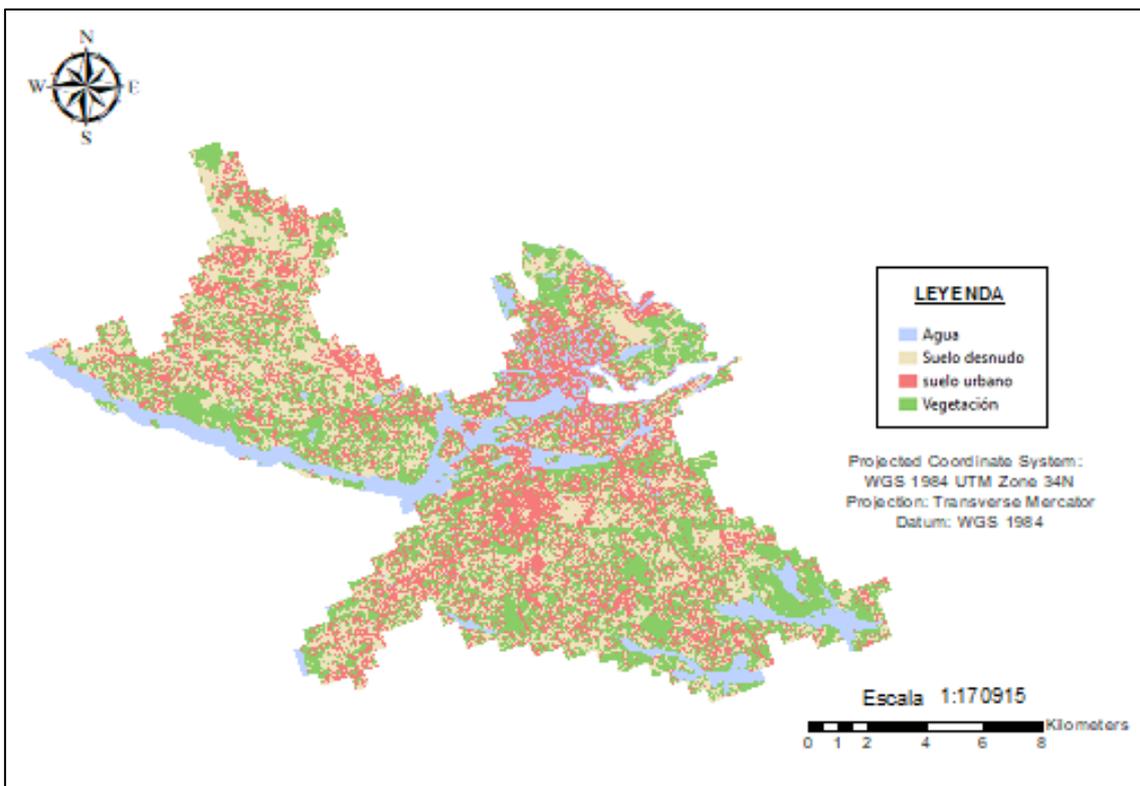
- Clasificación ciudad de Budapest



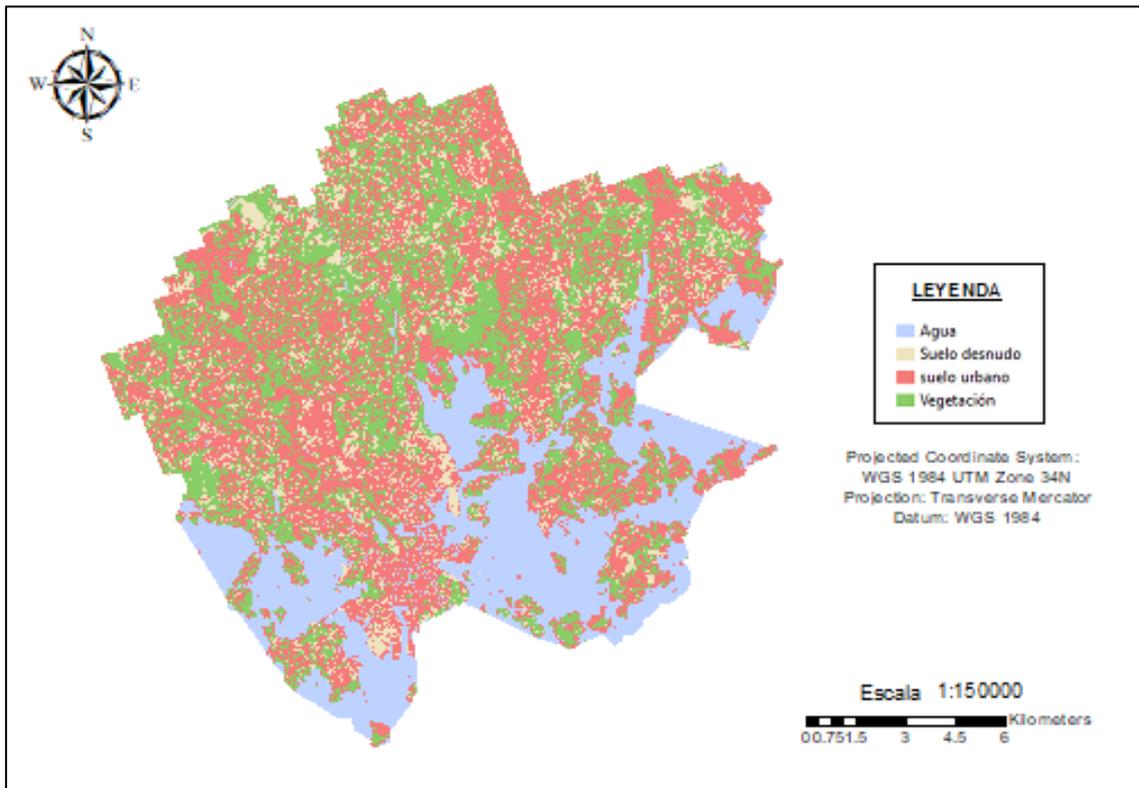
- Clasificación ciudad de Copenhague



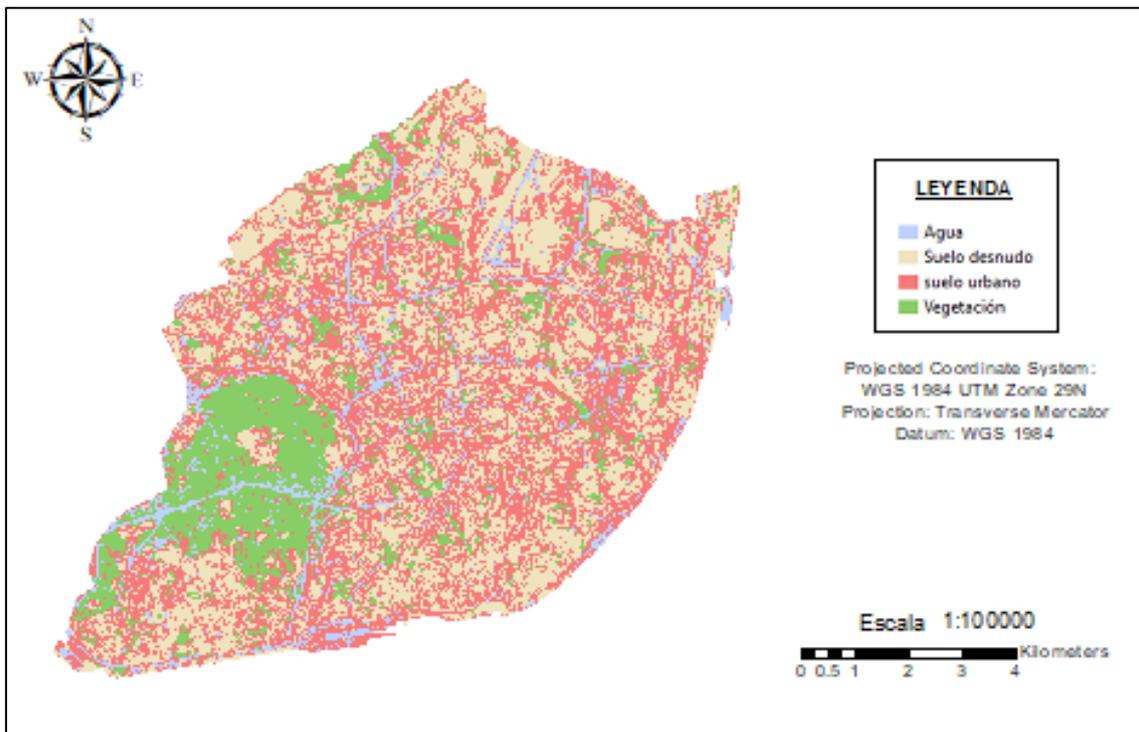
- Clasificación ciudad de Estocolmo



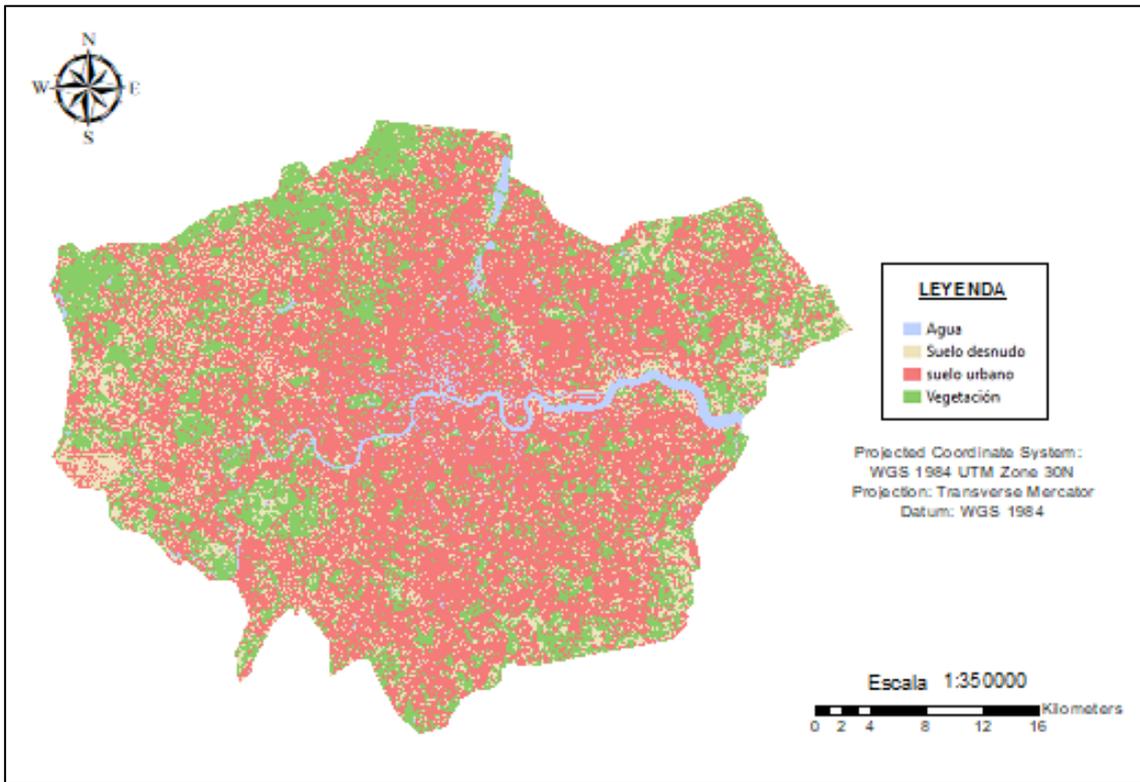
- Clasificación ciudad de Helsinki



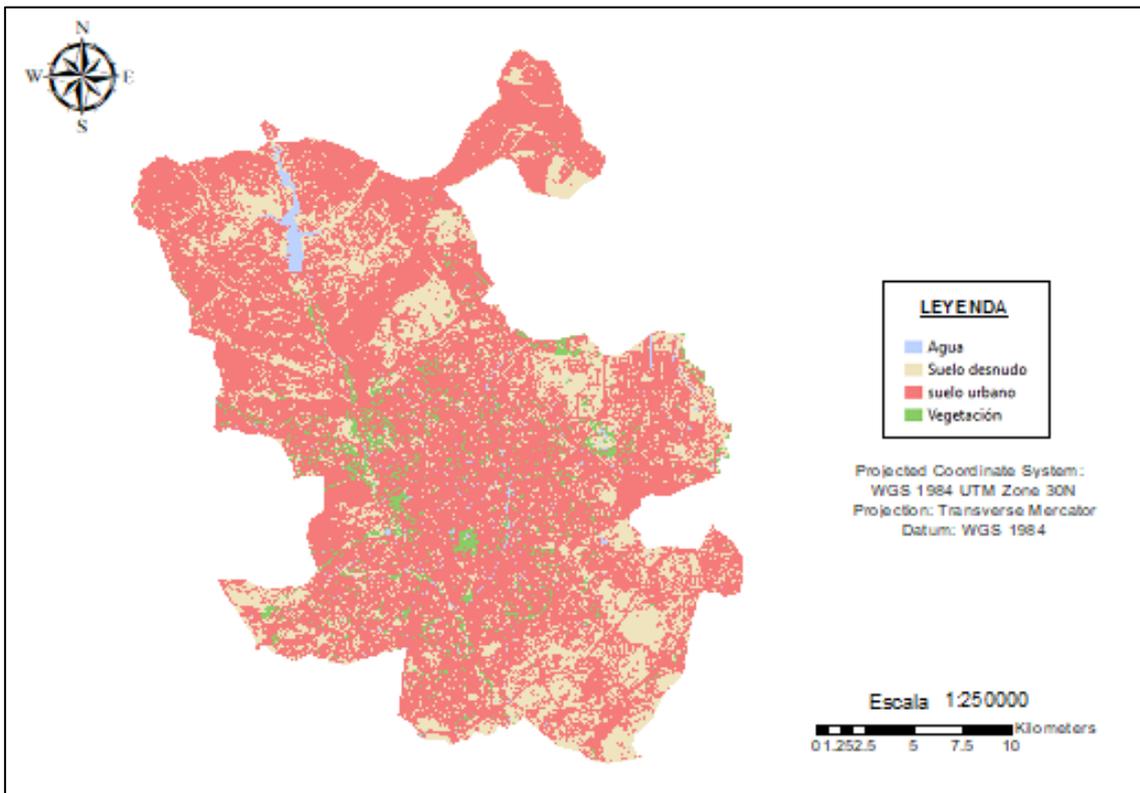
- Clasificación ciudad de Lisboa



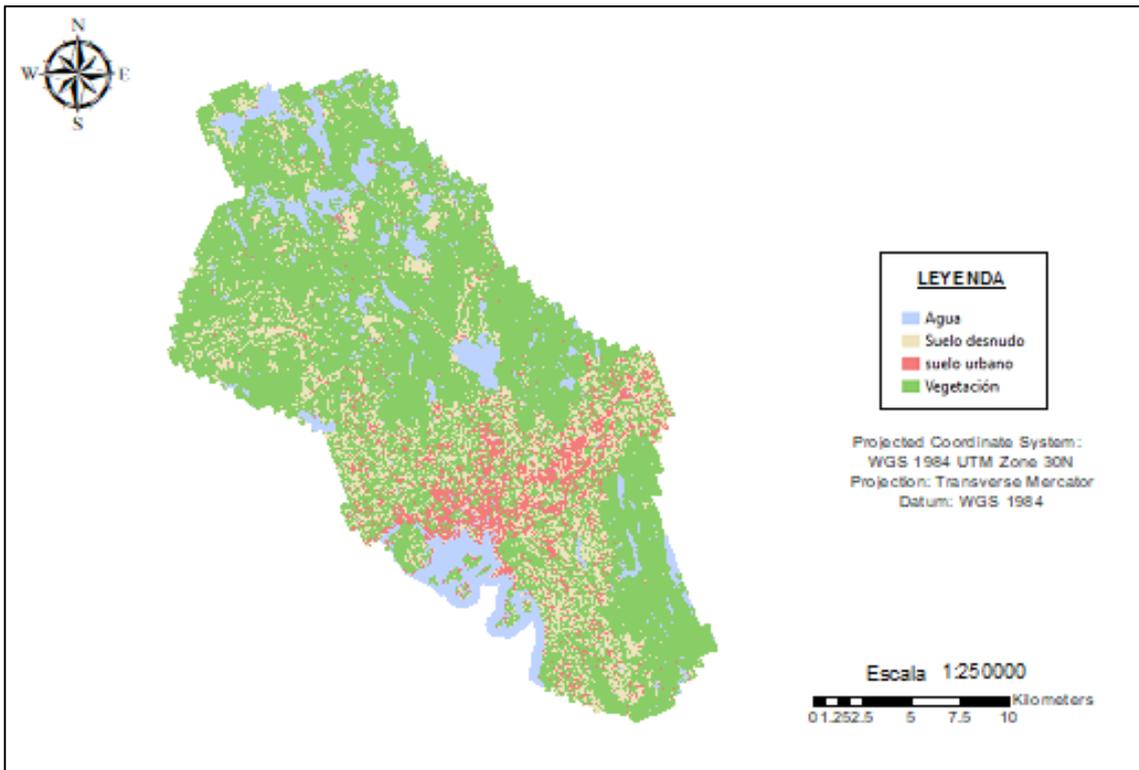
- Clasificación ciudad de Londres



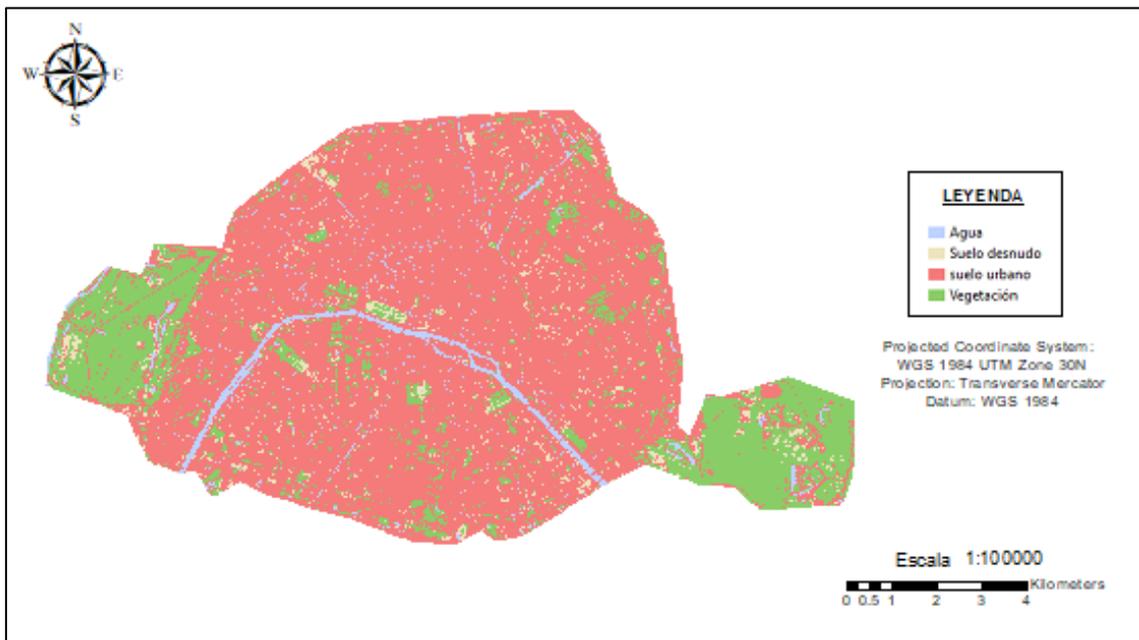
- Clasificación ciudad de Madrid



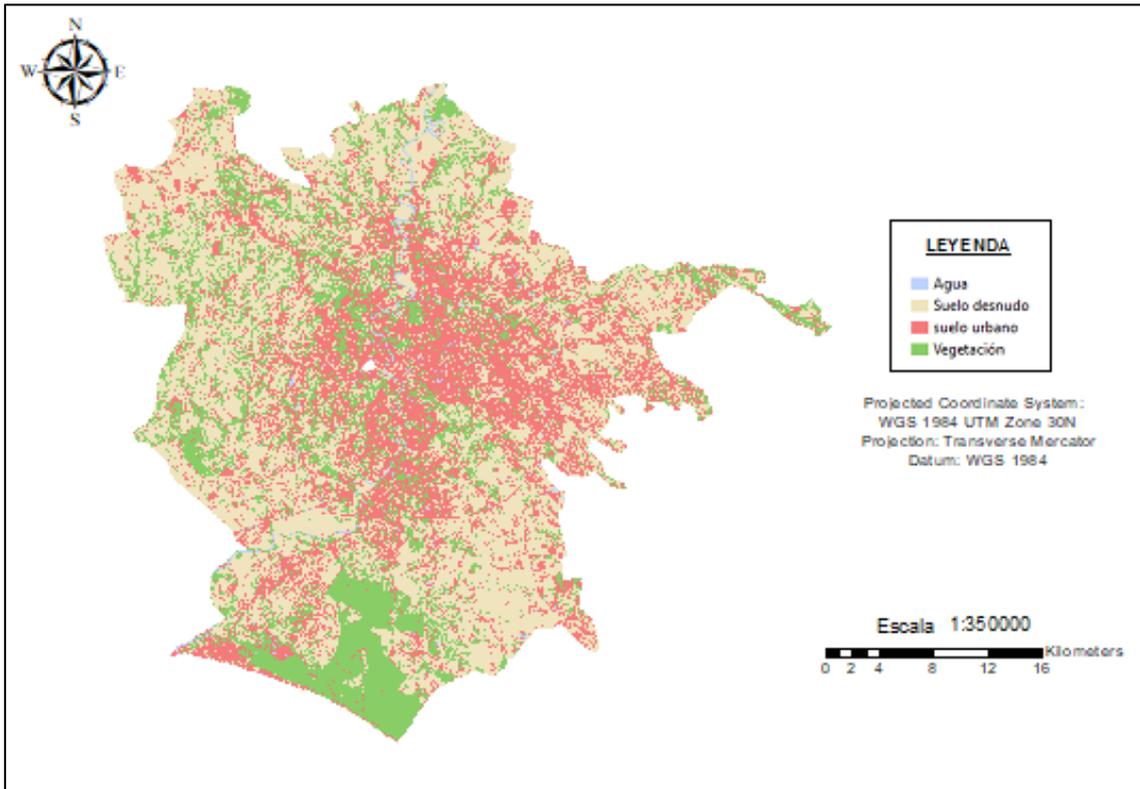
- Clasificación ciudad de Oslo



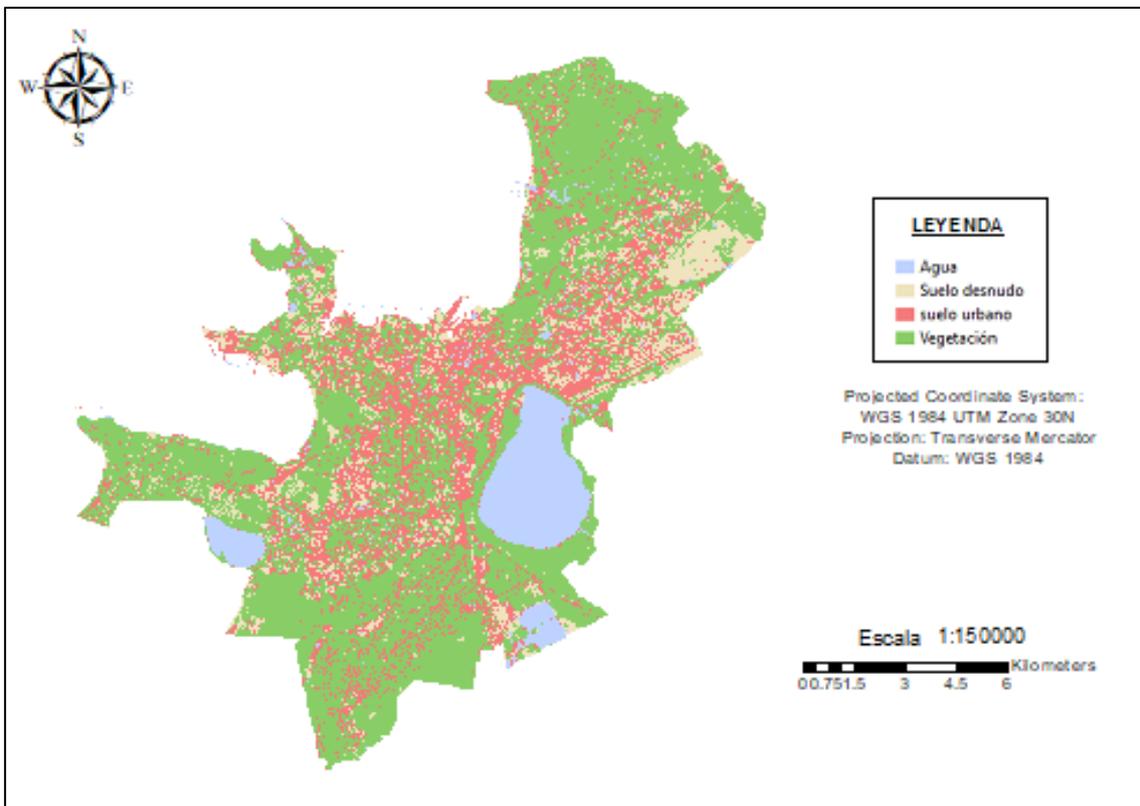
- Clasificación ciudad de París



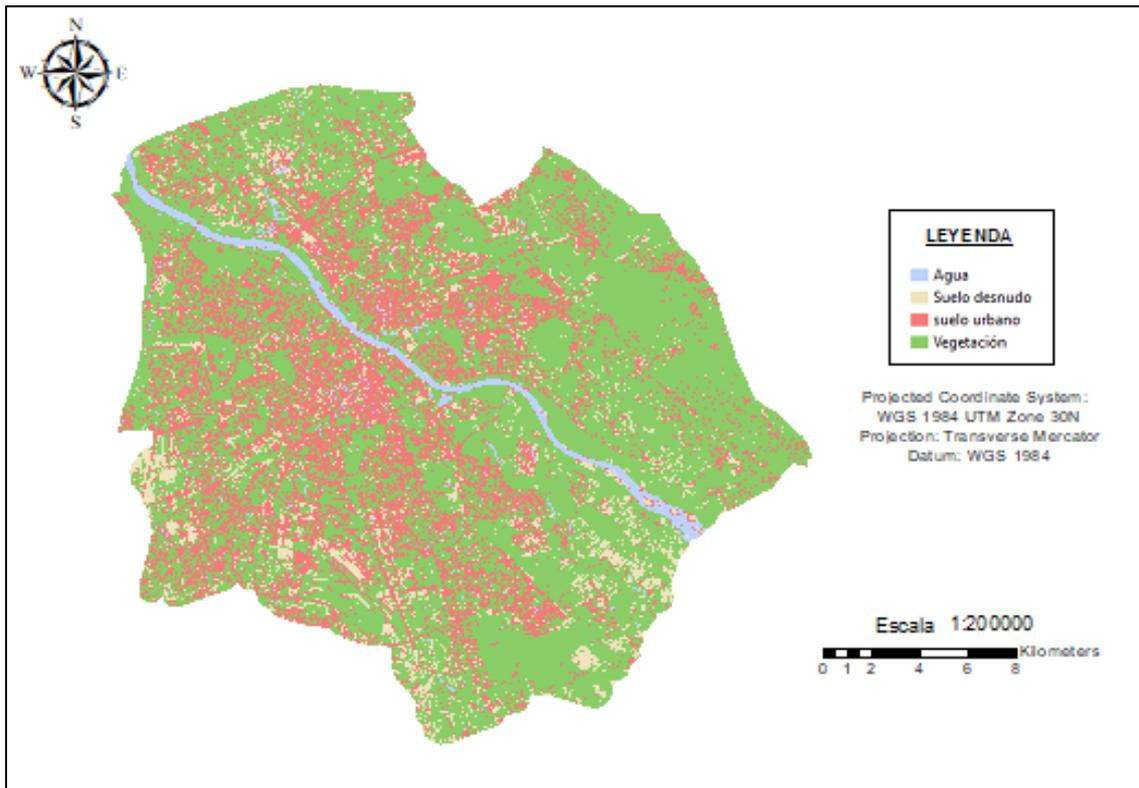
- Clasificación ciudad de Roma



- Clasificación ciudad de Tallin



- Clasificación ciudad de Varsovia



En el momento de la clasificación se puede observar que las zonas de vegetación que son las que interesan para este estudio, han sido correctamente clasificadas, en caso contrario el uso de suelo desnudo y suelo urbano puede haber tenido alguna confusión a la hora de asignar los píxeles a la clase correspondiente ya que sus niveles digitales son bastante similares. En este caso, como la clase más importante que es la vegetación, corresponde con la realidad, se puede seguir con el estudio. Para un análisis más detallado el problema de la mala clasificación de los píxeles se podría corregir tomando más muestras de entrenamiento iniciales o utilizando otros métodos de clasificación.

5.2. Fragmentación

Para el cálculo de la fragmentación se ha utilizado la herramienta InfiFrag, como se ha comentado anteriormente. Cabe señalar que según el cálculo hecho obtendremos resultados a nivel super-objeto o a nivel clase. A continuación, se describen los parámetros elegidos para el estudio de este apartado.

Como resumen de los parámetros calculados y para realizar el análisis se tiene:

IFFA: cuanto más alto el valor, existe menos fragmentación del área.

COHESO: cuanto más alto el valor, alta conectividad entre clases (poco subdividido).

DC: cuanto más alto el valor, mayor densidad de una clase.

CCL: cuanto más alto el valor, mayor compacidad, mayor agregación espacial de la clase por lo que se tiene menor dispersión de objetos.

COHECL: igual que con COHESO pero para cada clase

Solo se va a analizar las clases correspondientes a vegetación y a suelo urbano, ya que son los que interesan en este estudio de fragmentación urbana.

Ciudades	SUPER-OBJECT LEVEL INDICES				
	NCI	NobSO	IFFR	IFFA	COHESO
Atenas	4	11056	0	0,0125	99,8944
Berlin	4	70436	0	0,0063	99,989
Bruselas	4	2861	0	0,0358	99,9849
Budapest	4	103474	0	0,0044	99,986
Copenhague	4	9454	0	0,0184	99,9616
Estocolmo	4	35536	0	0,0125	99,8792
Helsinki	4	25983	0	0,0077	99,9702
Lisboa	4	10733	0	0,0100	99,9191
Londres	4	194951	0	0,0032	99,9972
Madrid	4	32043	0	0,0105	99,9975
Oslo	4	35634	0	0,0085	99,9892
Paris	4	7711	0	0,0184	99,9945
Roma	4	94141	0	0,0055	99,9828
Tallin	4	17207	0	0,0162	99,9739
Varsovia	4	40107	0	0,0045	99,9863

Tabla 5- Resultado fragmentación nivel super-objeto

En esta primera tabla aparecen los resultados a nivel super-objeto de cada ciudad. Como se puede comprobar para el Índice de Fragmentación Funcional Absoluta el valor más alto corresponde a Bruselas y el más bajo a Londres. Según los detalles dados anteriormente esto significa que Bruselas seguida de Copenhague y Paris, son las ciudades que mejor fragmentación presentan, es decir hay una homogeneidad mayor de la distribución de clases en estas ciudades que en el resto, siendo las peores Londres seguido de Budapest, Varsovia y Roma. Estas ciudades con bajo valor de IFFA, muestran un alto grado de fragmentación entre las diferentes clases, el cual se puede relacionar con el valor del índice de Cohesión el cual mide la conectividad de la clase y en estas ciudades es de nivel medio, es decir las clases están más o menos conectadas entre sí lo que significa que están bastante subdivididas.

Según los resultados París que está entre los valores altos de IFFA y COHESO se sitúa en la ciudad con mejor nivel de fragmentación, es decir, se encuentra poco fragmentada y con sus clases poco subdivididas. Hay que tener en cuenta que estos resultados se han obtenido a partir de polígonos que pueden no pertenecer a la realidad, ya que la clasificación no es 100% exacta.

CLASS LEVEL INDICES (Vegetación)						
Ciudades	AreaCI	PerimCI	NobCI	DC	CCI	COHECI
Atenas	4,575	290,608	1034	0,1174	0,0276	99,3573
Berlin	505,786	16367,053	17840	0,5695	0,0049	99,9726
Bruselas	7,999	339,961	431	0,2404	0,0295	99,8191
Budapest	27,456	1296,006	2856	0,0494	0,0143	99,4615
Copenhague	10,555	563,205	1027	0,1135	0,0204	99,5721
Estocolmo	68,950	3545,724	5273	0,33	0,0083	99,6796
Helsinki	65,220	3457,911	4021	0,2807	0,0083	99,7819
Lisboa	12,883	507,411	968	0,1521	0,0251	99,8178
Londres	375,213	11924,953	17652	0,2402	0,0058	99,8349
Madrid	22,632	1509,058	3610	0,0374	0,0112	99,3949
Oslo	313,769	5806,962	2558	0,6607	0,0108	99,9922
Paris	19,460	681,548	1124	0,1849	0,0229	99,8868
Roma	282,407	11874,694	14535	0,2126	0,005	99,8566
Tallin	92,556	2858,018	1567	0,5541	0,0119	99,9708
Varsovia	321,103	9528,858	4358	0,6231	0,0067	99,9728

Tabla 6- Resultado fragmentación nivel clase vegetación

CLASS LEVEL INDICES (Urbano)						
Ciudades	AreaCI	PerimCI	NobCI	DC	CCI	COHECI
Atenas	20,727	1356,731	2381	0,5319	0,0119	99,8886
Berlin	306,763	17684,451	34958	0,3454	0,0035	99,9726
Bruselas	20,425	592,656	757	0,6138	0,0271	99,8191
Budapest	121,175	11931,024	68235	0,2181	0,0033	99,4791
Copenhague	27,891	1556,214	4202	0,2999	0,012	99,9366
Estocolmo	55,287	4562,581	17732	0,2646	0,0059	99,7847
Helsinki	93,480	4677,577	8565	0,4023	0,0074	99,9692
Lisboa	34,154	2121,269	4336	0,4033	0,0098	99,8865
Londres	907,858	24272,727	25250	0,5812	0,0044	99,9982
Madrid	431,565	7750,235	6451	0,7132	0,0095	99,9977
Oslo	35,144	2963,588	13190	0,074	0,0071	99,8146
Paris	77,890	1261,859	1501	0,7401	0,0249	99,9949
Roma	378,745	19197,880	46517	0,2851	0,0036	99,9811
Tallin	38,290	2971,064	7206	0,2292	0,0074	99,9291
Varsovia	138,478	9330,511	19095	0,2687	0,0045	99,9762

Tabla 7- Resultado Fragmentación nivel clase suelo urbano

Se observa que las densidades de clase más o menos son similares, donde hay una alta densidad en clase vegetación, la hay también en suelo urbano. Se observa que las ciudades con mayor agregación espacial, es decir, menor dispersión de objetos y por lo tanto, más favorable es Bruselas, seguida de París y como mayor dispersión de objetos se tiene Berlín, París y Roma.

En cuanto a la subdivisión de la clase vegetación la mayor se encuentra en Oslo con un alto valor de COHCL y la vegetación menos subdividida en Atenas.

5.3. Indicadores

A continuación, se van a analizar los resultados obtenidos a partir del cálculo de los indicadores ambientales.

5.3.1. Zonas verdes por habitante

En primer lugar, se va a ordenar el valor obtenido de (m² por habitante) y así tener un ranquin de las ciudades con menos metros cuadrados por habitante a las ciudades con más metros cuadrados por habitante.

Ciudades	Población (nº personas)	m ² de vegetación	m ² de vegetación /habitante
Atenas	2715595	4574040.59	1.68
Paris	9532016	19460163.03	2.04
Madrid	5264307	22632118.80	4.30
Lisboa	2416489	12883055.81	5.33
Bruselas	1167508	7999372.94	6.85
Copenhague	1219803	10554977.40	8.65
Budapest	1692974	27456286.70	16.22
Londres	9942283	375212635.85	37.74
Estocolmo	1501239	68949790.37	45.93
Helsinki	1041177	65220407.49	62.64
Roma	2638663	282407330.06	107.03
Berlin	3467616	505785570.74	145.86
Varsovia	1720167	321102599.24	186.67
Tallin	398108	92556193.57	232.49
Oslo	632540	313768563.90	496.05

Tabla 8- Resultado m² de vegetación/habitante ordenado por el resultado

La siguiente tabla, exactamente igual a la anterior se ha ordenado de menor a mayor superficie de vegetación.

Ciudades	Población (nº personas)	m ² de vegetación	m ² de vegetación /habitante
Atenas	2715595	4574040.59	1.68
Bruselas	1167508	7999372.94	6.85
Copenhague	1219803	10554977.40	8.65
Lisboa	2416489	12883055.81	5.33
Paris	9532016	19460163.03	2.04
Madrid	5264307	22632118.80	4.30
Budapest	1692974	27456286.70	16.22
Helsinki	1041177	65220407.49	62.64
Estocolmo	1501239	68949790.37	45.93
Tallin	398108	92556193.57	232.49
Roma	2638663	282407330.06	107.03
Oslo	632540	313768563.90	496.05
Varsovia	1720167	321102599.24	186.67
Londres	9942283	375212635.85	37.74
Berlin	3467616	505785570.74	145.86

Tabla 9- Resultado m² de vegetación/habitante ordenado por m² de vegetación

Y por último se ha ordenado según la población de cada ciudad.

Ciudades	Población (nº personas)	m2 de vegetación	m2 de vegetación /habitante
Tallin	398108	92556193.57	232.49
Oslo	632540	313768563.90	496.05
Helsinki	1041177	65220407.49	62.64
Bruselas	1167508	7999372.94	6.85
Copenhague	1219803	10554977.40	8.65
Estocolmo	1501239	68949790.37	45.93
Budapest	1692974	27456286.70	16.22
Varsovia	1720167	321102599.24	186.67
Lisboa	2416489	12883055.81	5.33
Roma	2638663	282407330.06	107.03
Atenas	2715595	4574040.59	1.68
Berlin	3467616	505785570.74	145.86
Madrid	5264307	22632118.80	4.30
Paris	9532016	19460163.03	2.04
Londres	9942283	375212635.85	37.74

Tabla 10- Resultado m² de vegetación/habitante ordenado por nº habitantes

Con estos resultados y la clasificación a color que se ha hecho de ellos se puede visualizar que existen 3 rangos en lo que se refiere a metros cuadrados por habitante. Se tiene un primer rango que se marca en rojo en el que corresponde a los resultados de las ciudades con menor valor de metros cuadrados por habitante, estas ciudades son 6: Atenas, Paris, Madrid, Lisboa, Bruselas y Copenhague (tabla 4). Un segundo rango en el que encontramos de color naranja y amarillo que pertenece a las ciudades que están dentro del nivel aceptable como se explicará a continuación, estas ciudades son: Budapest, Londres, Estocolmo y Helsinki. Por último, hay un tercer rango que abarca las 5 ciudades con más metros cuadrados de vegetación por habitante que son Roma, Berlín, Varsovia, Tallin y Oslo.

A partir de esta clasificación y la información previa detallada en el apartado anterior, se puede observar como las ciudades del primer rango no entran dentro de la recomendación de la OMS a que una ciudad debe tener como mínimo de entre 10 y 15 metros cuadrados de área verde por habitante. Se podría decir que están en serio problema de falta de zonas verdes.

El segundo grupo corresponde a valores aceptables de este indicador pues supera la cifra de 15 metros cuadrados por habitante que establece como recomendación la OMS. Se observa que Budapest está en el límite de esta recomendación. Esto significa que si en unos años la población aumenta y no han invertido en hacer crecer la superficie de zonas verdes o en todo caso también han ido construyendo encima de áreas con vegetación, podría estar en riesgo de bajar el valor y quedarse fuera del rango recomendable.

Por último, vemos que el tercer grupo tiene unos valores muy altos en este indicador, esto es señal de que son ciudades verdes con mucha superficie de vegetación por habitante. Estas ciudades están bastante lejos de bajar de rango.

Se puede concluir relacionando este indicador con la calidad ambiental en ciudades que Atenas es la ciudad con menos calidad ambiental con menor superficie de vegetación por habitante, y Oslo es la ciudad con más zonas verdes por habitante y por lo tanto con la mejor calidad ambiental de las 15 ciudades.

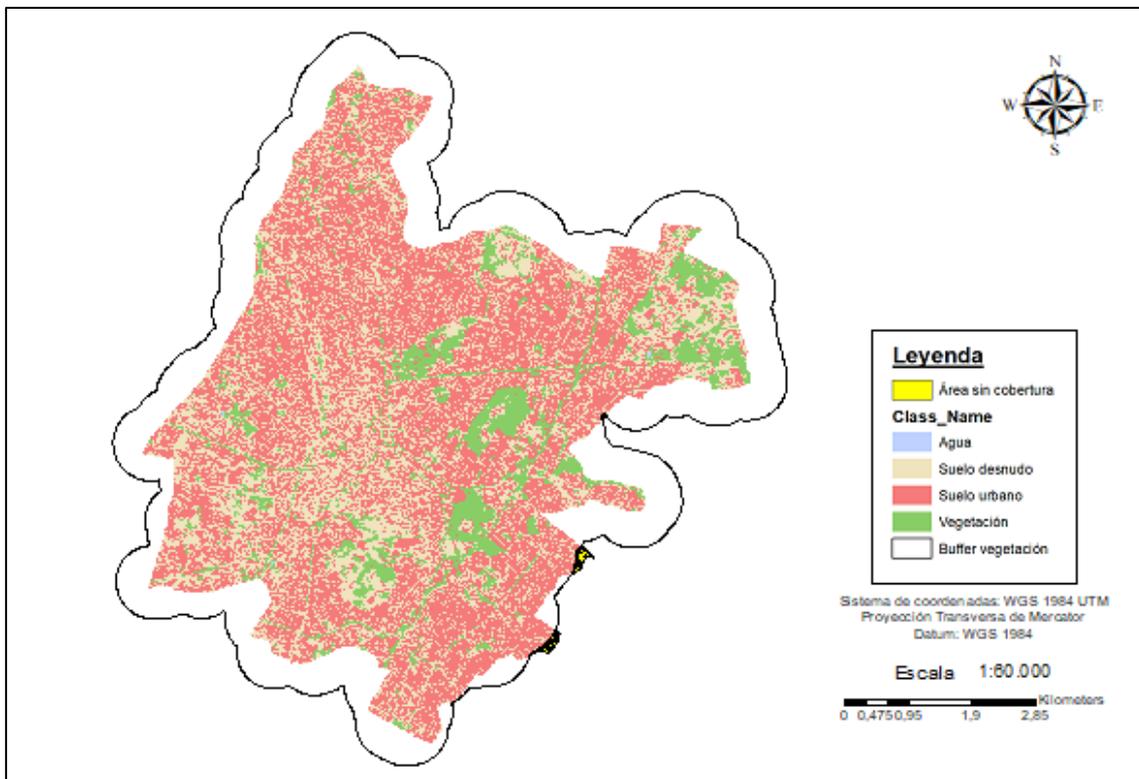
5.3.2. Proximidad a zonas verdes

Ahora, la calidad ambiental según las zonas verdes de cada ciudad no solo se evalúa con el indicador anterior. Se debe hacer un análisis de la proximidad de la población a estas zonas verdes, pues no es lo mismo tener una gran área de vegetación en la zona urbana que en la zona periurbana. Si tenemos un buen indicador de metros cuadrados por habitante, pero la mayoría de esta superficie corresponde a zonas alejadas de la población, ya no estamos tratando la calidad ambiental de la ciudad, sino del municipio en sí.

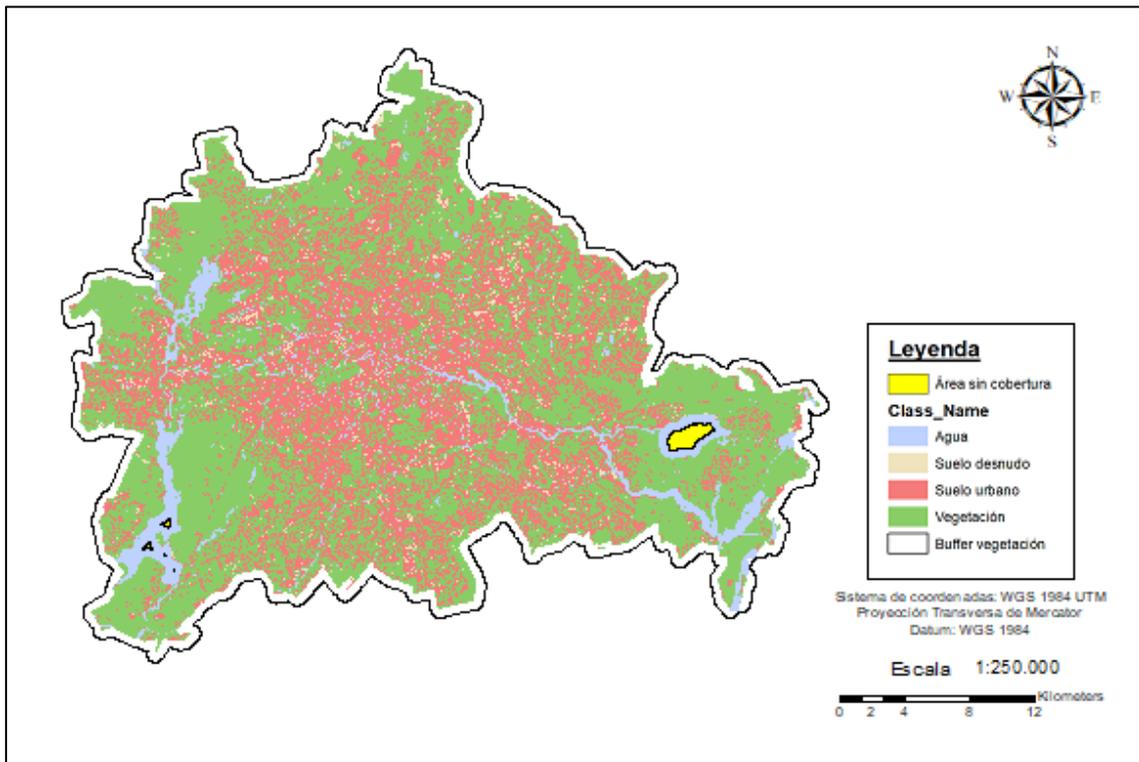
Para calcular estas distancias de las áreas urbanas a las zonas de vegetación y asegurar que toda persona tiene cerca un área verde se ha utilizado la herramienta ‘Symmetrical Difference’ del software de Argis como se ha explicado en el apartado anterior.

Ya que como se ha comentado no se va a hacer uso de la población, se considerará el total de área de la ciudad fuera del alcance de estos buffers de vegetación.

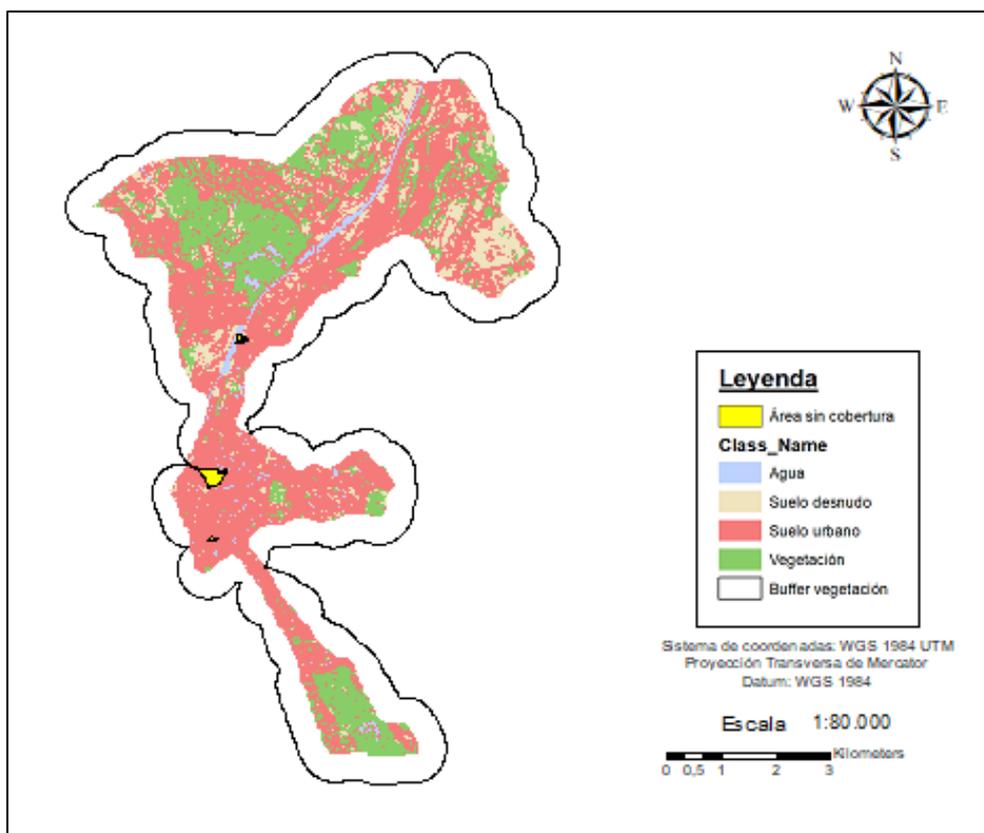
- Zonas urbanas no cubiertas en Atenas



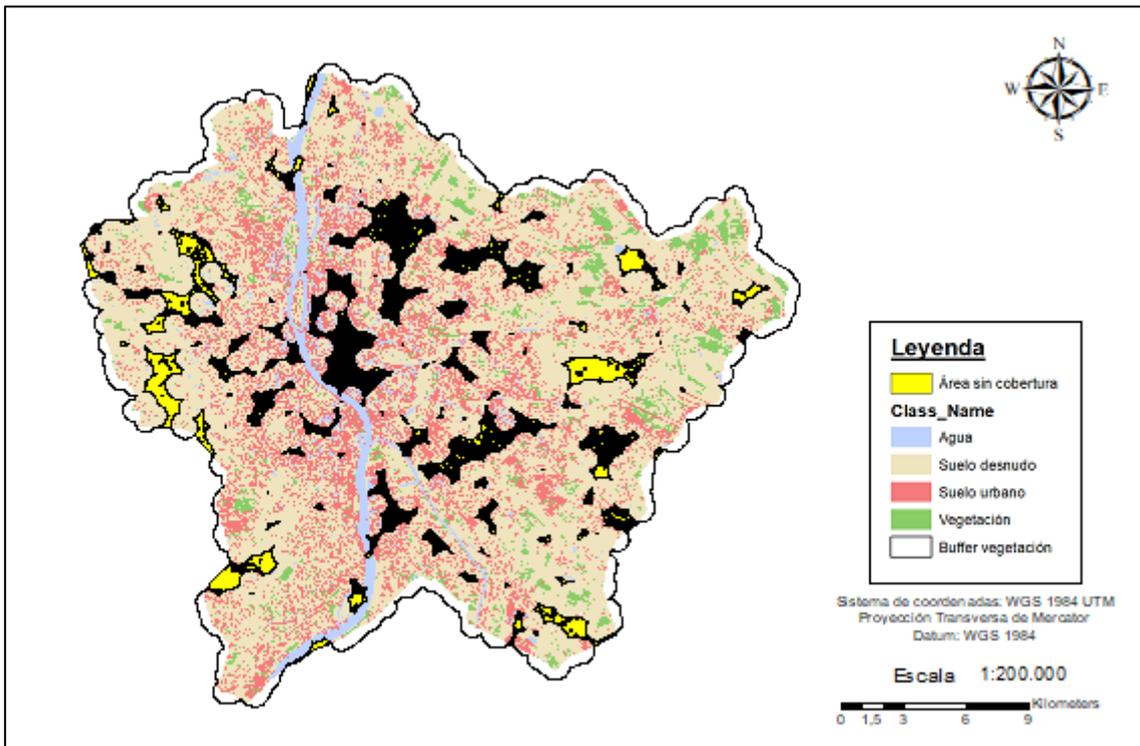
- Zonas urbanas no cubiertas en Berlín



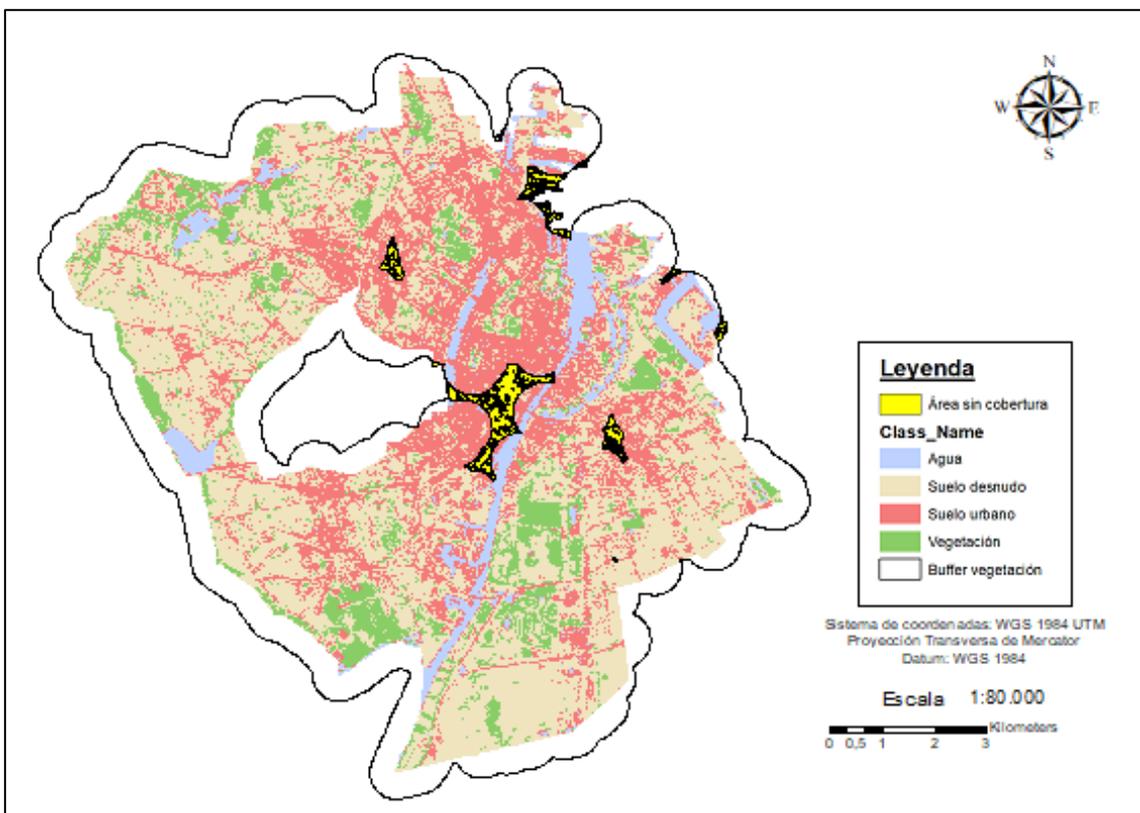
- Zonas urbanas no cubiertas en Bruselas



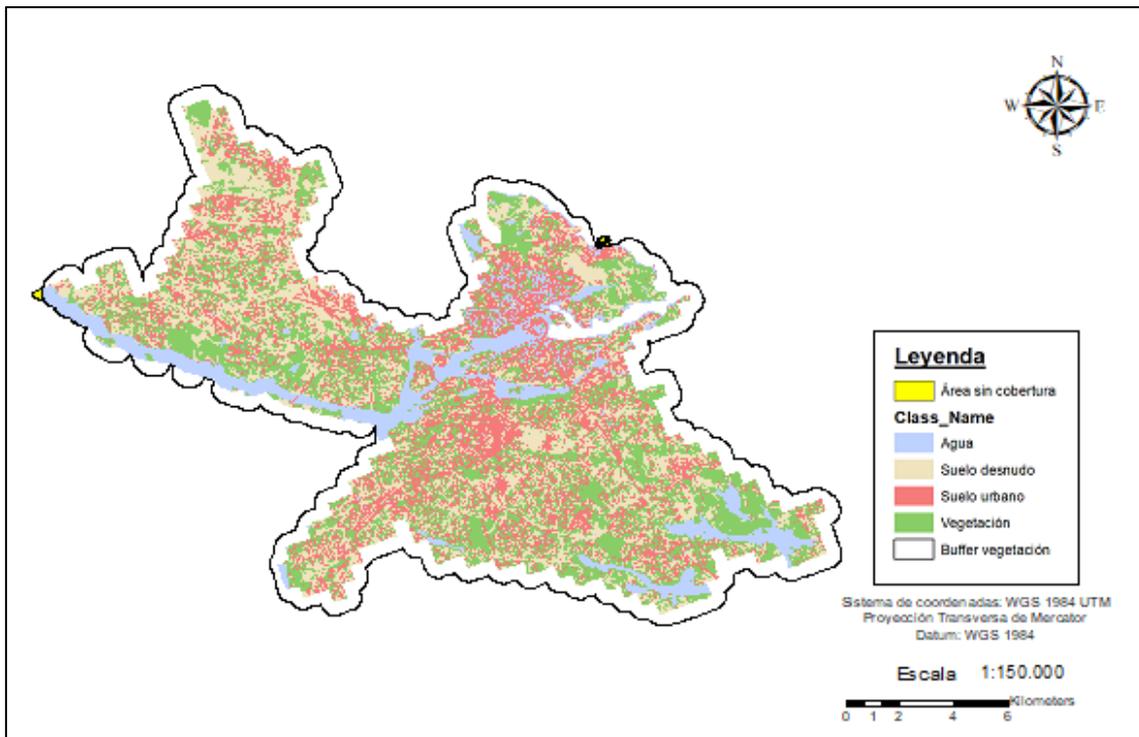
- Zonas urbanas no cubiertas en Budapest



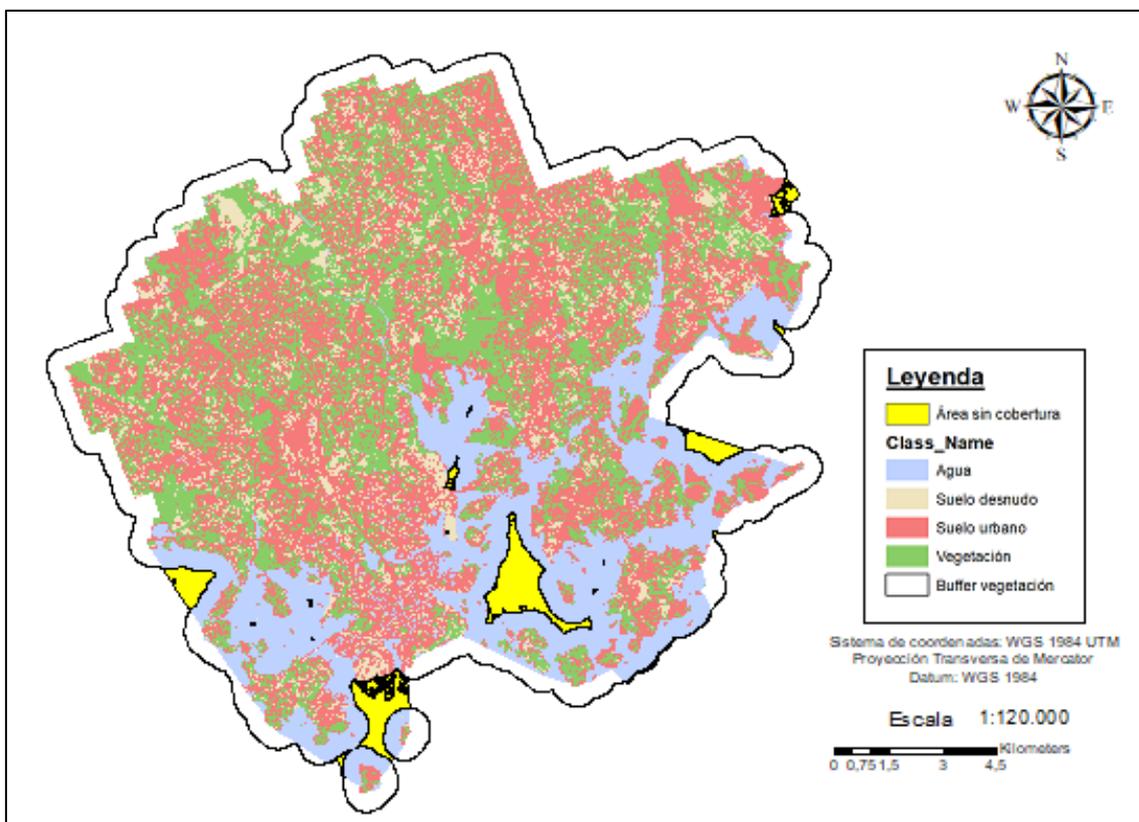
- Zonas urbanas no cubiertas en Copenhague



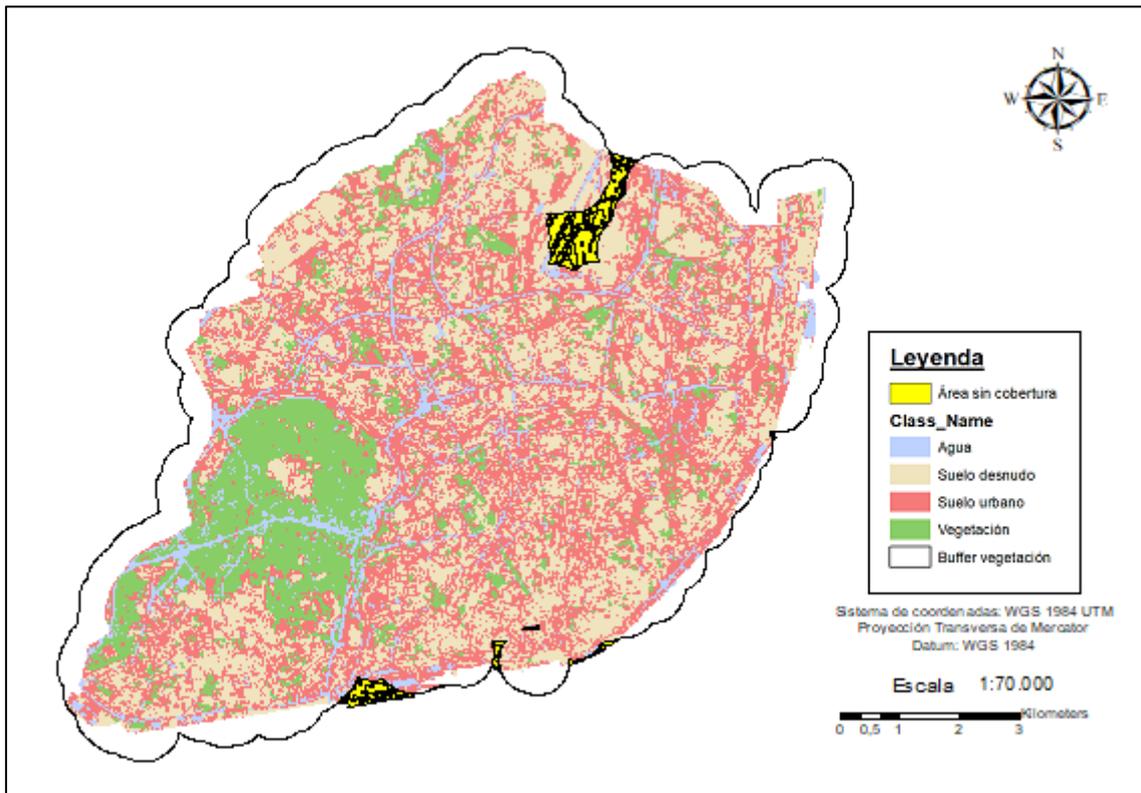
- Zonas urbanas no cubiertas en Estocolmo



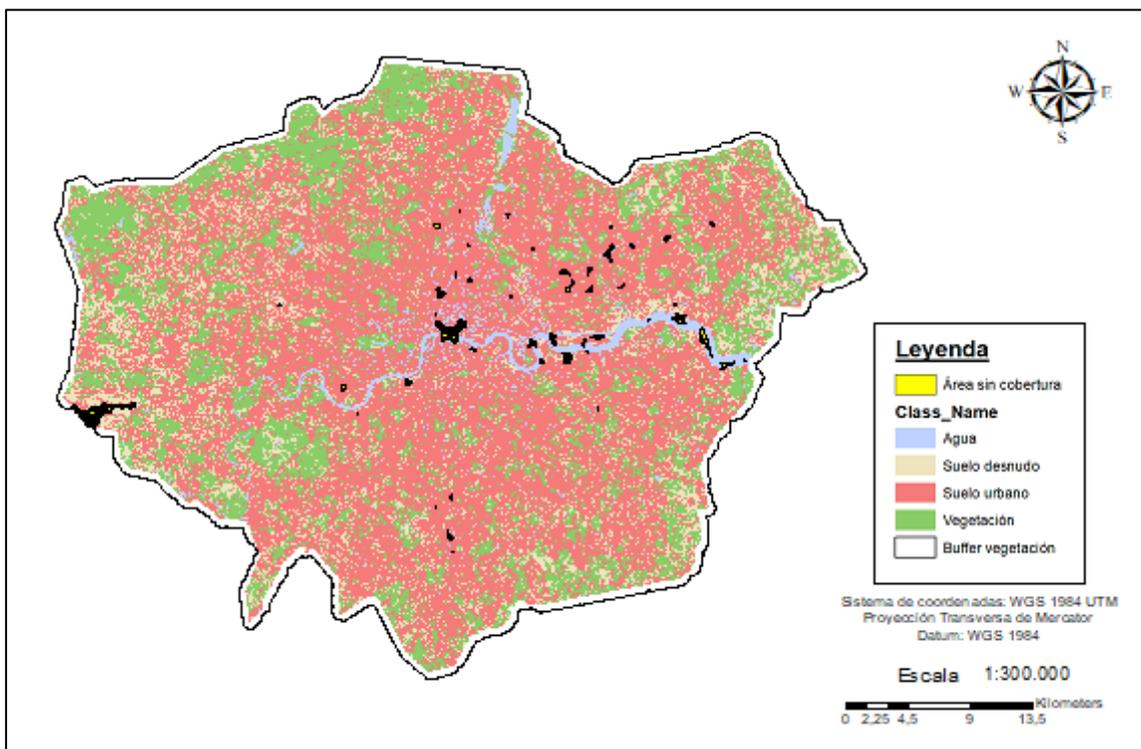
- Zonas urbanas no cubiertas en Helsinki



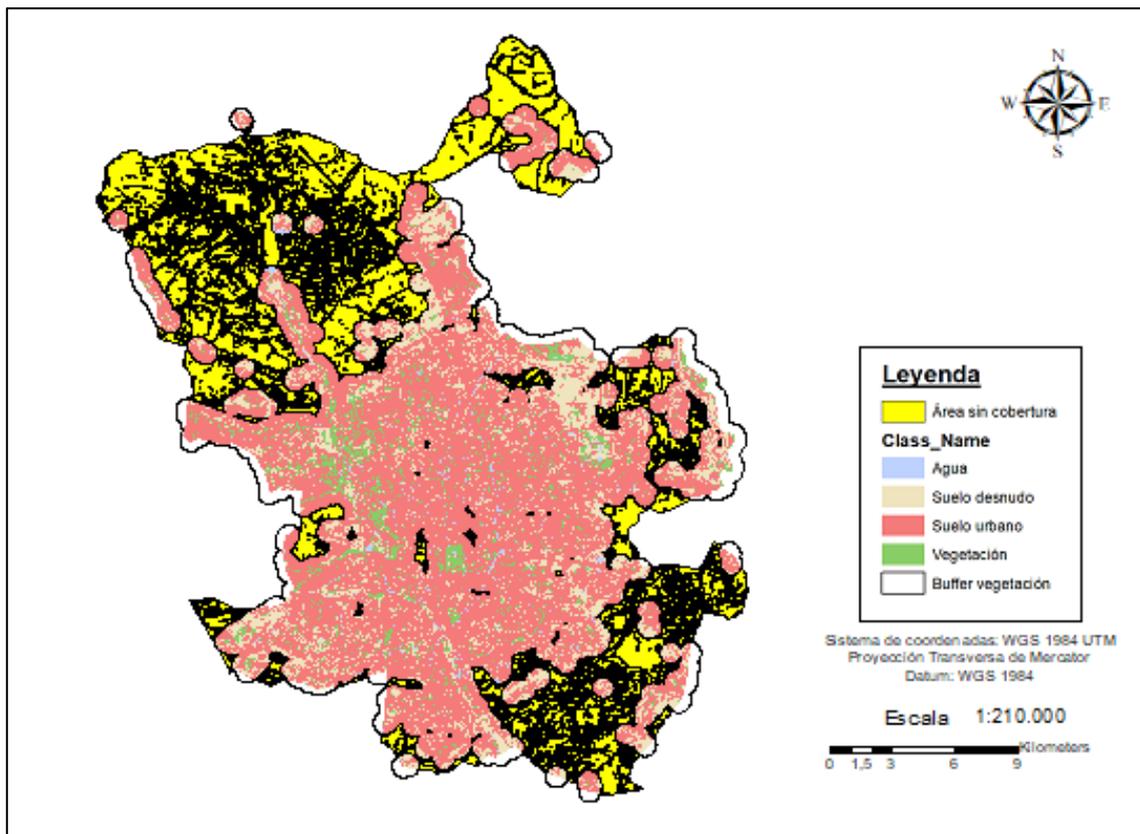
- Zonas urbanas no cubiertas en Lisboa



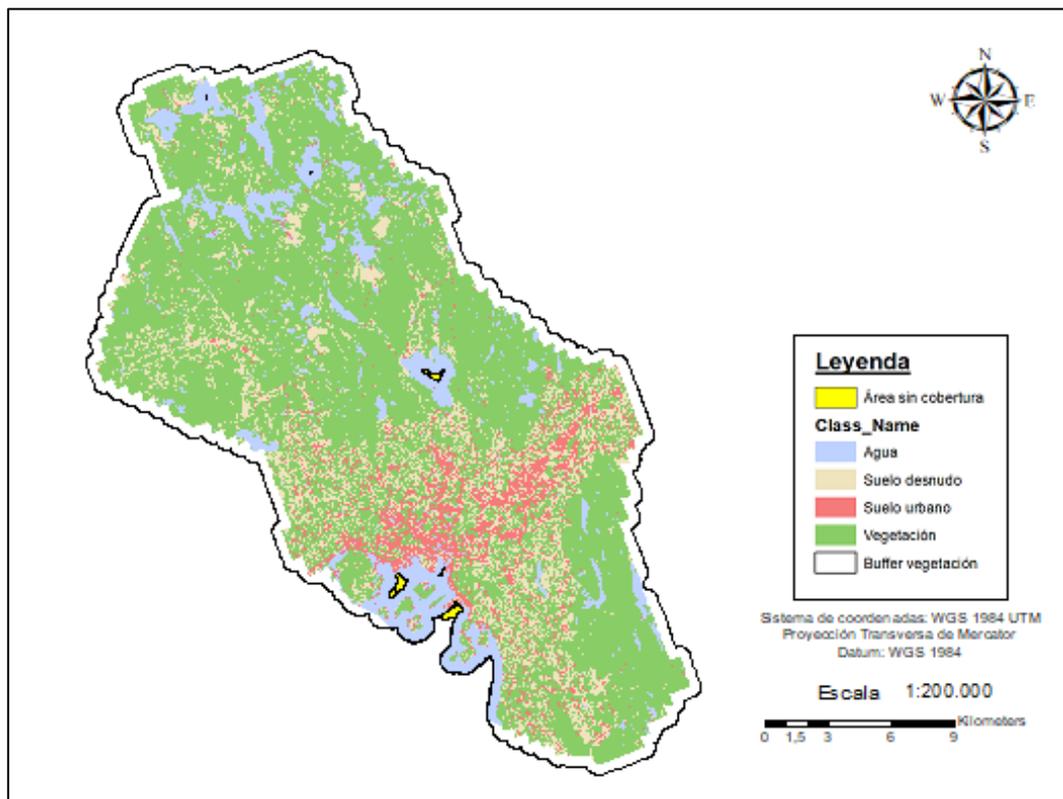
- Zonas urbanas no cubiertas en Londres



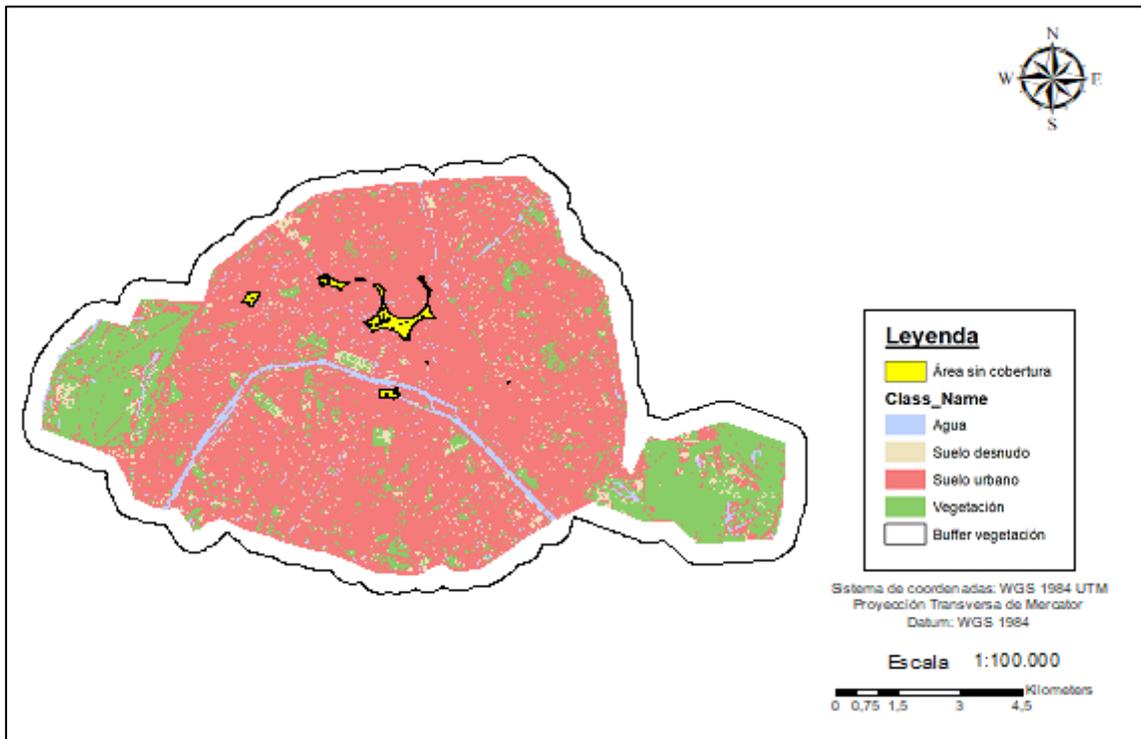
- Zonas urbanas no cubiertas en Madrid



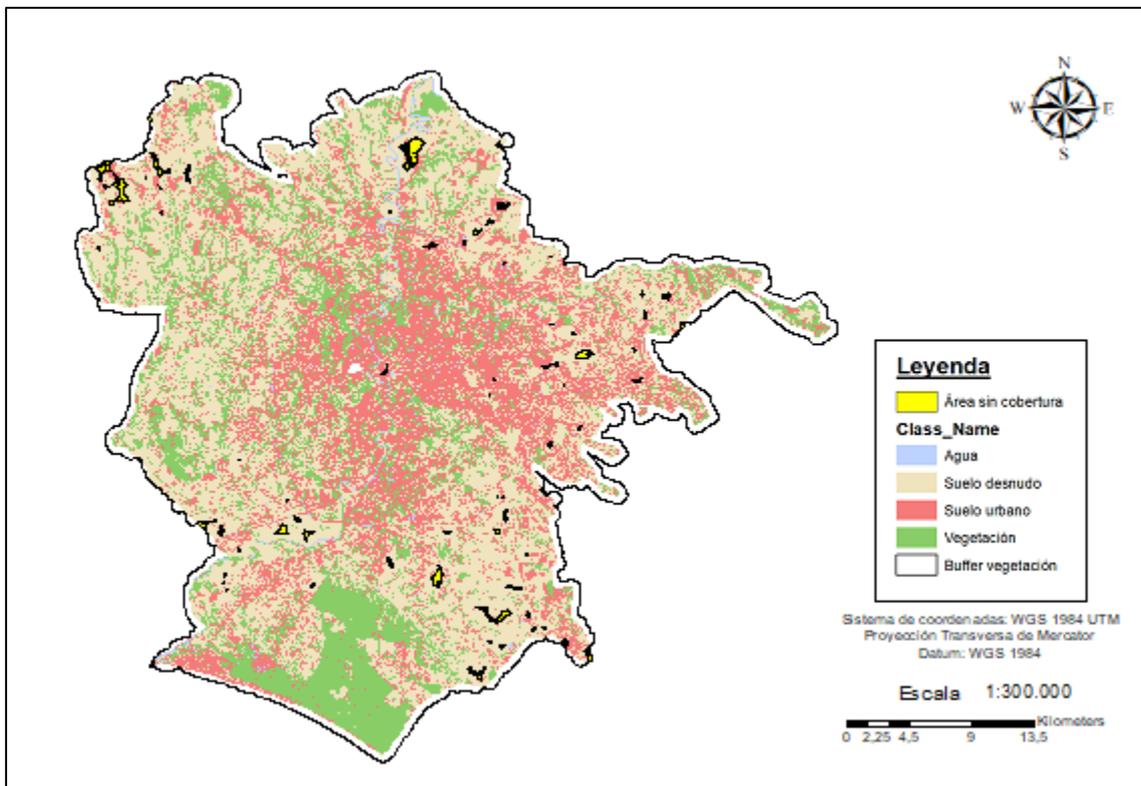
- Zonas urbanas no cubiertas en Oslo



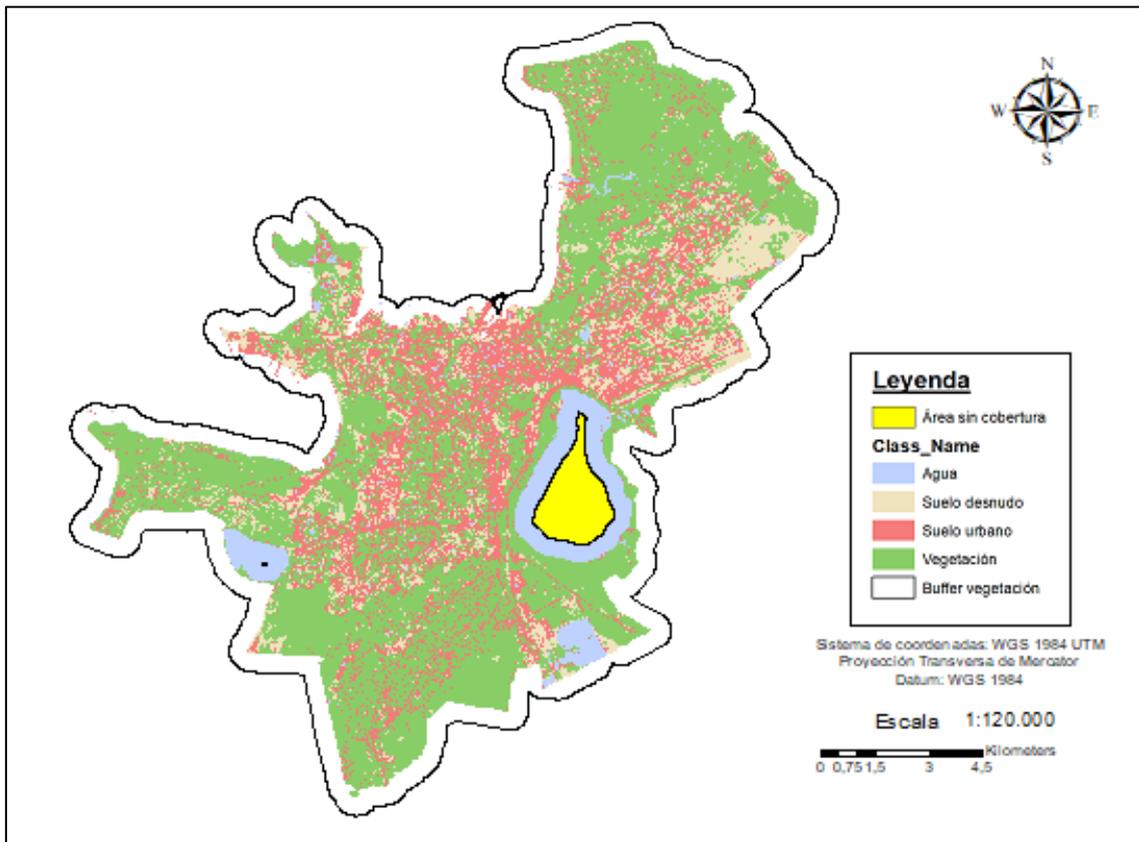
- Zonas urbanas no cubiertas en Paris



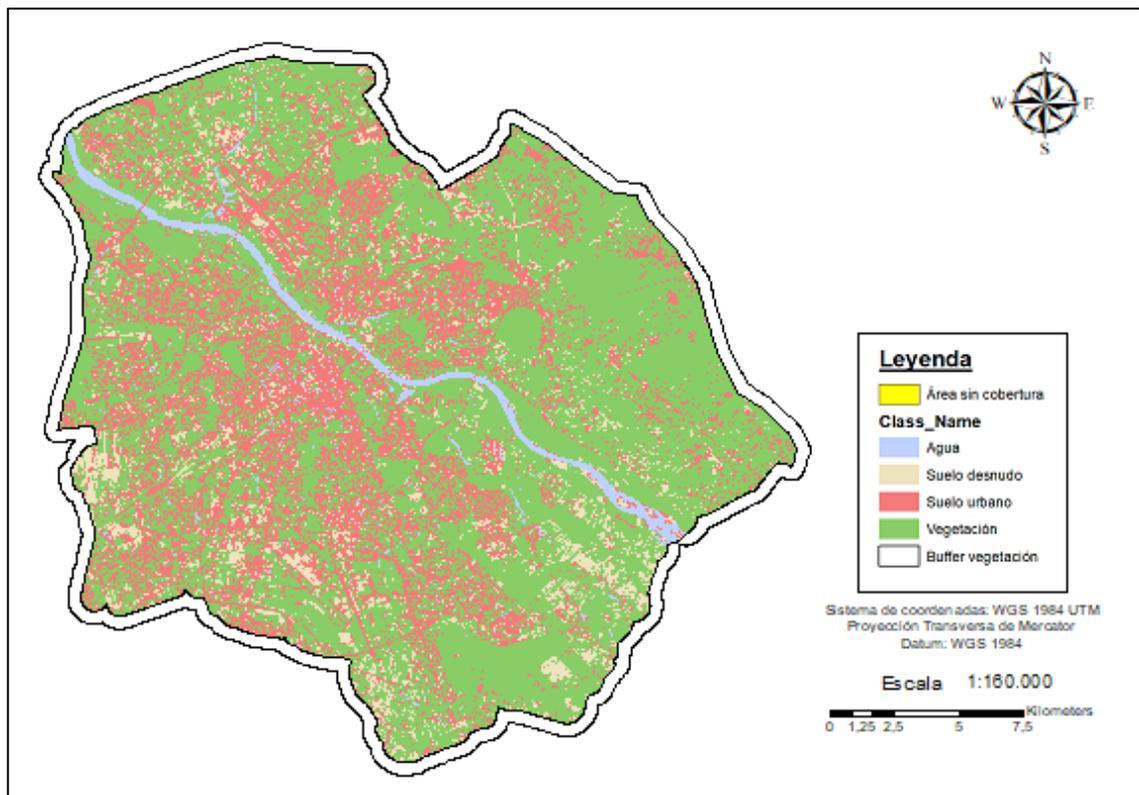
- Zonas urbanas no cubiertas en Roma



- Zonas urbanas no cubiertas en Tallin



- Zonas urbanas no cubiertas en Varsovia



A continuación, se va a hacer un resumen de la superficie por ciudad a la que las zonas verdes no alcanzan, es decir, están fuera de la condición impuesta anteriormente. Para ello se seleccionará de la tabla de atributos todos los registros de suelo urbano que han resultado de la intersección anterior. Con estos valores se dividirá con la superficie total de la clase para ver qué porcentaje de superficie queda sin una zona verde a 500 metros mínimo.

Ciudades	Superficie sin cobertura de suelo urbano	Superficie total suelo urbano	% Área sin cobertura
Atenas	64917,018	20731851,202	0,3131
Berlin	0,000	306754722,040	0,0000
Bruselas	123696,818	20415292,868	0,6059
Budapest	12479842,730	121173924,260	10,2991
Copenhague	1260081,726	27890135,891	4,5180
Estocolmo	101177,795	55269536,978	0,1831
Helsinki	689356,134	93466439,417	0,7375
Lisboa	557811,644	34151503,420	1,6333
Londres	3847515,158	907845976,720	0,4238
Madrid	167031303,968	431552910,490	38,7047
Oslo	35051,179	35143645,079	0,0997
Paris	863149,251	77879813,703	1,1083
Roma	1610259,054	378726485,572	0,4252
Tallin	26809,782	38278778,169	0,0700
Varsovia	0,000	138476188,518	0,0000

Tabla 11- Resultados indicador proximidad a zonas verdes

Se puede ver que la por situación se localiza en Madrid, pero tampoco es del todo fiable porque como se ha visto antes, la clasificación entre suelo desnudo y clase urbana no se ha hecho bien. Lo que sí se puede afirmar es que Berlín y Varsovia cumplen al 100% este indicador de calidad ambiental ya que toda zona urbana tiene acceso a una zona verde al menos a 500 metros.

En cambio, hay ciudades como Budapest, Copenhague y Lisboa que tienen bastante superficie por cumplir esta condición, aunque tampoco es una situación crítica. En general la población de estas ciudades tiene cerca o bastante cerca un área con vegetación.

6. INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Para la interpretación final se han seleccionado los dos índices y la fragmentación calculada de los super-objetos (todas las clases en conjunto). A partir de estos datos se ha hecho una nueva escala de 1 a 10 en el que todos los valores se han reescalado según la fórmula:

$$VS = (\text{MaxNR} - \text{MinNR}) / (\text{MaxD} - \text{MinD}) * VE + \text{MinNR}$$

VS: Valor de salida

MaxNR: valor máximo del nuevo rango

MinNR: valor mínimo del nuevo rango

MaxD: valor máximo de los datos

MinD: valor mínimo de los datos

VE: Valor entrada

A partir de estos valores se ha calculado un Índice de Calidad Ambiental que representará la condición ambiental de cada ciudad. Para este índice se ha ponderado como más importante y con valor de 3 el indicador de m² por habitante, seguido de la fragmentación con una ponderación de 2 y por último sin ponderar la cobertura vegetal. Este último se le ha dado menos importancia ya que los resultados eran bastante parecidos y además se tenía la mala clasificación de Madrid que podría conducir a errores.

Ciudades	% Área con cobertura	m2 de vegetación/ha bitante (escala 1 a 10)	Indice Fragmentación (escala 1 a 10)	Indice Calidad Ambiental dando ponderaciones	ICA dando ponderaciones (escala 1 a 10)
Atenas	9,927	1,000	3,567	3,344	3,563
Berlin	10,000	3,625	1,856	4,098	4,735
Bruselas	9,859	1,094	10,000	5,524	6,952
Budapest	7,605	1,265	1,331	2,344	2,008
Copenhague	8,949	1,127	5,196	3,787	4,252
Estocolmo	9,957	1,805	3,567	3,751	4,197
Helsinki	9,828	2,110	2,242	3,440	3,713
Lisboa	9,620	1,066	2,877	3,096	3,177
Londres	9,901	1,656	1,000	2,812	2,736
Madrid	1,000	1,048	3,015	1,696	1,000
Oslo	9,977	10,000	2,463	7,484	10,000
Paris	9,742	1,007	5,196	3,859	4,364
Roma	9,901	2,918	1,635	3,654	4,045
Tallin	9,984	5,202	4,589	5,795	7,373
Varsovia	10,000	4,368	1,359	4,303	5,055

Tabla 12- Resultados finales calidad ambiental

Como conclusión se puede decir que Oslo es de las ciudades estudiadas la que mejores condiciones ambientales presenta y la que mejor calidad ambiental tiene según la distribución de zonas verdes. A Oslo le sigue Berlín, Bruselas, Tallin y Varsovia con buenos índices también. Como mala calidad ambiental se puede considerar Madrid con el nivel más bajo del Índice, seguido de Budapest, Londres, Lisboa y Atenas. A continuación, se ordenan de menor a mayor para ver el ranking de estado ambiental analizado en estas ciudades.

Ciudades	Madrid	Budapest	Londres	Lisboa	Atenas	Helsinki	Roma	Estocolmo
ICA (escala 1 a 10)	1,000	2,008	2,736	3,177	3,563	3,713	4,045	4,197

Ciudades	Copenhague	París	Berlín	Varsovia	Bruselas	Tallin	Oslo
ICA (escala 1 a 10)	4,252	4,364	4,735	5,055	6,952	7,373	10,000

Tabla 13- ICA calculado, ordenado de menor a mayor

Estos resultados son aproximados, harían falta muchos otros datos, indicadores y estudios para calcular bien el Índice de Calidad ambiental como la calidad del aire, comunicación a servicios básicos, salud de la población, temperatura del suelo....

El estudio demuestra que las áreas verdes en estas ciudades se caracterizan por una desigual distribución, como se observa en los valores de fragmentación, tanto en términos de superficie total como de tamaño y accesibilidad. Esta desigualdad está altamente correlacionada con el nivel socioeconómico de la población y su rápida expansión urbana. Aunque actualmente se cuenta con un buen plan urbanístico, en nuestro país al menos, esto hace que cada vez se le dé más importancia a las zonas verdes, reservando así una porción de suelo para este tipo de dotación. Y es que como se ha dicho al principio los espacios verdes y de uso público, son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como imprescindibles por los beneficios que reportan en el bienestar físico y emocional de las personas. Constituyen lugares de esparcimiento y recreo, son espacios propicios para las relaciones sociales y ayudan a que se respire aire fresco y limpio.

La utilización de métricas de configuración espacial para el análisis de las áreas verdes urbanas permite evaluar los beneficios sociales y ecológicos de dichas áreas, superando el enfoque basado en la superficie de áreas verdes por habitante. Sin embargo, algunos indicadores son menos sensibles a las características de las ciudades y no resultan tan útiles como en zonas rurales o silvestres.

Una conclusión importante del presente estudio es que los indicadores deben ser utilizados en forma complementaria, puesto que cada uno de ellos permite analizar algún atributo específico de las áreas verdes, pero sólo se puede obtener una visión global analizando el conjunto de ellos. La complejidad del paisaje urbano determina la necesidad de utilizar diferentes indicadores para su descripción, así como las métricas de fragmentación.

También se debe considerar en los resultados que la clasificación de los usos del suelo urbano, puede no haber sido exacta, pudiendo haber alguna que otra mala clasificación de píxeles. Esto derivaría en la no exactitud en todos los cálculos posteriores. Además, La resolución espacial de las imágenes, pues a cuanto más resolución, más detalle se tendría y por lo consiguiente mejor clasificación y además se podría ampliar el análisis a otras ciudades de menor tamaño.

En un estudio más completo se podrían buscar imágenes de menor tamaño de píxel, también se podrían obtener otros datos relacionados que no fuesen obtenidos a partir de las imágenes, sino de tomas en campo, por ejemplo.

7. BIBLIOGRAFIA

<http://www.eduambiental.org>

<http://www.oecd.org/>

<http://www.nosolosig.com>

<http://www.esa.int>

www.mapama.gob.e

<http://www.diva-gis.org/>

<http://www.gisandbeers.com/combinacion-de-imagenes-satelite-landsat-sentinel-rgb/>

'Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas'- *Agencia d'ecología urbana de Barcelona*

'Fragmentación y segregación urbana'- *Estela Valdés*

'Guía de Usuario IndiFrag v2.1'- *Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección*