

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES

UNIVERSITAT
Miguel Hernández

**CLASIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE CUBIERTAS DEL
SUELO EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DE SALINAS Y
VALORACIÓN DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE
LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y
*MACHINE LEARNING***

TRABAJO FIN DE GRADO

JUNIO – 2024

CÓDIGO COIR: TFG.GCA.IMP.BBA.231107.

AUTOR

BERNAT BOTELLA ANDRÉS

TUTOR/ES

IGNACIO MELÉNDEZ PASTOR

DPTO. AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

Clasificación multitemporal de cubiertas del suelo en el municipio de San Miguel de Salinas y valoración de sus servicios ecosistémicos mediante la utilización de técnicas de teledetección y *machine learning*.

Resumen: Las actividades humanas están influyendo muchos aspectos del medio ambiente. Por ello, los cambios ocasionados en las cubiertas del suelo y los uso de este, condicionan el estado de una zona, que puede ver alterada su configuración por completo. Este trabajo emplea técnicas de teledetección ambiental, juntamente con modelos de machine learning y sistemas de información geográfica, para la clasificación de diversas cubiertas del suelo en el municipio de San Miguel de Salinas. Con ello, se pretende analizar los cambios de ocupación del territorio a escala municipal, los valores de los servicios ecosistémicos asociados a esas cubiertas del suelo, y evaluar su posible uso como una herramienta de gestión para el análisis del cambio del municipio. Se construirá una serie de cartografía de cubiertas del suelo en San Miguel de Salinas, para posteriormente desarrollar cartografía de los diferentes valores de servicios ecosistémicos que podemos encontrar en la zona de estudio. Los resultados obtenidos son una herramienta preliminar, con la que gestores pueden tener un primer punto de vista de los cambios ocurridos en la localidad, además de un punto de inicio para continuar con futuras investigaciones sobre organización del territorio o gestión de recursos hídricos.

Palabras clave: Valores Ecosistémicos, Teledetección, Cubiertas de Suelo, *machine learning*.

Multitemporal classification of land cover in the area of San Miguel de Salinas and valuation of its ecosystem services through the use of remote sensing and machine learning techniques.

Abstract: Human activities are influencing many aspects of the environment. Therefore, changes in land cover and land use condition the state of an area, which can completely alter its configuration. This work uses environmental remote sensing techniques, together with machine learning models and geographic information systems, for the classification of various land covers in San Miguel de Salinas. The aim is to analyse changes in land cover at the municipal scale, the values of ecosystem services associated with these land covers, and to evaluate their possible use as a management tool for the analysis of change in the municipality. A series of land cover cartography will be constructed in San Miguel de Salinas in order to subsequently develop a mapping of the different ecosystem service values that can be found in the study area. The results obtained are a preliminary tool with which managers can have a first point of view of the changes that have occurred in the locality, as well as a starting point to continue with future research on land organization or water resource management.

Key words: Ecosystem values, remote sensing, land cover, machine learning.

Agradecimientos

A mi tutor, Ignacio Meléndez, por la implicación y el tiempo dedicado. Gracias por la confianza, por acogerme y ayudarme a realizar este trabajo de investigación.

Al Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente por facilitar los medios necesarios para desarrollar este trabajo.

A todos los docentes que me han impartido clases en mi paso por la UMH, por abrirme los ojos al millón de posibilidades que tenemos por delante los ambientólogos y por hacer que el conocimiento no se quedará en las aulas.

A mis padres, Helena y Pepe, por no soltarme nunca de la mano y ser el lugar seguro que me ha permitido reponer fuerzas en esta carrera de fondo que ha sido el grado universitario.

A mis amigos, por aguantar las quejas y compartir los triunfos.



Índice

1. INTRODUCCIÓN	6
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVO	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
3.2. FUENTES DE DATOS	11
3.3. ELABORACIÓN DE MAPA DE CUBIERTAS DEL SUELO: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.....	12
3.3.1. <i>Elaboración de un modelo de entrenamiento</i>	12
3.3.2. <i>Clasificación Supervisada</i>	14
3.3.3. <i>Cálculo de errores</i>	16
3.4. VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS Y EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN	18
4.2. VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	23
5. CONCLUSIONES Y PROYECCIONES FUTURAS	30
6. BIBLIOGRAFÍA	31
7. ANEXOS	34
7.1. FICHA DE VINCULACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	34

1. Introducción

La relación que existe entre el ser humano y el medio ambiente es innegable. El grado en que las actividades humanas están influyendo o incluso dominando muchos aspectos del medio ambiente de la Tierra y su funcionamiento, ha llevado a sugerir que ha comenzado una nueva era geológica, el Antropoceno (Crutzen & Stoermer, 2000). En esta nueva era, nuestras acciones modifican de una forma u otra, pero de manera evidente e innegable.

El cambio global es algo más que el cambio climático y su complejidad se ha hecho patente hace muy poco (Steffen et al., 2004). El término se refiere a los efectos de origen antrópico de los cambios en el clima, el uso del suelo y la composición atmosférica (Ingram & Koch, 1995). En el caso de los ecosistemas terrestres, el cambio en el uso del suelo será probablemente el que más afecte, seguido del cambio climático, la deposición de nitrógeno, el intercambio biótico y la elevada concentración de dióxido de carbono (Sala et al., 2000).

Por lo tanto, los gestores del suelo y los responsables políticos necesitan información sobre los cambios del suelo causado por factores antropogénicos y no antropogénicos, y los riesgos de degradación de la tierra para poder predecir los efectos de la gestión sobre las funciones del suelo, comparar alternativas y tomar decisiones adecuadas (Porta & Poch, 2011; Tugel et al., 2005).

Los sistemas de información geográfica (SIG) y las técnicas de teledetección (*Remote Sensing* - RS) introdujeron una nueva era para la evaluación y el seguimiento de los recursos terrestres en términos de calidad de la información (Mermut & Eswaran, 2001). Las tecnologías de RS y SIG son muy compatibles, principalmente debido a la naturaleza de la teledetección como fuente de información espacial sobre el uso y la ocupación del suelo, que se combina con otros conjuntos de datos en SIG para aplicaciones medioambientales (Nizeyimana, 2020).

A su vez, los cambios de las cubiertas afectan a los servicios ecosistémicos que estos ofrecen. En este sentido, se definen como servicios ecosistémicos, los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, de forma directa o indirecta, a partir de las funciones que realizan los ecosistemas (Costanza et al., 1997). Estos mantienen la biodiversidad y la producción de bienes de los ecosistemas, como el marisco, el forraje, la madera, los combustibles de biomasa, la fibra natural y muchos productos farmacéuticos e industriales y sus precursores. La recolección y el comercio de estos bienes representan una parte importante y conocida de la economía humana. Además de la producción de bienes, los servicios de los ecosistemas son las funciones reales de mantenimiento de la vida, como la limpieza, el reciclaje

y la renovación, y confieren también muchos beneficios estéticos y culturales intangibles (Daily, 1997).

Todos estos servicios de los sistemas ecológicos y las reservas de capital natural que los producen son fundamentales para el funcionamiento del sistema de soporte vital de la Tierra. Contribuyen al bienestar humano, tanto directa como indirectamente, y por tanto representan parte del valor económico total del planeta (Costanza et al., 1997). Es por ello, que en la valoración de servicios ecosistémicos se esté optando por la valoración de estos en términos monetarios. La ventaja comparativa, o el valor añadido, de las valoraciones económicas como información para la toma de decisiones es, que la importancia del cambio medioambiental se transmite en una unidad de cuenta común (es decir, el dinero), de modo que los valores pueden compararse directamente entre otros bienes, servicios, inversiones e impactos en la economía y en la sociedad (L. M. Brander et al., 2022).



2. Antecedentes y Objetivo

Durante el período 1987/2000 el desarrollo de la agricultura española se vio muy influido por la entrada en la Unión Europea y las ayudas a través de los fondos estructurales y la Política Agraria Común (PAC). Desde 1986, se acometió una reforma del sector primario español que provocó el abandono de los cultivos excedentarios en la UE y su sustitución por líneas de producción agrícola más productivas, muy dependientes del regadío. Esta apuesta se hizo en un momento de alto desempleo y de reconversión industrial en el que el trasvase tradicional de población desde el sector primario a la industria no era posible y el sector terciario no tenía capacidad para absorber más fuerza de trabajo excedente (Guaita et al., 2008).

Previo a esto, en España ya se empezaban a atisbar cambios en la distribución del agua para cultivo en zonas con menor disponibilidad. A raíz de la dependencia hídrica, se planificó y construyó el trasvase Tajo-Segura, que comenzó a funcionar en 1979 y con él se pretendía acabar con el desequilibrio hidrológico del país (Cases Martínez & Marroquí Ferrández, 2011). Es vital regular las relaciones en materia de aguas desde el rigor, la transparencia y la información recíproca entre las Comunidades Autónomas, suponiendo por ello un importante impulso para alcanzar la necesaria planificación hidrológica nacional (Molina Giménez et al., 2014). Para ello, conocer los factores de la presión antropogénica y de la situación ambiental en general en un territorio y tiempo determinados para evaluar la magnitud de los cambios sucedidos, detectar sus dinámicas evolutivas y proponer las medidas adecuadas de respuesta al respecto (UNDP, 2005).

De la misma forma, estos cambios en la configuración del territorio a raíz de los cambios derivados de la expansión urbana y del modelo agrícola, afectarán de una forma u otra a los servicios ecosistémicos asociados, siendo por ello importante conocer su evolución.

El **objetivo principal** de este estudio es analizar los cambios y evolución de las cubiertas del suelo en el municipio de San Miguel de Salinas (provincia de Alicante) y evaluar los servicios ecosistémicos asociados. Se pretende conocer las repercusiones de la actual dinámica de cambios de ocupación del territorio en los servicios aportados por los ecosistemas presentes.

Para tal fin, en el estudio se abarcan una serie de **objetivos específicos**, siendo estos los siguientes:

1. Realizar una clasificación multitemporal de las cubiertas del suelo en el término municipal de San Miguel de Salinas mediante el empleo técnicas de teledetección satelital.
2. Generar una valoración de los servicios ecosistémicos que ofrece cada tipo de uso de suelo.
3. Analizar los cambios ocurridos en la zona durante el periodo de estudio 2005-2023.



3. Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se han combinado técnicas de fotointerpretación aérea con métodos de clasificación supervisada de imágenes de satélite y valoraciones de servicios ecosistémicos. A continuación, se presenta el área de estudio seleccionada y sobre la que se realizaron todos los trabajos, así como los diferentes procedimientos de recolección y análisis de imágenes, y las diferentes técnicas de procesamiento de datos empleadas.

3.1. Descripción del área de estudio

El municipio de San Miguel de Salinas se encuentra ubicado en la Comunidad Valenciana, concretamente al sur de la provincia de Alicante (Figura 1). Cuenta con una superficie de 5484,62 ha/54,85 km² (Generalitat Valenciana & Institut valencià d'estadística, 2022) y una población de 6.659 habitantes censados a 2022 (Diputació de Alacant, 2022), siendo este el municipio menos densamente poblado de la comarca de la Vega Baja.

Por lo que respecta a su economía, el Patronato de turismo de la Costa Blanca expone lo siguiente:

Municipio de tradicional estructura agrícola de secano que posteriormente se benefició del Trasvase Tajo-Segura, que cruza todo el término municipal de norte a sur, y actualmente cuenta con una importante riqueza en plantaciones de cítricos, mayoritariamente naranjas y limones, así como cultivos de invernaderos. En los últimos años también se ha visto influenciado por el turismo de segunda residencia, y por tanto la construcción está siendo el motor de la economía local.

San Miguel actualmente ha experimentado un incremento poblacional importante, por los flujos inmigratorios, y por los residentes de tercera edad europeos (Patronato Provincial de Turismo de la Costa Blanca, 2014).

Esto destaca la agricultura como principal ocupación del suelo en la zona, además de indicarnos las tendencias de aumento de las zonas urbanizadas a causa de segundas residencias y viviendas de retiro de la 3^a edad europea.

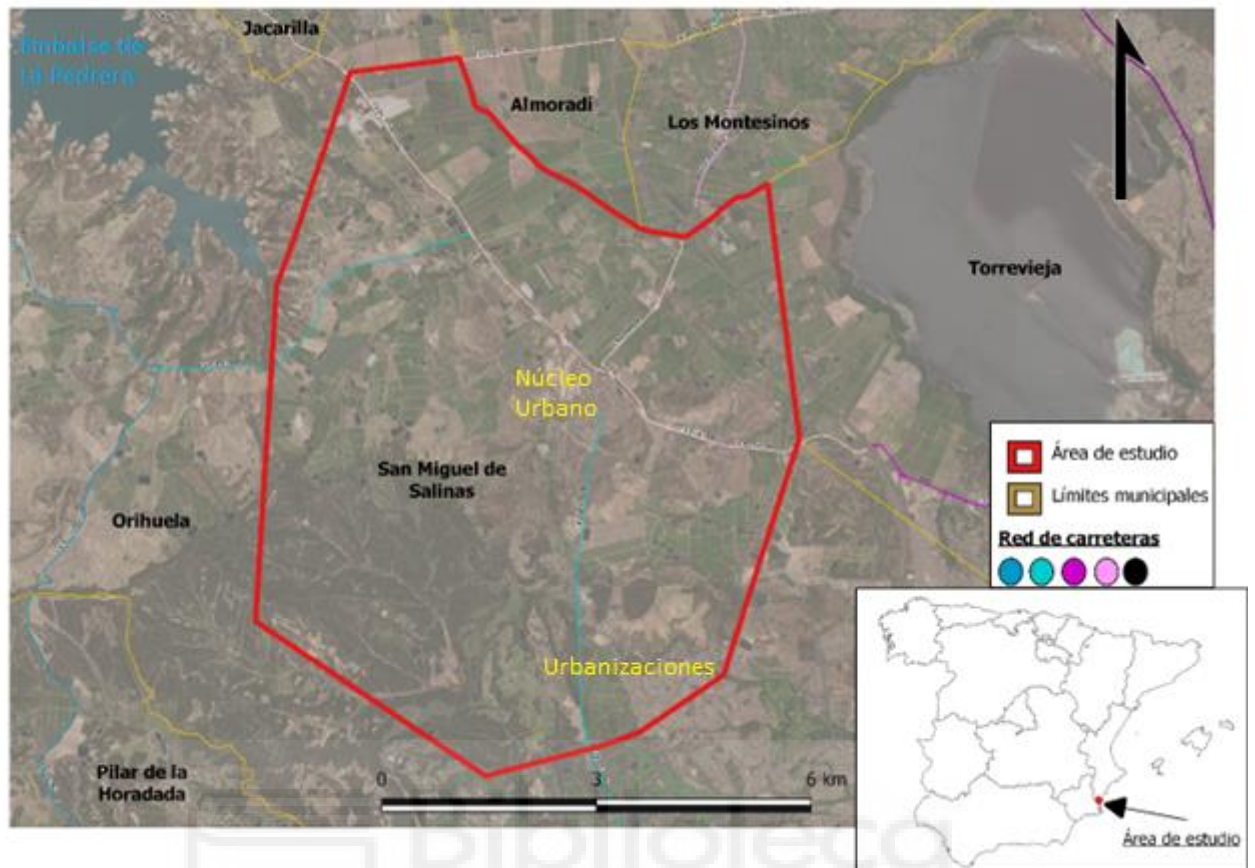


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

3.2. Fuentes de datos

Para la elaboración de este trabajo se han utilizado tanto fuentes de información cartográfica como bases de datos estadísticos y económicos. En la Tabla 1 se recopila el listado con las fuentes cartográficas de datos empleadas, junto a su procedencia y características. Las ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) obtenidas del Instituto geográfico nacional (IGN) del año 2023 y 2025, se han utilizado para seleccionar los puntos de muestreo a la hora de realizar la clasificación de cubiertas. Los límites municipales han acotado el área de estudio al municipio de San Miguel de Salinas. Por su parte, las imágenes ráster obtenidas de Landsat 8 desde el *United States Geological Survey* (USGS) han servido de base al proceso de clasificación supervisada de las cubiertas de usos del suelo.

Por lo que respecta a las fuentes económicas, se utilizaron datos de la *Ecosystem Services Valuation Database*, de ahora en adelante ESVD (L. Brander et al., 2023).

Tabla 1. Fuentes cartográficas utilizadas.

Documento	Procedencia	Tipo de Documento	Escala/Resolución
PNOA 2023	IGN	Ortofotografía	1:25.000
PNOA 2005	IGN	Ortofotografía	1:50.000
Límites municipales	IGN	Cartografía Vectorial	1:5000
LANDSAT 8 (2023)	USGS Earth Explorer	Imágenes Ráster	30 m
LANDSAT 8 (2023)	USGS Earth Explorer	Imágenes Ráster	30 m

3.3. Elaboración de mapa de cubiertas del suelo: clasificación supervisada

Se elaboró un modelo de entrenamiento que se utilizó para la realización de una clasificación supervisada y el análisis de errores de esta.

3.3.1. Elaboración de un modelo de entrenamiento

Mediante el sistema de información geográfica QGIS (QGIS Association, 2024) se delimitó el área de estudio, correspondiente al término municipal de San Miguel de Salinas. Seguidamente, se procedió a la elaboración de una clasificación de cubiertas del suelo a partir de la interpretación de los usos del suelo de la imagen, en función de los observados en las visitas de campo al municipio en cuestión. En la Tabla 2 se recogen las categorías de cubiertas del suelo definidas para esta clasificación, así como su descripción.

Tabla 2. Leyenda de la Clasificación de Cubiertas del Suelo

Clasificación	Breve descripción
1. Tejido urbano continuo	Alta densidad de edificaciones y baja presencia de espacios verdes.
2. Tejido urbano discontinuo	Densidad media de edificaciones y amplia presencia de espacios verdes
3. Invernaderos	Invernadero para el cultivo de plantas o viveros.
4. Cultivos permanentes de regadío	Cultivos frutales perennes, como naranjos o limoneros.
5. Cultivos temporales	Cultivos de ciclo corto, como cebollas y alcachofas.
6. Bosques coníferas	Coníferas mediterráneas de hoja perenne.
7. Cultivos abandonados	Campos agrícolas fuera de uso y sin mantenimiento.
8. Matorrales xerófitos	Vegetación natural xerófila con tallos leñosos.
9. Masas de Agua	Lagos, embalses y canalizaciones de riego.
10. Cultivos permanentes de secano.	Cultivos perennes tradicionales, como almendros u olivos.
11. Campos de golf	Extensión de terreno acondicionada para la práctica del golf.

Se realizó una digitalización en pantalla. seleccionando puntos de muestreo representativos para cada una de clasificaciones (Figura 2). De esta forma, se generó una base de datos con 1235 puntos de muestreo para 2023 y otros 1235 para 2004, Al finalizar el proceso, contaba con una base de datos total de 2470 valores.

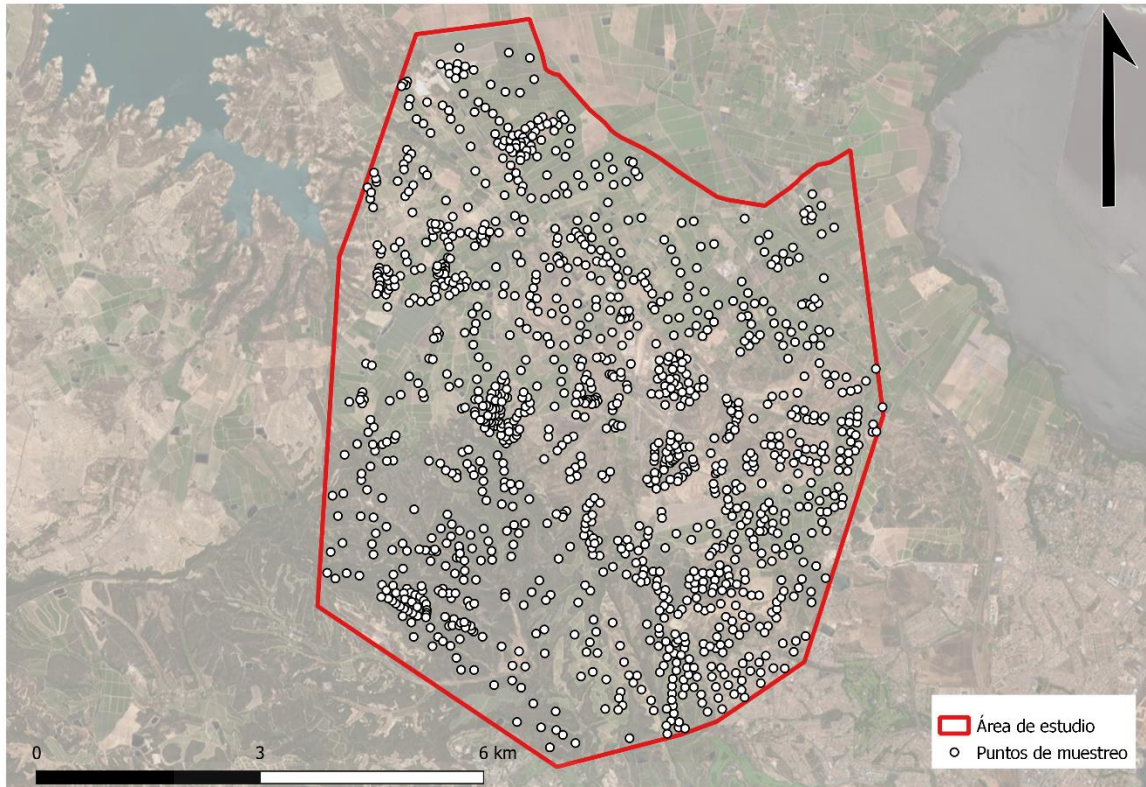


Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo.

Tras obtener esta base de datos, a la que denominamos Cubiertas total, esta fue dividida en 2 bases distintas según el año, generando así los documentos Cubiertas 2023 y Cubiertas 2005.

El siguiente paso consistió en segmentar cada una de las bases de datos en 2 grupos de datos. Esto es debido a que para la clasificación supervisada que realizamos debíamos destinar una parte de los conjuntos de datos para entrenar el modelo y otra parte a verificar el mismo. Para ello, utilizamos el lenguaje de programación R (R Foundation for Statistical Computing, 2024), para que, mediante la programación de un código, generar un reparto estratificado de los datos, de forma queden separados en un conjunto de entrenamiento *train* con el 70% de los valores y un conjunto de validación *test* con el 30% restante.

3.3.2. Clasificación Supervisada

Una vez realizada la segmentación, esta se volvió a importar a QGIS, para su rasterización previa a la utilización del programa TerrSet(Clark Labs, 2017).

Una vez en TerrSet, el siguiente paso será crear caracterizaciones estadísticas de cada una de las clases generadas. Para ello se procedió a la generación de firmas espectrales a partir de los puntos de muestreo y las imágenes de satélite.

Generadas las firmas espectrales, se procedió a realizar una clasificación supervisada de las cubiertas del suelo, utilizando el método de máxima verosimilitud (*Maximum Likelihood*). Este algoritmo utiliza los datos de media y varianza/covarianza de las firmas para estimar la probabilidad posterior de que un píxel pertenezca a cada clase (Eastman, 2016) . En primer lugar, se selecciona al azar una de las distribuciones normales y, en segundo lugar, se genera una única instancia aleatoria x_i de acuerdo con esta distribución seleccionada. Este proceso se repite para generar un conjunto de puntos de datos (Mitchell, 1997) como se muestra en la figura 3.

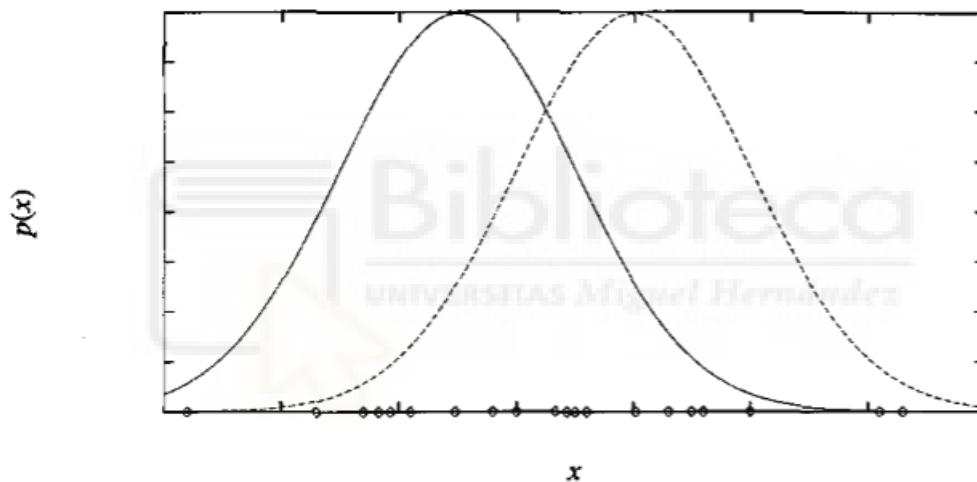


Figura 3. Instancias generadas por una mezcla de dos distribuciones normales con varianza idéntica. Las instancias se muestran mediante los puntos a lo largo del eje x. Si se desconocen las medias de las distribuciones normales, el algoritmo *maximum likelihood* se puede utilizar para buscar sus estimaciones de máxima verosimilitud. **Fuente:** (Mitchell, 1997).

Una vez ejecutado el mismo, obtendremos una imagen ráster con la clasificación de la zona de estudio en función de las diferentes categorías que definidas.

3.3.3. Cálculo de errores

Para validar el modelo, se calculó la matriz de errores de este, para verificar precisión del modelo de predicción de pertenencia de un terreno a una categoría u otra.

La matriz de errores contiene una tabulación del número de puntos de muestreo encontrados en cada combinación posible de categorías verdaderas (base de datos de validación) y cartografiadas (resultado de la clasificación supervisada), lo cual nos permite calcular la precisión global de la cartografía, visualizar errores de omisión y de realización, además de proporcionar los valores del Índice de Acuerdo Kappa (*Kappa Index of Agreement - KIA*) (Cohen, 1960) global y por categoría. El índice de concordancia Kappa es similar a una cifra de exactitud proporcional (y, por tanto, el complemento del error proporcional), salvo que ajusta la concordancia por azar (Eastman, 2016).

3.4. Valoración de los Servicios Ecosistémicos

Para poder realizar la valoración de los servicios ecosistémicos del área de estudio, primero se tuvo que realizar una clasificación de que servicios ecosistémicos ofrecía cada tipo de uso de suelo y que valoración económica tenían. Dado que existen diversos sistemas de clasificación, en este estudio utilizamos la *Common International Classification of Ecosystem Services*, CICES de ahora en adelante (Roy Haines-Young & Potschin, 2018).

Para realizar esta clasificación, se consultó la ESVD (www.esvd.net), de donde se descargaron los datos necesarios para el estudio. Como criterio común, se emplearon datos de países que tuvieran zonas de clima mediterráneo, para que los valores obtenidos pudieran ser utilizados de forma congruente para nuestra zona de estudio. Los países de los cuales se descargaron esta primera tanda de datos fueron: España, Portugal, Grecia, Marruecos, Argelia, Chipre, Túnez, Libia, Siria, Jordania, Israel, Australia, Chile, México y Estados Unidos (priorizando la zona de California).

Una vez descargados, se realizó una selección de los datos disponibles, dado que en algunos casos la base de datos tenía entradas con datos insuficiente o tomadas de zonas de estudio demasiado diferentes a la nuestra.

Tras esta selección, se realizó una matriz en la que en filas se colocaron las diferentes cubiertas del suelo, en columnas la clasificación de los servicios ecosistémicos, y en la intersección el valor económico de los mismos, en dólares americanos estandarizados a 2020,

dado que así se encuentran estandarizados todos los valores en la ESVD (Tabla 3). Los servicios seleccionados para este estudio, por su disponibilidad de datos, fueron los siguientes:

- **Servicio 1.1:** Biomasa.
- **Servicio 2.2:** Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas.
- **Servicio 3.1:** Interacciones directas, in situ y al aire libre, con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno.
- **Servicio 3.2:** Interacciones directas, in situ y al aire libre, con sistemas vivos que no dependen de la presencia en el entorno.
- **Servicio 4.2:** Agua.

A continuación, se realizó una reclasificación del mapa de cubiertas de suelo, en función del valor del servicio ecosistémico que se encontraba en cada uno de ellos. Esto dio lugar a la generación de un mapa por servicio ecosistémico analizado, al que añadir un mapa con el valor total de la suma de todos los servicios. Se generaron un total de 12 mapas.

Tabla 3. Valores de los diferentes servicios ecosistémicos por uso del suelo, en \$ (a 2020) por ha y año.

Cubiertas del suelo	Servicios ecosistémicos				
	1.1	2.2	3.1	3.2	4.2
Tejido urbano continuo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tejido urbano discontinuo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Invernaderos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultivos	448,28	3.003,15	182,97	16.931,76	0,00
Bosques de coníferas	448,28	1.178,34	428,39	428,39	13.44,59
Matorrales Xerófitos/Cultivos abandonados	1.902,89	1.178,34	182,97	406,20	406,20
Masas de Agua	48.535,70	85.565,35	17.142,27	0,00	130,58
Campos de golf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4. Resultados y discusión

El procesamiento de las imágenes de satélite ha permitido obtener cartografía sobre las cubiertas del suelo del área de estudio y posterior mente estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos asociados. A continuación, se presentan los resultados obtenidos y se realiza una discusión de estos.

4.1. Clasificación de las cubiertas y evaluación de la precisión

Se realizó una clasificación supervisada de las cubiertas del suelo del área de estudio. Se utilizó un conjunto de puntos de entrenamiento (78 puntos de media por clase) obtenidos en QGIS a partir de la inspección visual de fotografías aéreas y el muestreo por pantalla de estos, que se emplearon para el entrenamiento del algoritmo *Maximum likelihood*, obteniendo así los mapas finales de las cubiertas del suelo (Figura 4).

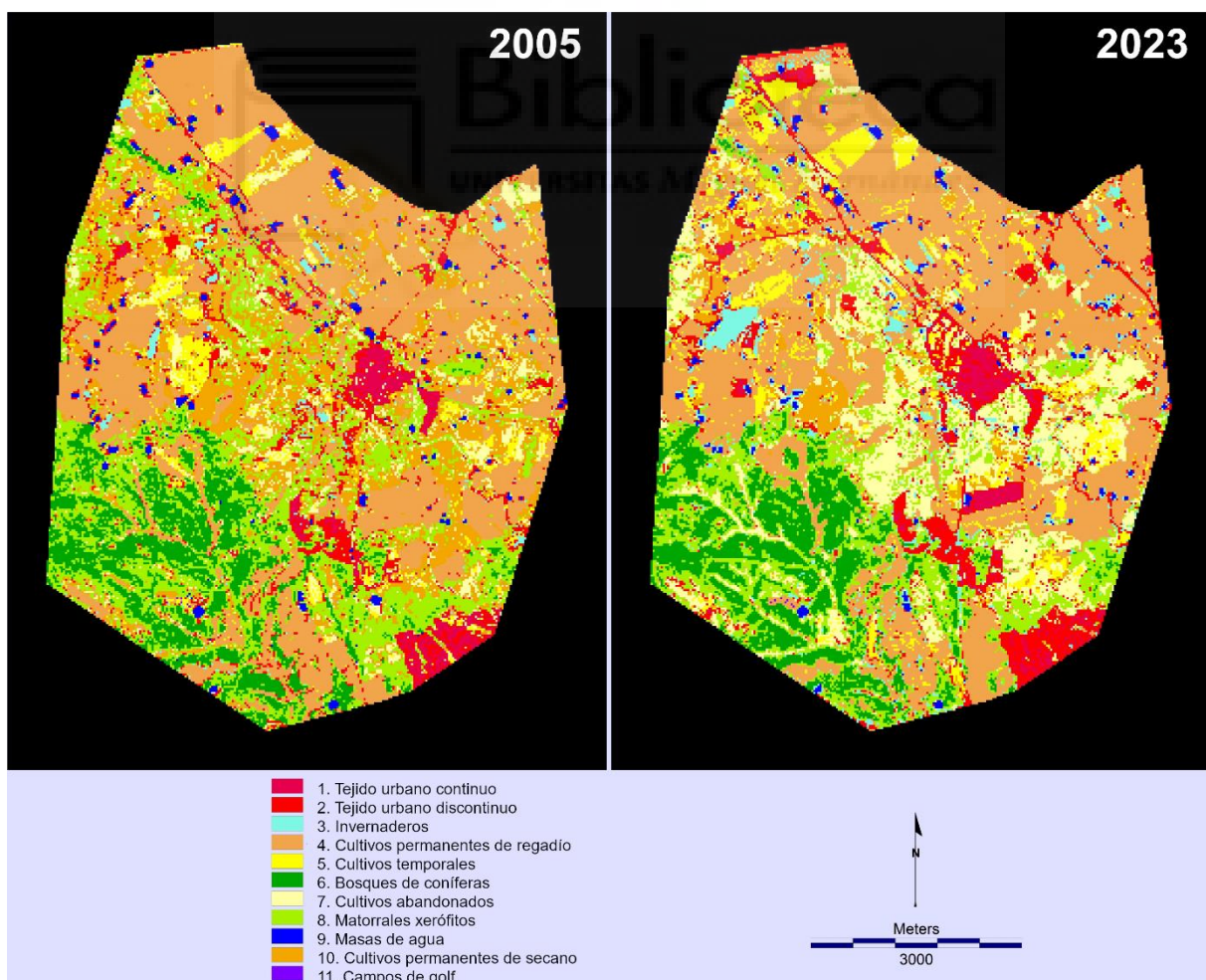


Figura 4. Mapas de clasificación de cubiertas del suelo para 2005 y 2023.

Se observa cómo, en ambos años, las zonas urbanas se concentran principalmente alrededor del núcleo urbano y algunas zonas al sur y sureste del mismo, principalmente zonas de urbanizaciones residenciales. La mayor zona de bosque de coníferas se concentra al suroeste del núcleo urbano. De un primer vistazo, se puede observar que ha habido un claro aumento de las zonas de cultivos abandonados.

Se recopilaron las superficies de las diferentes cubiertas y se calculó su porcentaje de cambio (Tabla 4). Las clases de cobertura del suelo dominantes en la zona de estudio eran los cultivos de regadío, los matorrales xerófitos y los cultivos de secano, que representaban un 68,07% de la zona de estudio en 1999. En 2023, los dominantes en la zona de estudio fueron los cultivos de regadío, los cultivos abandonados y los matorrales xerófitos, que representaban un 63,47% de la zona de estudio.

Se puede apreciar que los mayores aumentos en una categoría se encuentran en los Invernaderos, con un 74% de crecimiento, y en los cultivos abandonados, con un 54%. En contraposición, las cubiertas que más han disminuido son los Cultivos de Secano, con una disminución del 257%, y los matorrales xerófitos, con un 44% de descenso.

Todo esto parece indicar un cambio hacia un modelo agrícola más intensivista, con abandono de cultivos tradicionales.

Tabla 4. Superficie ocupada por cada una de las cubiertas del suelo cartografiadas, para 2005, 2023 y su evolución temporal.

Categoría	2005 (ha)	2023 (ha)	Cambio 2005-2023
Urbano	529,11	624,51	15%
Invernaderos	52,83	199,8	74%
Cultivos regadio	1727,91	1856,79	7%
Cultivos temporales	216,54	380,88	43%
Bosques	488,25	488,52	0%
Cult abandonados	385,83	836,91	54%
Matorrales	1131,66	787,5	-44%
Masas de agua	77,94	64,26	-21%
Cultivo de secano	874,08	245,07	-257%
Campos de golf	0,72	0,63	-14%

Para poder realizar una evaluación de la precisión, esta se realizó con el conjunto de datos test que previamente se habían preparado.

La evaluación de la precisión de los mapas finales de las cubiertas del suelo fue suficientemente satisfactoria, con una precisión global del 66,67% para 2005 (Tabla 5) y del 79,36% para 2023 (Tabla 6). Se emplearon un total de 369 puntos de validación para el mapa de cubierta terrestre de 2005, mientras que para el mapa de cubierta terrestre de 2023 se emplearon 375 puntos de validación. Los valores del coeficiente Kappa fueron 0.6154 para 2005 y 0.7560 para 2023, lo que supondría unos valores sustancialmente significativos (Landis & Koch, 1977)

Se realizaron matrices de errores para las clasificaciones del suelo, tanto para el año 2005 (Tabla 5) como para el año 2023(Tabla 6).

Los valores más bajos para el año 2005 respecto a la precisión del productor los encontramos en campos de golf (clase 11), cultivos abandonados (clase7) y cultivos temporales (clase 5) y del usuario en campos de golf (clase 11), cultivos temporales (clase 5) y cultivos permanentes de secano (clase 10). Por lo que respecta al año 2023, los valores más pequeños respecto a la precisión del productor los encontramos en campos de golf (clase 11), tejido urbano continuo (clase 1) y cultivos temporales (clase 5), y respecto a la del usuario en Campos de Golf (clase 11), matorrales xerófitos (clase 8) y cultivos abandonados (clase 7). En ambos años, la categoría Cultivos abandonados se confunde con la de Matorrales xerófitos o con cultivos permanentes de secano. Por otra parte, las zonas de campo de golf son confundidas con cultivos permanentes de regadío.

Tabla 5. Matriz de errores para las clasificaciones del suelo en 2005. Los valores numéricos representan el número de puntos muestreados.

		Observado en 2005											Total	Error del usuario
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Clasificado en 2005	1	14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0,44
	2	2	12	0	1	1	0	1	0	2	1	0	20	0,40
	3	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0,00
	4	0	0	0	84	1	0	4	0	0	1	0	90	0,07
	5	0	0	0	4	3	0	8	0	0	1	5	21	0,86
	6	0	0	0	0	0	33	0	1	0	0	0	34	0,03
	7	1	1	0	3	3	0	17	1	0	3	0	29	0,41
	8	0	0	1	2	0	2	26	13	1	0	0	45	0,71
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	21	0,00
	10	0	1	0	5	5	0	23	1	0	38	0	73	0,48
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Total	17	25	12	99	13	35	79	16	24	44	5	369
	Error del productor	0,18	0,52	0,08	0,15	0,77	0,06	0,78	0,19	0,13	0,14	1,00		
Error general: 0,34 Coeficiente Kappa: 0.62														

Tabla 6. Matriz de errores para las clasificaciones del suelo en 2023. Los valores numéricos representan el número de puntos muestreados.

		Observado en 2023											Total	Error del usuario
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Clasificado en 2023	1	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0,27
	2	7	23	0	1	0	0	1	0	0	1	0	33	0,30
	3	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0,00
	4	0	0	2	101	4	0	0	0	0	0	4	111	0,09
	5	0	0	0	3	25	0	4	0	0	4	0	36	0,31
	6	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	26	0,00
	7	0	0	0	7	1	0	39	0	0	2	0	49	0,20
	8	0	0	0	0	0	2	19	10	0	0	0	31	0,68
	9	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	21	0,05
	10	0	0	0	2	3	0	5	0	0	30	0	40	0,25
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Total	18	27	14	114	33	28	68	10	20	37	4	373
	Error del productor	0,39	0,15	0,21	0,11	0,24	0,07	0,43	0,00	0,00	0,19	1,00		
Error general: 0,21 Coeficiente Kappa: 0.76														

4.2. Valoración de servicios ecosistémicos

Se realizó una reclasificación de las cubiertas del suelo en función de los servicios ecosistémicos determinados para los mismos. En esta, primeramente, se unificó en urbanos los diferentes tipos de cultivos, dado que con los datos y valores disponibles no podíamos realizar una valoración precisa distinguiendo entre estas categorías. Con ello, se obtuvo un mapa por servicio ecosistémico y un mapa de valor total, para el año 2005 (Figura 5) y para el 2023 (Figura 6).



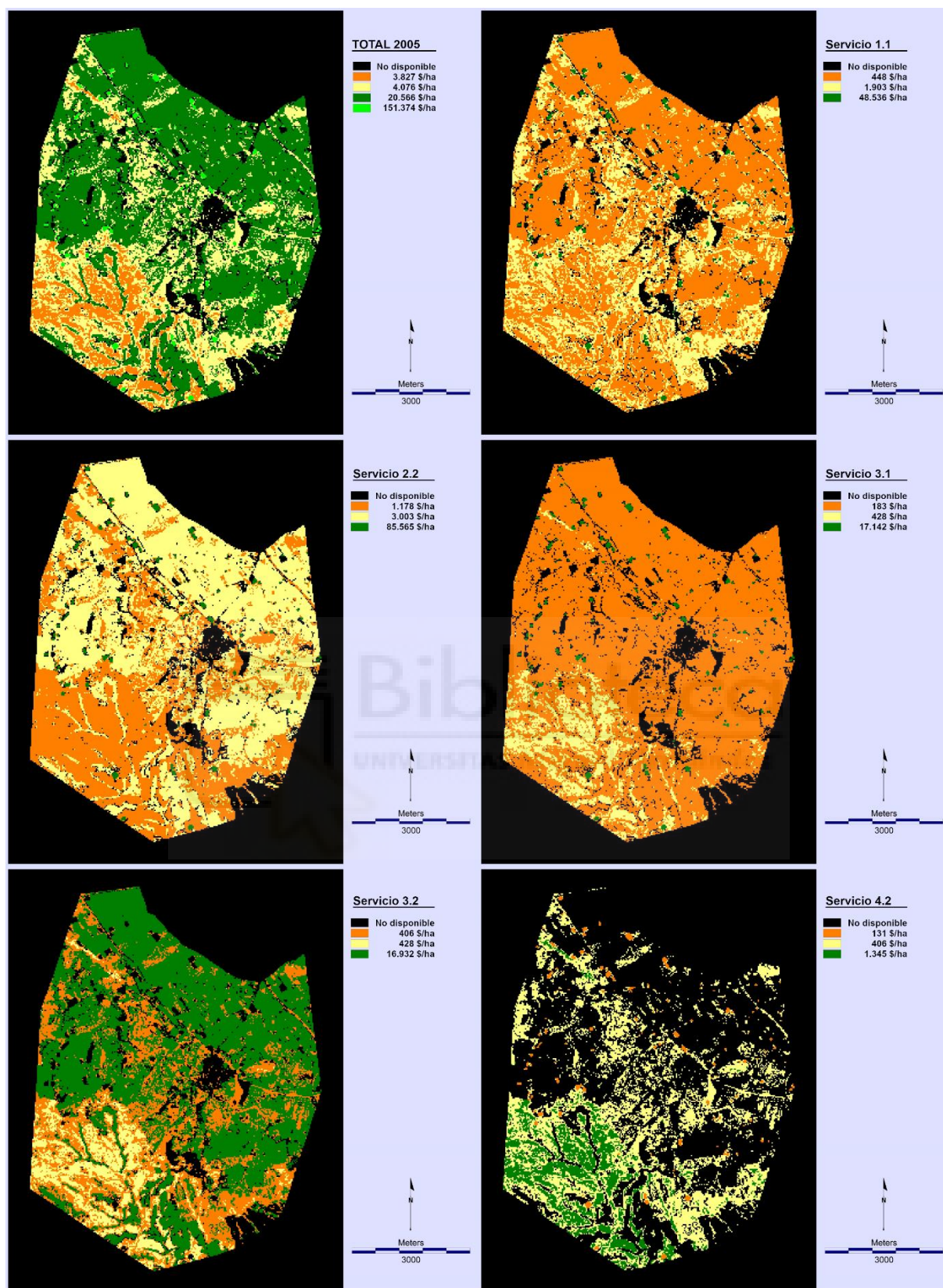


Figura 5. Mapa de valores por zona de los servicios ecosistémicos en 2005 (en \$ a 2020).

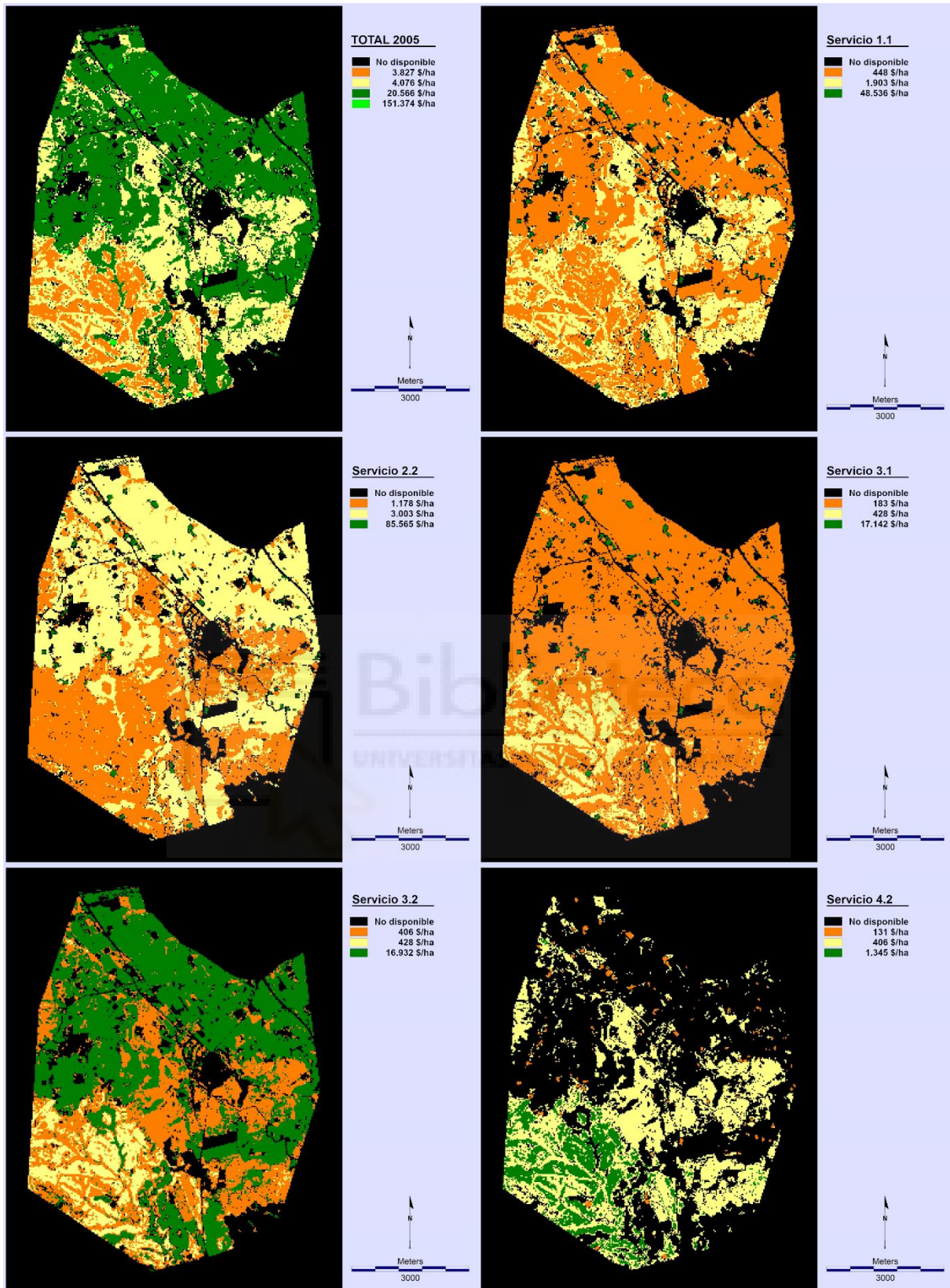


Figura 6. Mapa de valores por zona de los servicios ecosistémicos en 2023 (en \$ a 2020).

Se puede observar cómo, en ambos años, el servicio 4,2: Agua, es el que menor superficie ocupa dentro del área de estudio. El servicio 2,2: Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas, es el que mayor valoración económica alcanza por hectárea, con un valor de 85.585\$.

Se observa una serie de cambios en los valores de los servicios ecosistémicos (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de los diferentes servicios ecosistémicos en el periodo de estudio en \$(a 2020).

Servicio	Valor 2005	Valor 2023	Cambio 2005-2023	Cambio %
1,1	\$ 8.152.116,75	\$ 7.541.300,07	\$ -610.816,68	-7%
2,2	\$ 17.495.743,41	\$ 15.443.106,66	\$ -2.052.636,75	-12%
3,1	\$ 2.338.510,14	\$ 2.062.239,93	\$ -276.270,21	-12%
3,2	\$ 48.548.421,90	\$ 42.906.350,70	\$ -5.642.071,20	-12%
4,1	\$ 1.283.007,33	\$ 1.324.987,92	\$ 41.980,59	3%
Total	\$ 77.817.799,53	\$ 69.277.985,28	\$ -8.539.814,25	-11%

Los servicios que presenta un mayor valor en ambas fechas es el 3.2 Interacciones directas, in situ y al aire libre, con sistemas vivos que no dependen de la presencia en el entorno.

Los valores presentan una disminución entre el año 2005 y 2023, salvo en el caso del 4.1 Agua, que se ve incrementado en un 3% respecto al 2005.

Se observa una disminución de valor de los servicios ecosistémicos, que pasa de 77.817.799,53\$ a 69.277.985,28\$, suponiendo esto una pérdida de 8.539.814,25\$ (un 11%).

Es interesante observar las zonas en donde se mayor ha sido el cambio de valor de los servicios ecosistémicos. Para ello, se realiza la tabulación cruzada (Pontius et al., 2004) con los mapas de cubiertas: obtenidos los mapas del 2005 y del 2023, se examinan los cambios con una matriz de transición para identificar las transiciones más importantes (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de tabulación cruzada de las cubiertas del suelo en 2005 y 2023, en ha.

		2005											
Category		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
2023	1	58,59	20,43	0,45	28,98	2,25	0,09	7,74	5,22	0,54	4,5	0	128,79
	2	72,9	149,22	6,84	81,18	18,72	2,52	32,13	74,16	5,22	52,83	0	495,72
	3	3,87	37,71	17,55	51,93	1,8	5,58	14,13	42,21	18,18	6,75	0,09	199,8
	4	3,51	54,9	12,87	1213,47	86,85	6,66	104,85	136,44	3,06	234,09	0,09	1856,79
	5	1,26	17,37	5,67	152,37	51,03	0,27	37,26	19,17	0,54	95,85	0,09	380,88
	6	0	1,53	0	1,53	0,18	362,61	1,71	120,33	0,54	0,09	0	488,52
	7	5,31	53,28	6,03	117,81	36,63	0,81	122,04	208,62	2,88	283,5	0	836,91
	8	1,35	32,4	1,35	31,32	4,77	109,17	45,09	491,4	1,26	69,39	0	787,5
	9	0,45	4,77	0,36	5,76	0,27	0,45	2,34	4,14	44,91	0,81	0	64,26
	10	0,54	9,72	1,71	43,56	13,86	0,09	18,54	29,97	0,81	126,27	0	245,07
	11	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0,45	0,63
Total		147,78	381,33	52,83	1727,91	216,54	488,25	385,83	1131,66	77,94	874,08	0,72	5484,87

Tras esta tabulación cruzada, se puede comparar con cambios totales de los servicios ecosistémicos. Se observa como el mayor cambio ha ocurrido en el paso de cultivos tradicionales de regadío a cultivos abandonados, indicando una pérdida de interés en estos. También se observan valores elevados en el cambio de matorrales xerófitos a cultivos abandonados. Este cambio de clasificación puede indicarnos una degradación de las poblaciones arbustivas de la zona.

Además, se recogen cambios significativos de terrenos de uno tradicional reconvertido a cultivos permanentes de regadío, indicando un cambio hacia unos modelos agrícolas más intensivos y dependientes del agua. Una vez analizados los cambios de cubiertas, se pueden relacionar con los cambios en los valores ecosistémicos con el fin de detectar relaciones. Los cambios de valor fueron representados en la Figura 7.

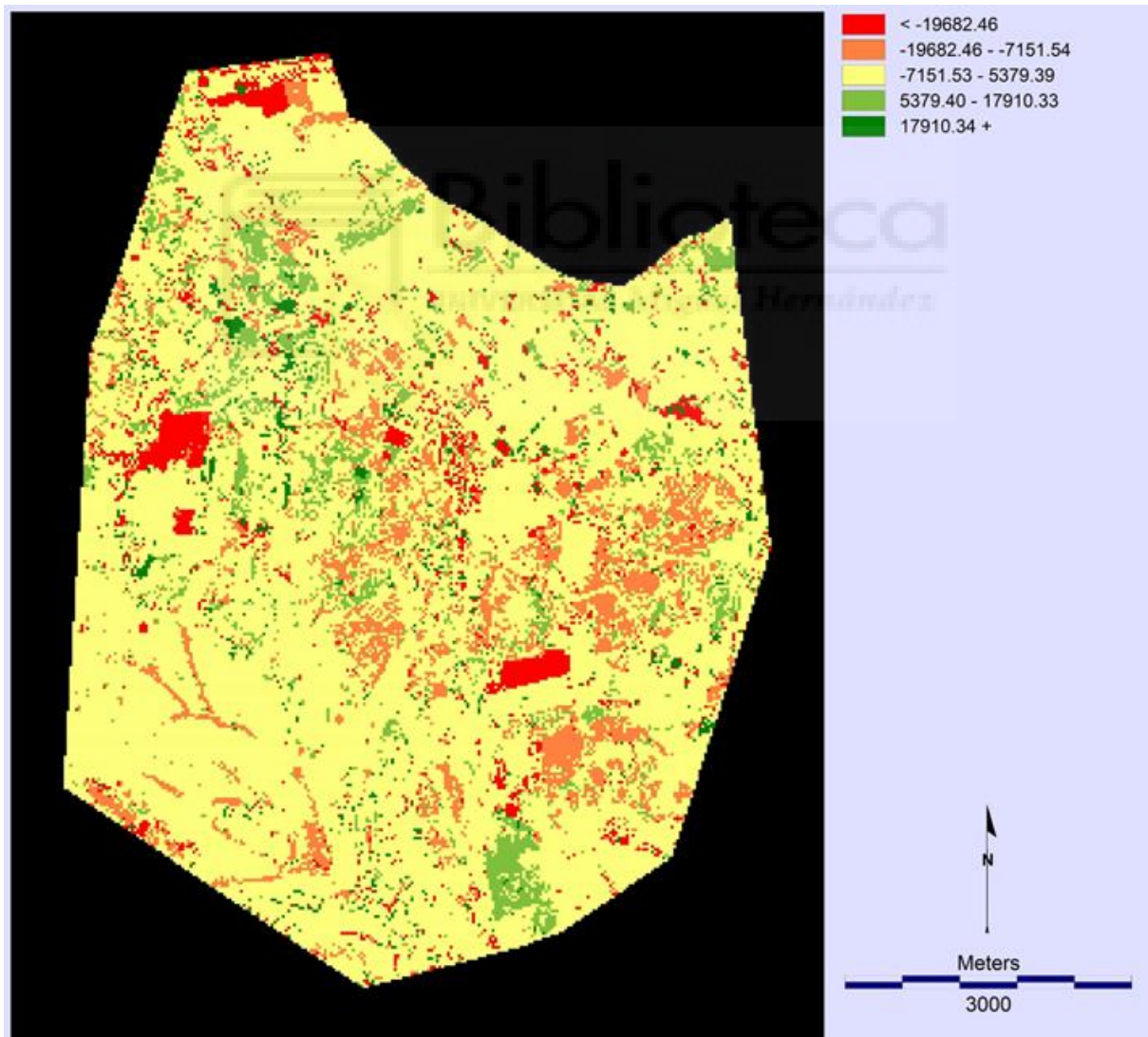


Figura 7. Mapa de cambios de los valores de los servicios ecosistémicos (en \$ a 2020).

Podemos distinguir estos cambios en 2 grandes tipos: los casos en que ha disminuido y los casos en que se ha producido un aumento del valor.

Como exponentes de disminución, podemos encontrar diversas áreas marcadas en la figura 6. Al norte y al sur este, encontramos zonas de cultivos permanentes de regadío que han sido urbanizadas y transformadas en tejido urbano y provocado un sellado del suelo. Cuando este tipo de proceso ocurre, se reduce la superficie para que el suelo desempeñe sus funciones y puede tener un gran impacto en los suelos circundantes al cambiar los patrones de flujo del agua y aumentar la fragmentación de la biodiversidad (European Commission, 2002), además de afectar en la reducción de la capacidad del suelo para actuar como sumidero de carbono (Scalenghe & Ajmone-Marsan, 2009). En otros estudios, se ha observado las tendencias de cambio en la ocupación del suelo, con el aumento de las zonas urbanas y la disminución de las zonas de arbustos y huertos, tanto espacios naturales como agrícolas (Melendez Pastór et al., 2013). Los gestores del suelo y los políticos deberían adoptar políticas para prevenir, minimizar y restaurar los suelos sellados, especialmente en zonas con una elevada capacidad agrícola, con el fin de garantizar el suministro futuro de alimentos y salvaguardar las funciones medioambientales de los suelos (Navarro Pedreño et al., 2012).

De la misma forma, al oeste y en puntos dispersos por el mapa, encontramos zonas que han cambiado su forma de cultivo a invernaderos, hecho que puede establecer una presión sobre los recursos hídricos de la zona y afectar a los hábitats de esta (Martínez-Valderrama et al., 2024).

Como ejemplos de aumento, encontramos principalmente zonas que han abandonado el modelo de invernadero en post de otros tipos de cultivo, y zonas de cultivos abandonados que han retomado la actividad.

5. Conclusiones y Proyecciones Futuras

Tomando como base los resultados obtenidos y los objetivos alcanzados, podemos concluir que en este estudio se ha logrado realizar un buen repertorio de mapas, tanto de cubiertas de suelo como de valor de los servicios ecosistémicos, donde se puede observar claros cambios entre estos durante el periodo de estudio. Se han observado que los cambios mayoritarios en las cubiertas del terreno se ha debido a la intensificación de los cultivos, y que además de esto, el cambio de suelos agrícolas a urbanos ha provocado el mayor descenso en el valor de los servicios ecosistémicos. Todo esto es relevante para futuras investigaciones a la hora de analizar los cambios de cubiertas y sus valores ecosistémicos asociados, dando así mejores herramientas para los gestores con las que puedan facilitar su toma de decisiones en materias como ordenación del territorio o manejo de los recursos hídricos.

En investigaciones futuras, podría ser posible implementar nuevas herramientas para afinar los resultados obtenidos. Una forma sería mediante la utilización de la *ESVD Value Transfer Tool*, que nos permitiría la transferencia de valores, usando de los resultados de estudios de valoración primaria existentes para otros ecosistemas ("lugares de estudio") a ecosistemas que son de interés actual para la inversión o la política ("lugares de política"). (Foundation for Sustainable Development and Brander Environmental Economics, 2024). Esto permitiría una mayor precisión en la estimación de los valores de los servicios ecosistémicos.

6. Bibliografía



- Brander, L., de Groot, R., Guisado-Goñi, V., van 't Hoff, V., Schägner, P., Solomonides, S., McVittie f, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., & Sinclair, M. (2023, mayo). *Ecosystem Services Valuation Database (ESVD). Foundation for Sustainable Development and Brander Environmental Economics*". <https://esvd.net>
- Brander, L. M., Schägner, J. P., & de Groot, R. (2022). On the potential use of the Ecosystem Services Valuation Database for valuation in the System of Environmental Economic Accounting. *One Ecosystem*, 7. <https://doi.org/10.3897/ONEECO.7.E85085>
- Cases Martínez, A., & Marroquí Ferrández, N. (2011). Crisis de una forma de vida tradicional: La Vega Baja Del Segura. *GeoGraphos*, 2(10), 1-27.
- Clark Labs. (2017). *TerrSet*. Clark Labs. <https://clarklabs.org/terrset/>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Costanza, R., de Groot, R., Farberll, S., Grassot, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O, R. V, Parello, J., Raskin, R. G., & Suttonllll, P. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*.
- Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The «Anthropocene». *IGBN Newsletter*, 41, 17-18.
- Daily, G. C. (1997). Introduction: What are ecosystem services? En *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* (pp. 1-10).
- Diputació de Alacant. (2022). *Datos del padrón de San Miguel de Salinas - Diputación de Alicante*. <http://documentacion.diputacionalicante.es/4hogares.asp?codigo=03120>
- Eastman, J. R. (2016). *Terrset-Manual*. En Clark Labs (Ed.), *Clark Labs*. Clark Labs.
- European Comission. (2002). *Towards a Thematic Strategy for Soil Protection*. (Vol. 179).
- Foundation for Sustainable Development and Brander Environmental Economics. (2024). *Guidance document for the ESVD Value Transfer Tool*.
- Generalitat Valenciana, & Institut valencià d'estadística. (2022). *San Miguel de Salinas Ficha Municipal (Datos a 1 a de enero de 2021)*. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/http://documentacion.diputacionalicante.es/fichasive/03120.pdf>

- Guaita, N., López, I., & Prieto, F. (2008). Cambios de ocupación del suelo en España: implicaciones para la sostenibilidad. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 156(40), 235-260. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75852/46264>
- Ingram, J. S. I., & Koch, G. (1995). Global Change and Terrestrial Ecosystems: The Operational Plan. *Vegetatio*, 1(2), 53-65. <http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. En *Source: Biometrics* (Vol. 33, Número 1).
- Martínez-Valderrama, J., Gartzia, R., Olcina, J., Guirado, E., Ibáñez, J., & Maestre, F. T. (2024). Uberizing Agriculture in Drylands: A Few Enriched, Everyone Endangered. *Water Resources Management*, 38(1), 193-214. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03663-1>
- Melendez Pastor, I., Navarro Pedreño-Jose, Gómez, I., & Hernández, E. I. (2013). Assessing urban growth and soil sealing with spectral mixture analysis. En E. Alcântara (Ed.), *Remote Sensing: Techniques, Applications and Technologies* (2013.^a ed., pp. 161-181). Nova Science Publishers.
- Mermut, A. R., & Eswaran, H. (2001). Some major developments in soil science since the mid-1960s. En *Geoderma* (Vol. 100). www.elsevier.nl/locate/geoderma
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning* (McGraw-Hill). McGraw-Hill.
- Molina Giménez, A., Melgarejo Moreno, J., & López Ortiz, M. I. (2014). El memorándum sobre el trasvase Tajo-Segura. Modelo de resolución de conflictos hídricos. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 29, 23-48.
- Navarro Pedreño, J., Meléndez-Pastor, I., & Gómez Lucas, I. (2012). Impact of three decades of urban growth on soil resources in Elche (Alicante, Spain). *Spanish Journal of Soil Science*, 2(1), 55-69. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2012.V2.N1.04>
- Nizeyimana, E. (2020). Remote Sensing and GIS Integration. En *Managing Human and Social Systems* (pp. 139-143). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003053514-17>
- Patronato Provincial de Turismo de la Costa Blanca. (2014). *San Miguel de Salinas*. https://www.costablanca.org/Esp/Descubre_la_Costa_Blanca/La_Costa_Blanca/Paginas/San_Miguel_de_Salinas.aspx
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>

- Porta, J., & Poch, R. M. (2011). DPSIR Analysis of Land and Soil Degradation in Response to Changes in Land Use. *Spanish Journal of Soil Science*, 1(1), 100-115. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2011.V1.N1.07>
- QGIS Association. (2024). *QGIS*. QGIS Association. <http://www.qgis.org/>
- R Foundation for Statistical Computing. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. (Vienna, Austria). <https://www.R-project.org/>
- Roy Haines-Young, by, & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure*. www.cices.eu
- Sala, O. E., Stuart, F., Iii, C., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). *Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100*. 1770-1774. <https://www.science.org>
- Scalenghe, R., & Ajmone-Marsan, F. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. En *Landscape and Urban Planning* (Vol. 90, Números 1-2, pp. 1-10). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P., Jäger, J., Matson, P., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J., Turner, B. L. I., & Wasson, R. J. (2004). *Global Change and the Earth System*.
- Tugel, A. J., Herrick, J. E., Brown, J. R., Mausbach, M. J., Puckett, W., & Hipple, K. (2005). Soil Change, Soil Survey, and Natural Resources Decision Making. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 738-747. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0163>
- UNDP. (2005). *Integrated Water Resources Management Plans: Training Manual and Operational Guide*.

7. Anexos

7.1. Ficha de vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Objetivos de desarrollo sostenible	Relación
 <p>11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES</p> <p>Ciudades y comunidades sostenibles: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles</p>	<p>Generación de cartografía que permite visualizar la relación de los municipios con el entorno y los cambios de este a lo largo del tiempo.</p>
 <p>12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES</p> <p>Producción y consumo responsables: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles</p>	<p>Análisis de los cambios de usos de producción del suelo.</p>
 <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p> <p>Acción por el clima: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</p>	<p>Valoración de los servicios ecosistémicos que ofrece la zona de estudio y los cambios de estos en el tiempo.</p>
 <p>15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES</p> <p>Vida de ecosistemas terrestres: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad</p>	<p>Contribución a la generación de cartografía de las cubiertas del suelo con las que poder tener una visión de los cambios de este de cara a gestores.</p>