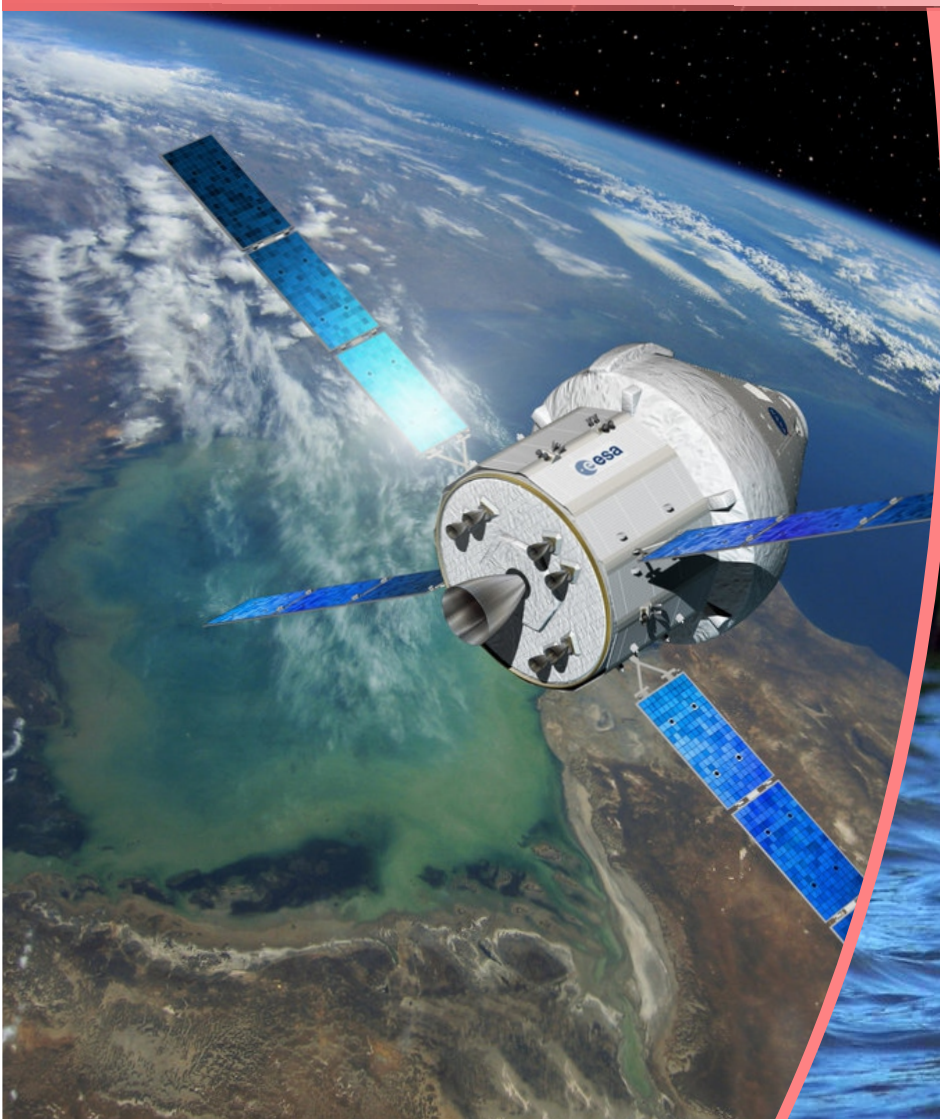


# APORTACIÓN EUROPEA AL INVENTARIADO Y MONITOREO DE HUMEDALES

---

Rebeca Ruíz Martínez

Trabajo Fin de Máster  
Máster en Recursos Hídricos y Medio Ambiente  
2014-2015





facultad de ciencias



# APORTACIÓN EUROPEA AL INVENTARIADO Y MONITOREO DE HUMEDALES

Las capas de alta resolución del programa Copérnico

Trabajo Fin de Máster

Máster en Recursos Hídricos y Medio

Ambiente

(2014-2015)

Málaga. Diciembre 2015

Autora: Rebeca Ruíz Martínez

Tutora ETC-UMA: Dania Abdul Malak

Tutora Académica: Ana Isabel Marín Guerrero



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo. Quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho para que este trabajo se realizara de la mejor manera posible.

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a Ana Isabel Marín y Dania Abdul Malak, tutoras de este trabajo fin de máster, por haberme ayudado y apoyado en todo momento. Tengo que agradecerles sus comentarios, direcciones, sugerencias y correcciones realizadas con el fin de elaborar una adecuada memoria de todo el trabajo realizado estos últimos meses.

Mi más sincero agradecimiento a Francisco Carrasco Cantos, por haberme guiado profesionalmente en estos últimos años. Le agradezco la confianza y todo el apoyo y consejos que me ha dado siempre.

A mis compañeros del máster, en especial a Beatriz de la Torre, José Manuel Nieto y Luz Marina Zea por su compañía incondicional, su ayuda en muchas ocasiones, por todas las conversaciones y los buenos momentos de amistad y compañerismo.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a mi familia y amigos, por su cariño, comprensión, su apoyo y sobre todo por haber logrado siempre que siguiera avanzando hacia mis objetivos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MARCO DE TRABAJO Y JUSTIFICACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>BASES CIENTÍFICAS PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO</b>	<b>7</b>
3.1	<i>Definición y delimitación de humedales</i>	7
3.2	<i>La definición científica de humedal en la realización de inventarios, evaluación y monitoreo de humedales</i>	12
3.3	<i>Bases científicas de la teledetección</i>	14
3.4	<i>La teledetección en la elaboración de inventarios, evaluación y monitoreo de humedales</i>	14
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>FUENTE DE DATOS Y METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN</b>	<b>24</b>
5.1	<i>Fuente de datos</i>	24
5.1.1	<i>Inventario Español de Zonas Húmedas (IEZH)</i>	24
5.1.2	<i>Corine Land Cover, mapa de ocupación del suelo de España (CLC)</i>	27
5.1.3	<i>Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo de España (SIOSE)</i>	27
5.1.4	<i>Base Cartográfica Numérica 1:25.000 (BCN25)</i>	28
5.1.5	<i>Inventario de Humedales de Andalucía (IHA)</i>	29
5.1.6	<i>Capa de HRL de humedales</i>	29
5.2	<i>Metodología de producción de la capa de HR de humedales</i>	32
5.3	<i>Homogenización de la definición de humedal</i>	35
<b>6</b>	<b>PROCESOS DE VALIDACIÓN DE LA CAPA DE HR DE HUMEDALES</b>	<b>36</b>
6.1	<i>Concepto y tipos procesos de validación</i>	36
6.2	<i>Validación cualitativa</i>	37
6.3	<i>Validación no espacial</i>	39
6.3.1	<i>Criterio de selección de las capas de referencia</i>	40
6.3.2	<i>Pretratamiento de las capas de referencia seleccionadas</i>	42
6.3.3	<i>Análisis comparativo</i>	42

6.4	<i>Validación espacial</i> .....	44
6.4.1	Selección y pretratamiento de las capas de referencia.....	46
6.4.2	Diseño del muestreo para la validación espacial .....	47
6.4.3	Análisis comparativo mediante la generación de una matriz de confusión.....	48
6.4.4	Análisis de los errores y validación del proceso .....	52
<b>7</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> -----	<b>56</b>
7.1	<i>Resultados y análisis de la validación de HRL de humedales a nivel nacional</i> .....	56
7.2	<i>Resultados y análisis de la validación de la HRL de humedales a nivel autonómico</i> .....	59
7.2.1	Validación cualitativa.....	59
7.2.2	Validación no espacial .....	64
7.2.3	Validación espacial .....	73
<b>8</b>	<b>PROPUESTAS DE MEJORA DE LA CAPA DE HR DE HUMEDALES</b> -----	<b>81</b>
8.1	<i>Justificación</i> .....	81
8.2	<i>Propuesta 1. Creación de una capa de humedales resultante de la unión de la capa de HR de humedales y la capa de HR de cuerpos de agua permanente</i> .....	81
8.2.1	Resultados y análisis .....	83
8.3	<i>Propuesta 2. Creación de una capa de HR de humedales en base a una definición científica de humedal</i> .....	96
8.3.1	Resultados y análisis .....	100
<b>9</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS</b> -----	<b>108</b>
9.1	<i>Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación cualitativa</i> .....	108
9.2	<i>Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación no espacial</i> .....	112
9.3	<i>Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación espacial basada en píxeles</i> .....	114
<b>10</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> -----	<b>118</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----	<b>121</b>
	<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> -----	<b>124</b>
	<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> -----	<b>126</b>

## RESUMEN

La gestión de los humedales dentro de los compromisos adquiridos en la Convención de Ramsar implica la elaboración de inventarios nacionales de humedales, así como realizar una evaluación y monitoreo de las presiones y riesgos que producen cambios en las características ecológicas de los humedales. Con el objetivo de ayudar a los Estados a cumplir con sus obligaciones políticas, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), junto con la Agencia Espacial Europea (ESA), está elaborando, dentro del Programa Copérnico, la Capa de Alta Resolución de Humedales (HRL humedales) a escala europea a partir de imágenes satélite y técnicas de teledetección. Actualmente, esta capa se encuentra en fase preliminar, bajo un proceso de validación y análisis de calidad por los Estados miembros y por la propia AEMA.

Bajo este contexto, el presente trabajo se ha desarrollado un proceso de validación de la capa HR de humedales para realizar inventarios, evaluación y monitoreo de humedales, tanto a escala nacional –España– como regional – Andalucía–. Para evaluar la calidad de la capa de HR de humedales se han realizado análisis comparativos con mapas ya existentes (mapa de usos y coberturas del suelo -CLC-, el Inventario de humedales de Andalucía -IHA-, la base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 -BCN25-), y fotografías aéreas. Adicionalmente, se han propuesto dos opciones de mejora de esta capa que han sido comparadas cualitativa y cuantitativamente con respecto a la capa original.

La metodología de validación se ha basado en técnicas de fotointerpretación (validación cualitativa), análisis comparativos de superficie total de humedales (validación no espacial) y obtención de matrices de confusión e índices de precisión derivados (validación espacial).

Los resultados obtenidos a ambas escalas muestran que la capa de HR de humedales presenta un bajo grado de ajuste con las capas de referencia. A escala nacional existen grandes diferencias de superficie detectadas como humedal entre la capa de HR de humedales y el CLC y a escala regional, los resultados obtenidos en los tres procesos de validación muestran que el grado de detección de humedales de la capa de HR es muy pobre, tanto cuando se compara con fotografías aéreas, como cuando se compara con el IHA, la BCN25 y el CLC. En definitiva, los valores de precisión global son bajos (Precisión global del 58%, con un valor de coeficiente Kappa de 0,16), lo que indica que la exactitud temática no es suficiente para apoyar a los Estados miembros en sus actividades nacionales de inventariado y monitoreo para la gestión de los humedales. La inconsistencia entre información de la capa de HR de humedales y las capas de referencia se debe principalmente a la carencia de una base científica en la definición de humedal en la capa de HR,

lo que conlleva a la inclusión de los márgenes de ríos y embalses y a la exclusión de todas las superficies de aguas permanente.

A partir de estos resultados, en el marco de este estudio se ha trabajado en propuestas de mejora de la capa de alta resolución basadas en el concepto científico de humedal. La primera ha consistido en crear una capa de HR que represente los humedales como una unidad, constituida tanto por la superficie de agua temporal como la superficie de agua permanente (capa de HR de Masas de Agua Superficial). Para ello, se unió espacialmente la capa de HR de humedales y la capa de HR de cuerpos de agua permanente perteneciente también al Programa Copérnico. La incorporación de la superficie de agua permanente, no proporciona mejores resultados que la capa original (Precisión global del 52,56% y un valor de coeficiente Kappa de 0,11) debido, principalmente, a la inclusión de muchas entidades no consideradas como humedal por la definición científica (embalses, ríos, estanques, canales etc.).

La segunda propuesta ha consistido en crear una capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal. El procedimiento metodológico se ha basado en derivar de la capa de HR de Masas de Agua Superficial (HRL de humedal and HR agua permanente), una capa de HR que contenga únicamente los humedales cartografiados en el Inventario Andaluz de Humedales (considerado base cartográfica fiable por derivar de trabajo científico-técnico con apoyo en campo). Los resultados obtenidos de la evaluación de la exactitud mejoran considerablemente con respecto a los resultados originales (precisión global del 81,8 %, con un valor de coeficiente Kappa de 0,57). Se alcanza por tanto, el nivel de precisión exigido por la AEMA (80%) y por consiguiente la capa objeto de estudio se considera satisfactoria.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, esta propuesta mejora notablemente los resultados y demuestra que los objetivos de la capa de HR de humedales del Programa Copérnico se pueden cumplir siempre que la UE establezca una definición de referencia elaborada de acuerdo con criterios ecológicos e hidrológicos, o bien utilicen la información técnica de los Estados miembros como información auxiliar en la metodología de elaboración de la capa de HR de humedales.



## LISTA DE ACRÓNIMOS

**AEMA:** Agencia Europea del Medio Ambiente

**BCN25:** Base Cartográfica Numérica 1:25.000

**CE:** Comisión Europea

**CLC:** *Corine Land Cover* (Mapa de usos y coberturas del suelo)

**DGOH:** Dirección General de Obras Hidráulicas

**DPH:** Dominio Público Hidráulico

**EO:** Observación de la Tierra

**EORC:** Centro de Investigación de la Observación de la Tierra

**ESA:** Agencia Espacial Europea

**ETC-UMA:** Centro Temático Europeo de la Universidad de Málaga

**EENNPP:** Espacio Natural Protegido

**GMES:** *Global Monitoring for Environment and Security*

**HR:** Alta Resolución

**HRL:** *High Resolution Layers* (Capas de Alta Resolución)

**IEPNB:** Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad

**IEZH:** Inventario Español de Zonas Húmedas

**IGN:** Instituto Geográfico Nacional

**IHA:** Inventario de Humedales de Andalucía

**INVENTARIO SUBBCN25:** Inventario derivados de la Base Cartográfica Numérica 1:25.000 en base a la definición de referencia de humedal

**JAXA:** Agencia Espacial Japonesa

**LA:** Ley de Aguas

**MAAMA:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

**MEDWET:** Iniciativa para los Humedales Mediterráneos

**MS:** Estados Miembro

**NRC LC:** *National Reference Center on Land Cover*

**PAH:** Plan Andaluz de Humedales

**PNOA:** Plan Nacional de Ortofotografía Aérea

**PNOT:** Plan Nacional de Observación del Territorio

**RDPH:** Real Decreto del Dominio Público Hidráulico

**SIOSE:** Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España

**SWOS:** *Satellite-based Wetland Observation Service*

**TESEO:** *Treaty Enforcement Services using Earth Observation* (Tratado de Aplicación de Servicios usando Observación de la Tierra)

**TRLA:** Texto Refundido de la Ley de Aguas

**UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza



## 1 INTRODUCCIÓN

Los humedales constituyen ámbitos de transición entre los medios terrestres y acuáticos en los que se entrelazan y mezclan rasgos definitorios que caracterizan a esos dos términos extremos (Mitsch & Gosselink, 2000). Debido a que se localizan en esta zona intermedia o de frontera (ecotono) son ecosistemas altamente heterogéneos y sobre todo muy dinámicos. Los humedales son ecosistemas de gran interés por las diferentes funciones que realizan: almacenan agua y la emanan lentamente recargando aguas subterráneas, mejoran su calidad, actuando como filtros al absorber su contaminación y proporcionan un gran número de hábitat para la fauna y vegetación incluyendo a muchas especies amenazadas o en peligro (Steven & Toner, 2004). Además, suministran un amplio y variado catálogo de servicios a la sociedad (Camacho, 2006) contribuyendo a su bienestar. Estos servicios son muy diversos (abastecimiento de agua, regulación climática, mitigación del cambio climático, protección frente a inundaciones, recursos pesqueros y agrarios, disfrute estético y paisajístico, etc..) y se manifiestan a distintas escalas espacio-temporales.

A pesar de ello, los humedales están entre los ecosistemas del planeta más amenazados, siendo la situación de los humedales españoles en particular bastante preocupante (Casado & Montes, 1995). El cambio climático, la urbanización, el uso ilegal del agua y la contaminación son las grandes amenazas de los humedales. A esto hay que añadir que históricamente los humedales han sido considerados por el ser humano como ámbitos insalubres e inhóspitos que debían ser eliminados (Borja, et al., 2011). Tanto es así, que en España, por ejemplo, se favoreció la desecación y destrucción de los humedales durante varias décadas con leyes como la "*Ley Cambó*" (1918), sobre desecación de lagunas, marismas y terrenos pantanosos que estuvo vigente hasta 1986, y que dio lugar a la pérdida de grandes humedales en España (como la laguna de la Janda o de la Nava).

A escala internacional, se inició desde los años sesenta un movimiento en favor de la conservación de los ambientes acuáticos, que tomó fuerza gracias al proyecto MAR (Primera Conferencia Internacional sobre Conservación de Humedales, 1962-1965), en el que se elaboró la primera lista de humedales europeos de importancia internacional, y al Convenio de Ramsar (1971), cuyo objetivo original era la protección de las aves acuáticas, pero que derivó en la protección y conservación, mediante colaboración internacional, de este tipo de ecosistemas.

La gestión de los humedales dentro de los compromisos contenidos en la Convención de Ramsar implica:

1. Establecer la ubicación y la descripción de las características ecológicas de los humedales (inventario);
2. Evaluación de la situación, presiones y riesgos que producen cambios en las características ecológicas de los humedales (evaluación);
3. El control de la situación y las tendencias, es decir, la información sobre cualquier cambio producido en las características ecológicas del humedal (monitoreo);
4. Tomar medidas (tanto in situ como ex situ) para corregir las actuaciones que causan o puedan causar cambios perjudiciales en el humedal (gestión).

España ratificó el Convenio de Ramsar en 1982 (BOE-A-1982-21179)<sup>1</sup> y, desde entonces, se ha desarrollado y aprobado una amplia legislación relacionada directa o indirectamente con los humedales tanto a nivel estatal (Leyes de Aguas, de Costas, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, del Suelo) como autonómico, como es, en el caso de Andalucía el Plan Andaluz de Humedales (PAH)<sup>2</sup>, en vigor desde el año 2002. En cumplimiento de los compromisos acordados en el marco del “Plan Estratégico Ramsar, 1997-2002”, el Comité de Humedales de España elaboró el “Plan Estratégico Español para la Conservación y Uso Racional de los Humedales”<sup>3</sup>, aprobado en 1999, cuyas pretensiones son constituir el instrumento marco de integración de todas las políticas sectoriales que permita, en el caso de España, coordinar y controlar una multiplicidad de actuaciones de forma compatible con la conservación de estos ecosistemas.

En cumplimiento del Plan y, por tanto, de los compromisos establecidos por el Convenio Ramsar, se aprobó en 2004 la figura legal destinada a servir como marco legal a la catalogación de las zonas húmedas españolas, el Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario Español de Zonas Húmedas (IEZH). Dicho Real Decreto atribuye al actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA), la elaboración, mantenimiento y actualización del inventario, a partir de la información técnica suministrada por las Comunidades Autónomas.

---

<sup>1</sup> <http://www.boe.es/boe/dias/1982/08/20/pdfs/A22472-22474.pdf>

<sup>2</sup> [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/plan\\_humedales.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/plan_humedales.pdf)

<sup>3</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/pan\\_humedales\\_tcm7-19093.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/pan_humedales_tcm7-19093.pdf)

El IEZH tiene por objeto conocer la evolución de los humedales españoles y, en su caso, indicar las medidas de protección que deben recoger los planes hidrológicos de cuencas. Este inventario será el instrumento básico para la gestión y conservación de los humedales españoles, siendo su objetivo principal "garantizar la conservación y uso sostenible" de los humedales.

En la actualidad, el IEZH está incompleto y desactualizado, tan sólo 6 Comunidades Autónomas han incorporado datos de inventarios. La aportación autonómica al IEZH se ha llevado a cabo sin excesiva coordinación y con criterios dispares (Borja, et al., 2011). Además, existen deficiencias en cuanto a la información incluida en la ficha descriptiva que acompaña al humedal (Anexo II del Real Decreto 435/2004) con una excesiva carga administrativa y poca información técnica de importancia (MAAMA / IEPNB, 2013). El resultado es la existencia de sectores del territorio nacional sobre las que se tiene un alto nivel de conocimiento científico de los humedales mientras que en otros ámbitos existe una carencia total o parcial de información lo que dificulta la gestión y conservación de los mismos.

## 2 MARCO DE TRABAJO Y JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se desarrolla dentro del marco de trabajo de evaluación, análisis y procesamiento de datos ambientales para el que trabaja el Centro Temático Europeo de la Universidad de Málaga (ETC-UMA).

Este centro da apoyo a la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) para el desarrollo de datos de referencia espacial a escala europea. Una de las funciones del ETC-UMA es contribuir y apoyar, mediante la evaluación y propuestas de mejora, a los nuevos productos de coberturas del suelo de alta resolución, como los *High Resolution Layers* (HRL) procedentes del Programa Copérnico, anteriormente conocido como *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES).

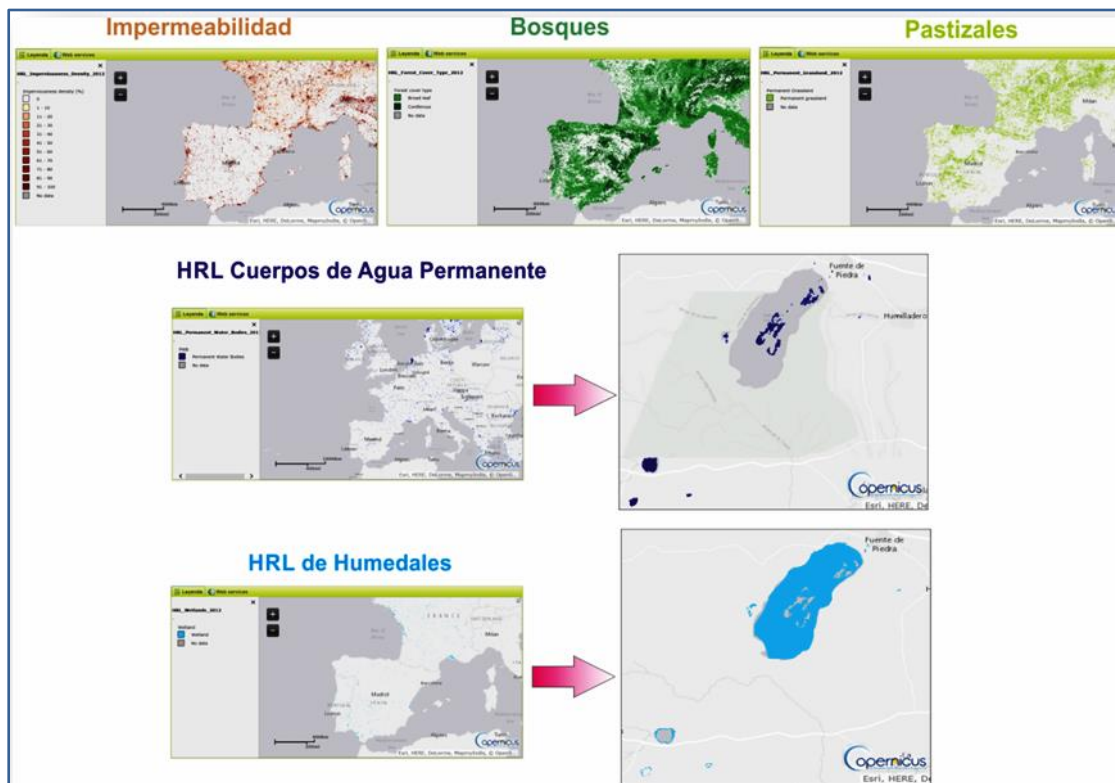
Copérnico es un sistema europeo de vigilancia de la Tierra, basado en teledetección y sensores in-situ, que proporciona información precisa, fiable y actualizada sobre seis áreas temáticas: seguimiento terrestre, seguimiento del medio marino, gestión de desastres y crisis, seguimiento de la atmósfera terrestre, seguimiento del cambio climático y seguridad. Esta iniciativa está liderada por la Comisión Europea (CE), en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA).

El servicio destinado al área temática monitoreo del suelo (*Land Copérnicus*<sup>4</sup>) ofrece diferentes productos a escala Global, Pan-Europea, Local e in-situ. Las HRL proporcionan información sobre las características específicas de cobertura de la tierra, y son complementarios a los datos ofrecidos por el Mapa de usos y coberturas del suelo (CLC). Hay 5 productos de alta resolución (20m): nivel de suelo sellado (impermeabilidad), densidad de la cubierta forestal y el tipo de bosque, pastizales, humedales y cuerpos de agua permanentes <sup>5</sup>(figura 1).

---

<sup>4</sup> <http://land.copernicus.eu/>

<sup>5</sup> <http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/view>



*Figura 1. Capas de HR representadas en el visor de Copernicus. Arriba, capas de HR de Impermeabilidad, Bosques y Pastizales. Abajo, vista de las capas de HR de Cuerpos de Agua Permanente y Humedales en la Laguna de Fuente de Piedra y las Lagunas de Campillos*

La capa HR de humedales, es junto con las capas de pastizales, uno de los productos HR de Copernicus que más controversia han generado por la falta de consenso conceptual del producto y, por otro lado, por la deficiencia en la identificación de los elementos cartografiados con respecto a los productos nacionales. Actualmente esta capa se encuentra en una fase preliminar en la que está siendo analizada y validada por los Estados y por la propia AEMA. España aún no ha publicado los informes de análisis y evaluación de la HRL de humedales.

En este contexto se ha desarrollado el presente trabajo que pretende, en términos generales, aplicar diferentes técnicas de medida y validación para evaluar el nivel de detección de los humedales de esta capa, con el fin de poder determinar en detalle la validez de la misma para poder utilizarla en programas de conservación, gestión y manejo de humedales. El marco de trabajo se limita a dos escalas: nacional - España - y regional - Andalucía -. Se analizará si se ajustan al objetivo general de Copernicus que es el de dar soporte a las autoridades públicas que necesiten información espacial sobre algunas de las variables ambientales evaluadas para el desarrollo de la legislación y las políticas de medio ambiente o para tomar decisiones en situación de emergencias.



En definitiva, los objetivos del presente trabajo son:

1. Analizar el encuadre del concepto y definición de la actual capa de HR de humedales;
2. Validar la capa de HR de humedales mediante comparación con mapas ya existentes (inventarios, mapas de usos y coberturas del suelo, etc.) y/o fotografías aéreas;
3. Realizar propuestas de mejoras de la capa de HR de humedales en el marco del Programa Copérnico. Comparabilidad y cuantificación de la mejora propuesta respecto a la capa original;
4. Analizar la utilidad potencial de la capa de HR de humedales para la gestión y el monitoreo.

### 3 BASES CIENTÍFICAS PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1 Definición y delimitación de humedales

Actualmente no existe una definición de humedal mundialmente aceptada y las que existen suelen mezclar conceptos muy dispares desde el punto de vista ecológico. Estas definiciones están condicionadas por los objetivos de las acciones a desarrollar o por el campo profesional de los investigadores (Consejería de Medio Ambiente de las Islas Baleares, 2007).

Las definiciones pueden agruparse en tres tipos: estratégicas o formales, científicas y legales (CMAJA, 2002):

**1. Estratégicas o formales:** No tienen un contenido científico y son utilizadas principalmente por instituciones para desarrollar programas relacionados con una situación puntual o específica (p.e. protección de aves, etc.). Utilizan como criterio los componentes visuales básicos. No emplean criterios de identificación y delimitación.

El convenio Ramsar, que tiene proyección internacional, utiliza este tipo de definición. Concretamente, Ramsar describe en sus artículos 1 y 2 lo que considera humedal:

Art. 1. *“Se considerarán humedales las extensiones de marismas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de agua sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de los seis metros”.*

Art. 2. *“Además podrán comprender zonas de bordes fluviales o de costas adyacentes al humedal, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”.*



*Figura 2. Marismas de Doñana (Huelva)*

**2. Científicas:** Se basan en el conocimiento ecológico y el funcionamiento hidrológico de los humedales, con mayor o menor incidencia en alguno de estos aspectos. Emplean criterios científicos para identificar y establecer sus límites.

En 1993, el *National Research Council* (NRC) de EEUU, creó un comité multidisciplinar de expertos que en 1995 estableció una definición de referencia, que sirve de base para cualquier tipo de programa relacionado con investigación y conservación de los humedales (inventario, clasificación, identificación, delimitación, evaluación, legislación).

La definición de referencia adoptada por el Comité del NRC fue:

*“Un humedal es un ecosistema que depende de una constante o recurrente inundación con aguas poco profundas o en saturación en o cerca de la superficie del substrato. Las características esenciales mínimas de un humedal son la inundación o saturación recurrente en o cerca de la superficie del terreno y la presencia de características físicas, químicas y biológicas reflejo de la inundación o saturación recurrente. Las características comunes del diagnóstico son suelos hídricos y vegetación higrófila. Estas características estarán presentes excepto donde factores fisicoquímicos, bióticos o antrópicos específicos los han eliminado o impedido su desarrollo”.*

González Bernáldez y Montes (1989) desarrollaron para España una definición científica con una base ecológica general, que se adecuaba a las características ecológicas globales de los humedales españoles, la mayoría de los cuales pertenecen al dominio climático mediterráneo. Esta definición, con algunas modificaciones, sirvió de base para la definición de referencia adoptada por el Inventario de Lagos y Humedales de España, de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH):

“Un humedal es una unidad funcional del paisaje que no siendo un río, ni un lago ni el medio marino, constituye en el espacio y en el tiempo una anomalía hídrica positiva respecto a un entorno más seco. El exceso de humedad debe ser lo suficientemente importante para afectar a los procesos físicos, químicos y biológicos del área en cuestión. Estas unidades territoriales se caracterizan básicamente por contener suelos hídricos y vegetación higrófila, además de poseer una fauna, microorganismos y unos usos humanos diferentes a la de los espacios adyacentes”.

Bajo esta definición científica, se incluye (figura 3):

1. Aquellos casos en los que existe una lámina de agua permanente el tiempo suficiente como para que se desarrollen organismos (microorganismos, vegetación, fauna) estrictamente acuáticos. A estos humedales se les denominan formaciones palustres.
2. Aquellos paisajes que consisten simplemente en la presencia de una mayor humedad edáfica, lo que permite el desarrollo de suelos y plantas diferentes. González Bernáldez y Montes (1989) han propuesto para designar este tipo de sistemas el término criptohumedal, es decir, humedal oculto o poco aparente, que abarca los bosques de galería, carrizales, juncales, prados húmedos, etc., en los que, aunque la presencia de agua no es visible, sí son sus efectos en forma de comunidades de vegetación freatofítica.

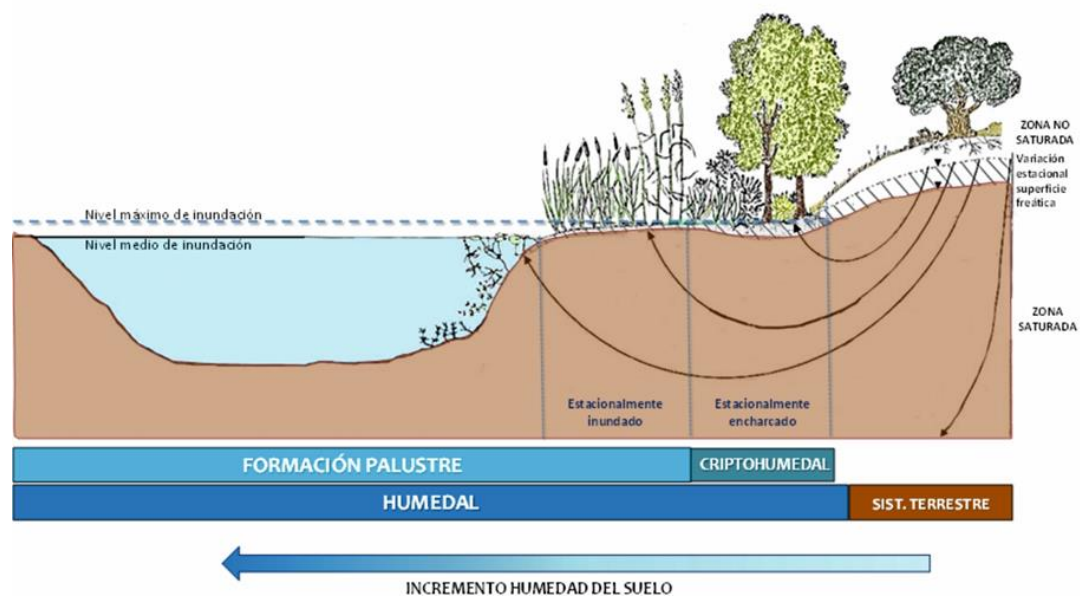


Figura 3. Esquema Básico de un humedal (Fuente: Guía Virtual Nueva Cultura del Agua)



*Figura 4. Criptohumedal de la Dehesa de Arriba (Torrejón del Rey, Guadalajara)*

**3. Legales:** Desde la entrada en vigor de la Ley de Aguas en 1985 y en 1986 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, España es uno de los pocos países, junto con Estados Unidos (NRC, 1995), que cuenta en su legislación con una definición legal de humedal. La definición que figura en la Ley de Aguas, es una definición formal o estratégica que coincide en lo sustancial con la del Convenio Ramsar, excluyendo las zonas de aguas marinas. No sólo engloba los humedales en el sentido de ecosistema, sino otros elementos con láminas de agua, incluidos los artificiales (denomina al conjunto zonas húmedas).

La Ley de Aguas a través de su modificación y el posterior texto refundido, (TRLA), entiende por Zona Húmeda en su art. 111.1: “*Las zonas pantanosas o encharcadizas, incluso las creadas artificialmente, tendrán la consideración de zonas húmedas.*”

Pero este concepto se concreta en el art. 275.1 del Real Decreto del Dominio Público Hidráulico (RDPH):

a) *Las marismas, turberas o aguas rasas, ya sean permanentes o temporales, estén integradas por aguas remansadas o corrientes y ya se trate de aguas dulces, salobres o salinas, naturales o artificiales.*

b) *Las márgenes de dichas aguas y las tierras limítrofes en aquellos casos en que, previa la tramitación del expediente administrativo oportuno, fuera así declarado, por ser necesario para evitar daños graves a la fauna y flora.*

La Ley de Aguas no considera zonas húmedas a los lagos, lagunas y charcas. Jurídicamente, y empleando los criterios de tamaño y origen, considera a los lagos y lagunas como masas de

agua permanente, no marinas, y de origen natural, siendo la laguna de menor tamaño que el lago. Sus lechos se consideran como partes integrantes del Dominio Público Hidráulico, con las consecuencias legales y de gestión que esto conlleva. Sin embargo las charcas, diferenciadas de los lagos y lagunas en la Ley de Aguas, por ser depósitos de agua de menor tamaño y de origen natural o artificial, si están en una propiedad privada, se considerarán como parte integrante de las mismas (art. 10 del TRLA).

La definición legal española, al centrarse en la conservación de las aves acuáticas, no considera como zonas húmedas algunos de los tipos hidrológicos y ecológicos más frecuentes y característicos del patrimonio natural andaluz, es decir los criptohumedales o determinadas formaciones palustres, tales como las pequeñas masas de agua, lagunas temporales, lagunas salinas, ramblas etc.



*Figura 5. Laguna Dulce de Zorrilla (Espera, Cádiz)*

La utilización de las definiciones formales o estratégicas y legales en el ámbito científico o de gestión, en especial en lo referente a identificación, inventario y delimitación de humedales, queda limitada por no basarse en un concepto ecológico del humedal sino en un tipo de unidad paisajística o como hábitat característico de especies singulares y por utilizar como elementos de definición de humedal términos que tienen distintos significados según los países e incluso regiones.

La principal consecuencia derivada de la ausencia de una base científica en las definiciones formales o legales es la imposibilidad de disponer de criterios objetivos para identificar si un determinado espacio, es o ha sido, hidrológica y ecológicamente, un humedal. Se hace difícil

igualmente desarrollar programas detallados de evaluación funcional y clasificación ecológica, así como llevar a cabo las actividades de inventario y delimitación de humedales.

### **3.2 La definición científica de humedal en la realización de inventarios, evaluación y monitoreo de humedales**

En base a lo expuesto en el apartado anterior es indispensable poseer una definición científica que refleje el concepto ecológico de humedal para poder elaborar, con objetividad y eficacia inventarios de humedales. En esa línea la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio desarrolló el Plan Andaluz de Humedales (PAH), documento marco para la planificación, ordenación y gestión de los humedales andaluces, en el que han participado científicos y técnicos vinculados profesionalmente a las zonas húmedas y a la gestión de especies amenazadas.

El PAH ha adoptado una definición, de carácter científico, basada en la desarrollada por el NCR (1995) en Estados Unidos, introduciendo una serie de matices para adaptarla a las características propias del rico y variado patrimonio de humedales que posee Andalucía.

*“Un humedal es un ecosistema o unidad funcional de carácter predominantemente acuático, que no siendo un río, ni un lago, ni el medio marino, constituye, en el espacio y en el tiempo, una anomalía hídrica positiva respecto a un entorno más seco. La confluencia jerárquica de factores climáticos e hidrogeomorfológicos, hace que se generen condiciones recurrentes de inundación con aguas someras, permanentes, estacionales o erráticas y/o condiciones de saturación cerca o en la superficie del terreno por la presencia de aguas subterráneas, lo suficientemente importantes como para afectar a los procesos biogeofísicoquímicos del área en cuestión. La característica esencial mínima para diagnosticar la existencia de un humedal es la inundación con aguas someras (formación palustre) o la saturación recurrente cerca o en la superficie del terreno (criptohumedal); lo que condiciona otras características fundamentales de apoyo al diagnóstico, que son la presencia de suelos hídricos y/o vegetación higrófila. Generalmente, estas propiedades se traducen también en la existencia de unas comunidades especiales de microorganismos y fauna, así como en aprovechamientos humanos diferentes y en un paisaje con un elevado grado de calidad visual respecto a su entorno”.*

Por tanto los humedales no son siempre ecotonos entre diferentes sistemas ecológicos, sino que también constituyen formaciones palustres o criptohumedales discretos en el territorio, dando lugar a unidades más húmedas en un entorno seco (Tiner, 1999).

En definitiva, los humedales se caracterizan básicamente por tres hechos fundamentales: la presencia de agua en la superficie del terreno o cerca de ésta con una permanencia y recurrencia

determinadas; la presencia de unos suelos característicos formados a partir de esas condiciones de exceso de humedad (suelos hidromorfos); y la presencia de unas comunidades vegetales y/o animales características adaptadas a las condiciones de saturación y/o permanencia de una lámina de agua (CMAJA, 2002). Estas condiciones pueden concurrir las tres al mismo tiempo o estar presente una o dos de ellas.

El PAH considera tres componentes fundamentales para determinar si un espacio entra dentro del concepto ecológico establecido de humedal: el agua, la cubeta (incluyendo el modelado y las formaciones superficiales) y los organismos (biota).

De los tres componentes considerados, la definición reconoce que es el agua la componente esencial en la determinación de la integridad ecológica de un ecosistema humedal. Estos componentes son evaluados a través de diferentes criterios, indispensables para identificar y delimitar un humedal:

a. Hidrológicos: relacionados con la existencia de una fuente de agua (superficial o subterránea) y con la ocurrencia de la inundación o de la saturación del suelo.

b. Geomorfológicos: relacionados con la caracterización del modelado de su cubeta que permite la presencia de agua en superficie; o propicia la máxima saturación por debajo de la misma y de los depósitos asociados con el medio sedimentario palustre

c. Edafológicos: relacionados con el desarrollo de formaciones edáficas muy específicas (suelos hídricos), y con una determinada presencia de agua en los perfiles, lo que condiciona la evolución del hierro, la materia orgánica, etc.

d. Biológicos: relacionados con la composición y estructura de poblaciones y comunidades de organismos altamente comprometidos con los procesos hidrogeomorfológicos y edafológicos característicos de los humedales.

Para desarrollar actuaciones de gestión y conservación adecuadas es fundamental realizar una tipificación de los humedales, es decir, conocer la génesis y el funcionamiento hidrológico. Los factores que se deben tener en cuenta para la tipificación de los humedales son:

1. Modo de alimentación: agua superficial o subterránea;
2. Modo de vaciado: modo principal de evacuación de agua de la cubeta o el suelo;
3. Hidroperiodo: frecuencia y persistencia de la presencia de agua en la cubeta o de saturación del suelo;
4. Tasa de renovación del agua: % respecto al volumen almacenado en la cubeta. Precisa cuantificar elementos del balance hídrico;



5. Hidroquímica: valores característicos de la salinidad o mineralización total del agua en la cubeta, así como la variabilidad temporal/espacial de ambos;
6. Hidrodinámica: configuración de los flujos dominantes en la cubeta y entre ésta y el terreno.

### **3.3 Bases científicas de la teledetección**

En los últimos años, la teledetección ha demostrado ser una buena herramienta para supervisar y evaluar la superficie de la Tierra. Esta tecnología se basa en la aplicación de técnicas de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. Los satélites de observación terrestre permiten la monitorización eficiente y fiable del medio ambiente a escala mundial, regional y local.

La teledetección espacial está siendo empleada como complemento y no como un sustituto, a estudios sobre el medio ambiente: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, incendios, producción agrícola, usos del suelo, planificación urbana, etc.

El desafío de conservar la biodiversidad, el funcionamiento ecosistémico y los servicios ambientales exige aproximaciones novedosas tanto para conocer mejor como para gestionar mejor los sistemas ecológicos (Cabello & Paruelo, 2008) y es la teledetección quien permite incorporar a este aspecto la posibilidad de estudiar los sistemas ecológicos a escalas espaciales y temporales distintas a las que se acceden desde experimentos controlados, los cuales son también necesarios e imprescindibles, pero a veces insuficientes.

### **3.4 La teledetección en la elaboración de inventarios, evaluación y monitoreo de humedales**

La gran variabilidad tipológica, geográfica y temporal de los humedales supone un problema en la realización del inventario, evaluación y monitoreo por lo que la Convención de Ramsar recomienda el uso de la teledetección para la elaboración de inventarios de humedales.

El aumento de la disponibilidad de las imágenes satélites y la puesta en funcionamiento de nuevos satélites y sensores están abriendo la posibilidad de analizar las tendencias del cambio de los humedales y otras características de los humedales con menor esfuerzo humano y mayor resolución temporal. Además, su utilización puede ser una alternativa viable y rápida de acceder a

información espacial extensa de lugares inaccesibles, haciendo de la percepción remota una herramienta invaluable para la identificación de humedales.

Con el objetivo de ayudar a los miembros de la Convención Ramsar y a los gestores de los humedales en el cumplimiento de las obligaciones impuestas en esta Convención, en los últimos años se han desarrollado varios proyectos enfocados hacia este propósito: la realización del inventario y evaluación de humedales, algunos de los cuales utilizan técnicas de observación de la Tierra. Éstos incluyen:

- El desarrollo y la elaboración de la Iniciativa para los Humedales Mediterráneos (MedWet) *Inventory, assessment and monitoring of Mediterranean Wetlands: Mapping wetlands using Earth Observation techniques*<sup>6</sup> (Fitoka & Keramitsoglou, 2008).

- El desarrollo de la metodología de Inventario de Humedales de Asia, desarrollado en respuesta al Marco de Ramsar para el inventario de humedales (Resolución VIII.6)<sup>7</sup> (Watkins & Parish, 1999).

- La primera fase de un proyecto de inventario de humedales Pan-europea (Nivet & Frazier, 2004) a cargo de *Wetlands International* y RIZA, Países Bajos.

- *Kyoto & Carbon Initiative*, creada en 2000, y coordinada conjuntamente por la Agencia Espacial Japonesa (JAXA) y el Centro de Investigación de la Observación de la Tierra (EORC), con el objetivo de atender las necesidades de información de los convenios ambientales internacionales, incluida la Convención de Ramsar<sup>8</sup>.

- TESEO (*Treaty Enforcement Services using Earth Observation*) y GlobWetland, proyectos de la Agencia Espacial Europea (ESA), en colaboración con la Secretaría de Ramsar, destinados a desarrollar un servicio de información basado en teledetección para apoyar a los gestores de humedales y a las autoridades nacionales en el proceso de responder a los requerimientos de la Convención de Ramsar<sup>9</sup>.

- SWOS (*Satellite-based Wetland Observation Service*), proyecto H2020 de reciente iniciación, financiado por la Comisión Europea, cuyo objetivo es ayudar a los gestores de los

---

<sup>6</sup> [www.medwet.org](http://www.medwet.org)

<sup>7</sup> [http://www.wetlands.org/Portals/0/publications/Report/WI\\_GRoWI-Asia\\_1999.pdf](http://www.wetlands.org/Portals/0/publications/Report/WI_GRoWI-Asia_1999.pdf)

<sup>8</sup> <http://www.eorc.jaxa.jp/en/>

<sup>9</sup> [www.globwetland.org/](http://www.globwetland.org/)

humedales con información y control de las obligaciones de las políticas ambientales a diferentes escalas.

De todos estos proyectos, Globwetland y SWOS merecen especial atención por ser proyectos orientados al usuario, basados en el análisis de las necesidades del usuario final. Globwetland fue llevado a cabo entre los años 2003 y 2007 e incluyó como área de estudio 50 humedales distribuidos en 21 países en todo el mundo. Contó con la colaboración directa de autoridades de conservación y gestión de los humedales internacionales y locales y con los usuarios.

Los productos se definieron durante un proyecto de viabilidad conocido como TESEO iniciado en 2001, por la ESA, y cuyo objetivo fue explorar las capacidades de la tecnología EO. Como consecuencia de los resultados prometedores del proyecto TESEO y del interés de la comunidad de usuarios, la ESA financió un proyecto más amplio, GlobWetland, con el fin de consolidar los resultados obtenidos en el proyecto TESEO.

El principal objetivo del proyecto fue desarrollar un conjunto de productos de Geoinformación que pudiera ser comparable en todo el mundo, lo que permitiría a los gestores de humedales contar con información descriptiva detallada del humedal y de sus alrededores y a las autoridades de conservación y gestión de humedales nacionales e internacionales la posibilidad de disponer de un conjunto de datos homogéneos que puedan proporcionar una base sólida para el desarrollo de un inventario mundial de los humedales conforme a lo dispuesto por la Convención de Ramsar.

Entre los productos que se generaron en este proyecto cabe mencionar, además de algunos productos específicos, los productos básicos comunes en las 50 zonas de humedales seleccionadas, que incluye tres capas de información:

1. Mapa de usos y coberturas del suelo, incluyendo los tipos de humedales.
2. Mapa de detección de cambios de usos del suelo.
3. Mapa de las variaciones del nivel de la lámina de agua.

Todos los productos básicos fueron validados mediante la comparación con datos in situ para asegurar la precisión requerida por los gestores de humedales.

El proyecto GlobWetland permitió demostrar que se pueden delimitar los humedales con éxito gracias a las técnicas de procesamiento a un costo razonable. Para ello, en la planificación y adquisición de datos satélites se deben tener en cuenta la escala deseada, el tamaño del área a cartografiar y el presupuesto disponible.

El proyecto centró la mayor parte de sus esfuerzos en la aplicación de la teledetección "tradicional", que aporta datos sobre el uso y coberturas del suelo, la detección de cambios de los usos del suelo y mapas de las variaciones de la lámina de agua.

Por otra parte, se desarrolló una herramienta Web-SIG<sup>10</sup> que permite la visualización de los resultados obtenidos en los 50 humedales analizados (figura 6) y proporciona acceso directo a la base de datos de Ramsar para que la comunidad científica pudiese consultar los datos. Esta herramienta se considera la base para el desarrollo de una base de datos mundial de geoinformación para los humedales en apoyo de la Convención de Ramsar.

El proyecto SWOS (2015-2018), cuya implementación es muy reciente, tiene una base conceptual muy similar a GlobWetland: dar soporte y facilitar la tarea de los gestores de humedales, a diferente escala, respecto a sus obligaciones asociadas a las políticas ambientales con:

- Lanzar un proceso consultativo para destacar las necesidades derivadas de políticas y del seguimiento, y desarrollar el SWOS *service* con usuarios para usuarios;
- Generar productos de mapeo e indicadores sobre ecosistemas de humedales para mejorar la respuesta a las obligaciones de información y monitoreo derivadas de políticas relevantes a diferentes escalas;
- Proporcionar *trainings* para la transferencia de conocimiento sobre el uso de tecnologías de observación terrestre y del SWOS *service* para la gestión de humedales;
- Generar una base de conocimiento, contribuyendo al desarrollo del *Global Wetland Observation System*;
- Permitir medidas de conservación y restauración basadas en información para asegurar el “uso sabio” de humedales.

---

<sup>10</sup> <http://webgis.jena-optronik.de/>



Figura 6. Visor WebGis de los resultados del proyecto GlobWetland. Delimitación de los humedales de Marruecos (en gris)

## 4 ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se fundamenta en la validación de la HR de humedales a dos escalas: escala nacional (España) y a escala regional (Andalucía).

El territorio español presenta una gran variedad de ambientes acuáticos naturales y seminaturales, y si bien no son relevantes a nivel internacional en cuanto a su extensión o caudal, algunos de ellos son únicos en cuanto a su funcionamiento y a la presencia de numerosas especies de animales y plantas raras, endémicas o amenazadas, o son lugares clave dentro de las rutas migratorias de numerosas aves (MIMAN, 2000).

La cuenca mediterránea destaca por poseer una elevada variedad de zonas húmedas. Entre los humedales que componen su morfología se encuentran estuarios, deltas, marismas, lagos, oasis, llanuras de inundación, salinas naturales y artificiales y embalses (Pearce & Crivelli, 1994). A pesar de esta heterogeneidad, los humedales mediterráneos comparten una serie de características comunes, como por ejemplo, la temporalidad del régimen hidrológico: muchos humedales sufren grandes fluctuaciones en los aportes de agua llegando a secarse durante la época estival. Este carácter estacional está influido por el clima mediterráneo: estaciones muy marcadas, veranos secos, régimen pluviométrico irregular, etc. Otras características son: topografía muy plana o ligeramente deprimida y cercanía a la superficie del nivel freático. Los humedales de la cuenca mediterránea destacan por su gran valor ecológico, social y económico. Ecológicamente, los humedales mediterráneos cumplen una función especial, por su posición estratégica, como refugio para las aves durante sus rutas migratorias. De igual forma, se ha documentado su relevancia en el mantenimiento del microclima, la estabilización de la línea de costa y el control de inundaciones<sup>11</sup>.

---

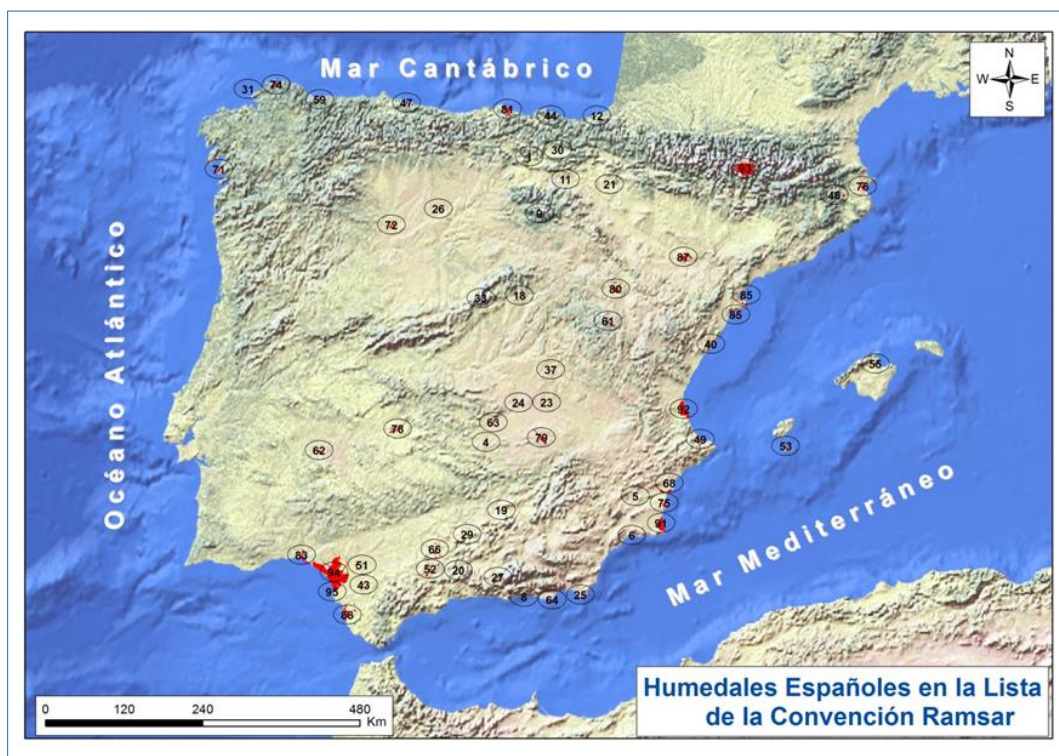
<sup>11</sup>[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/1\\_consejeria\\_de\\_medio\\_ambiente/dg\\_gestion\\_medio\\_natural/biodiversidad/static\\_files/habitat\\_y\\_paisaje/manual\\_humedales/04.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/1_consejeria_de_medio_ambiente/dg_gestion_medio_natural/biodiversidad/static_files/habitat_y_paisaje/manual_humedales/04.pdf)



*Figura 7. Laguna de Fuente de piedra seca durante la época estival. Forma parte de su ciclo hidrológico natural*

La Lista de Humedales de Importancia Internacional, también conocida como "Lista de Ramsar", es una relación de las zonas húmedas más importantes del mundo desde el punto de vista de su interés ecológico y para la conservación de la biodiversidad.

España cuenta, a día de hoy, con setenta y cuatro humedales incluidos en el Convenio Ramsar (figura 8). Aproximadamente el 50% de estos humedales son costeros y la otra mitad son continentales. El 73% de los humedales Ramsar localizados en el territorio español presentan una gran dependencia de las aguas subterráneas de los acuíferos del entorno (Bernués, 1998).



*Figura 8. Humedales españoles inscritos en la lista del Convenio Ramsar*

España es uno de los países europeos con mayor número de humedales, con casi 2.500 humedales catalogados.

El Inventario Español de Zonas Húmedas cuenta, con 320 espacios que ocupan una superficie de 170.806 hectáreas, distribuidas en las seis comunidades autónomas que han contribuido en su elaboración y lideradas por Andalucía, que cuenta con 117 humedales (figura 9)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> <http://www.magrama.gob.es/>





*Figura 9. Humedales incluidos en el Inventario Español de Zonas Húmedas (Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)*

La Comunidad autónoma andaluza posee el patrimonio natural de humedales litorales e interiores más ricos y mejor conservados de España y de la Unión Europea, albergando el 17% del total de las zonas húmedas españolas, que en superficie supone el 56% de la extensión total de las áreas inundables españolas<sup>13</sup>. Estos enclaves cuentan con una alta diversidad de tipos ecológicos, algunos como los de las lagunas endorreicas hipersalinas, únicos en el ámbito de la Unión Europea.

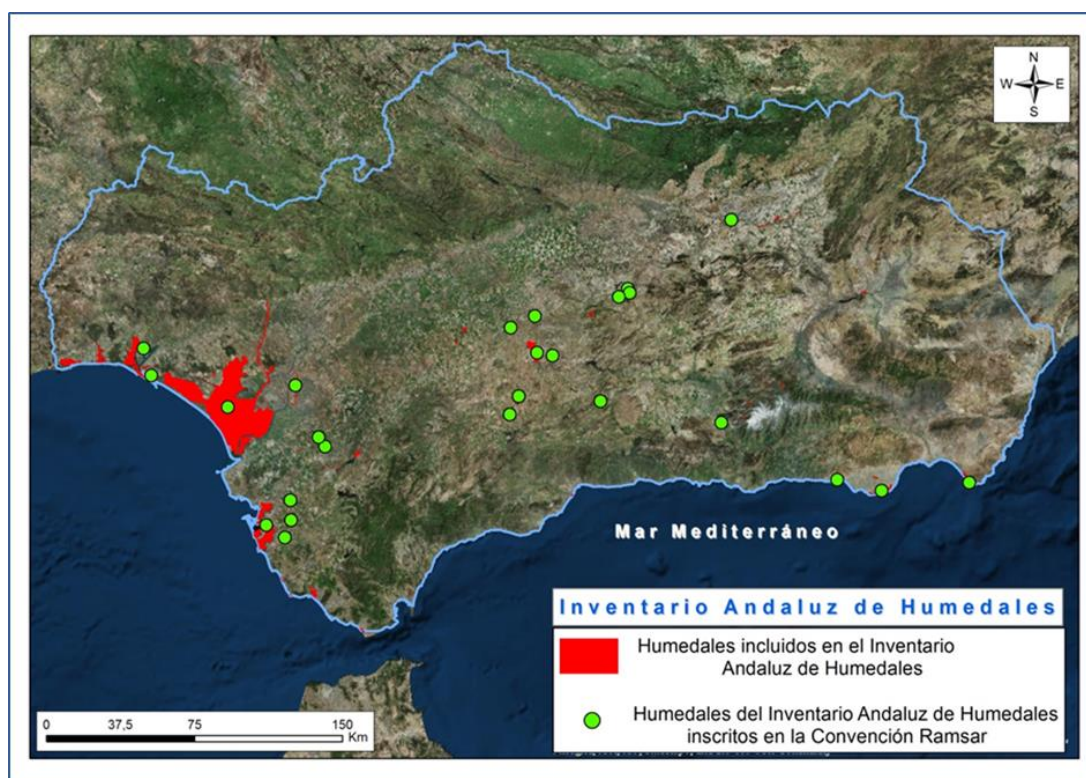
En el PAH se recoge un inventario que incluye como punto de partida las 189 zonas húmedas que se localizan en los actuales espacios naturales protegidos y establece un procedimiento para la incorporación de nuevos enclaves.

La creación del Inventario de Humedales de Andalucía (IHA) pretende recoger catalogada y sistemáticamente todos los humedales existentes que tengan un especial valor natural, ofreciendo dicha información a los ciudadanos interesados en conocer sus características. Se constituye como

<sup>13</sup><http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnnextoid=fb032d2d97e3410VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=2229b8f8606b8210VgnVCM10000055011eacRCRD>

instrumento al servicio de las funciones de planificación y programación de la Consejería en materia de espacios naturales.

El IHA cuenta en la actualidad con 189 humedales (figura 10), con una superficie de 136.790.85 hectáreas, de los cuales 25 están incluidos en la Lista Ramsar. Estas áreas suponen además el 44,7% de los enclaves incluidos en la Red de Espacio Naturales Protegidos de Andalucía<sup>14</sup>.



*Figura 10. Humedales incluidos en el Inventario Andaluz de Humedales y en la Convención Ramsar*

---

<sup>14</sup> <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web>

## **5 FUENTE DE DATOS Y METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE LA CAPA HR DE HUMEDALES**

### **5.1 Fuente de datos**

El proceso de validación de las capas de humedales del Programa Copérnico consiste en la realización de un análisis comparativo de la capa objeto de estudio (HRL Humedales) y una o varias capas de referencia. En este apartado se presentan las fuentes de información cartográfica que potencialmente pueden constituir capas de referencia para la validación de las HRL de Humedales, tanto a nivel nacional como autonómico. Esta información cartográfica se puede agrupar en dos grupos de acuerdo con la fuente geográfica:

1. Fuente de información directa: cartografía de humedales. En este grupo se incluyen las bases cartográficas cuyo objetivo es la identificación y mapeo de los humedales. Existen únicamente dos capas de información geográfica de humedales, el Inventario Español de Zonas Húmedas (IEZH) a escala nacional, y el Inventario de Humedales de Andalucía (IHA) a escala regional.

2. Fuente de información indirecta: base cartográfica auxiliar. Este grupo alberga aquellas cartografías que no son específicamente de humedales pero que, a partir de un proceso de análisis y selección es posible derivar una cartografía de humedales. Incluye cualquier fuente de información (mapas topográficos, mapas de ocupación y usos del suelo etc.,).

A continuación se realiza una descripción detallada de las fuentes de información de humedales, tanto directas como indirectas, que existen a escala nacional (España) y a escala regional (Andalucía) y que potencialmente podrían utilizarse como capas de referencia en el proceso de validación de las capa de HR humedales.

#### **5.1.1 Inventario Español de Zonas Húmedas (IEZH)**

Cobertura nacional, elaborada en 2012, a escala 1.50:000 y actualizada en 2014. El IEZH se configura como un instrumento al servicio de la conservación de los humedales y recoge información sobre el número, extensión y estado de conservación de aquellas zonas húmedas que están situadas en territorio nacional. El Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente es el encargado de elaborar y mantener actualizado el IEZH, con la información suministrada por las Comunidades Autónomas pero a día de hoy, tan sólo 6 Comunidades Autónomas han contribuido a su elaboración.

A continuación se describen las características que debe reunir un espacio para ser inscrito en el Inventario nacional de zonas húmedas:

1. Tener naturaleza de humedal, entendiendo por tal las unidades ecológicas funcionales que actúen como sistemas acuáticos o anfibios (al menos temporalmente), incluyendo:

- a. Las marismas, turberas o aguas rasas, ya sean permanentes o temporales, estén integradas por aguas remansadas o corrientes, y ya se trate de aguas dulces, salobres o salinas, naturales o artificiales. Las márgenes de dichas aguas y las tierras limítrofes en aquellos casos en que, previa la tramitación del expediente administrativo oportuno, fuera así declarado como tal, por ser necesario para evitar daños graves a la fauna, a la flora o a la propia dinámica del humedal.
- b. Las áreas costeras situadas en la zona intermareal.

2. Poder ser clasificado en alguno de los tipos señalado a continuación:

– Humedales costeros

- Aguas marinas someras permanentes de profundidad inferior a seis metros en marea baja (Código Ramsar A).
- Lechos marinos submareales; incluye praderas de algas y fanerógamas marinas (Código Ramsar B).
- Bancos mareales de lodo, arena o suelos salinos (Código Ramsar G).
- Sistemas arenosos costeros; incluye sistemas dunares con depresiones inundadas, barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena y playas (Código Ramsar E).
- Estuarios y deltas; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas (Código Ramsar F).
- Marismas y esteros mareales; incluye marismas y praderas halófilas, zonas inundadas por agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea (Código Ramsar H).
- Estanques costeros o albuferas salobres o salados (Código Ramsar J).
- Estanques y marismas costeros de agua dulce (Código Ramsar K).

– Humedales interiores

- Tramos naturales de cursos de agua (todos los tipos) (Códigos Ramsar M, N).  
Los cursos de agua no pueden considerarse humedales en el sentido estricto y, en consecuencia, para que alguno de ellos sea incluido en el Inventario nacional de zonas húmedas deberá tener expresamente atribuida la condición de zona húmeda en virtud de una norma específica de protección.

- Lagos, lagunas charcas, esteros y pantanos (naturales), salinas, salobres alcalinas o de agua dulce, permanentes, estacionales o intermitentes (Códigos Ramsar O, P, Q, R, Sp, Ss, Tp, Ts).
- Turberas (Código Ramsar U).
- Humedales y lagos de montaña; incluye praderas húmedas de montaña, charcas, lagunas originadas por el deshielo y lagos de origen glaciario (Código Ramsar Va).
- Humedales con vegetación arbustiva; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva (Código Ramsar W).
- Humedales boscosos de agua dulce; incluye bosques pantanosos de agua dulce y bosques inundados estacionalmente (Código Ramsar Xf).
- Hídricos subterráneos en karst o en cuevas (Código Ramsar Zk).
- Humedales artificiales o modificados
  - Estanques de acuicultura de interés ecológico (Código Ramsar 1).
  - Estanques artificiales de interés ecológico; incluye grandes estanques de granjas, graveras y excavaciones abandonadas, estanques de depuradoras, balsas de riego (Código Ramsar 2, 7, 8).
  - Salinas (Código Ramsar 5).
  - Embalses o zonas de embalses de interés ecológico y que funcionan como humedales (Código Ramsar 6). En general, los embalses no pueden considerarse humedales en el sentido estricto y, en consecuencia, para que alguno de ellos o parte de alguno de ellos sea incluido en el Inventario nacional de zonas húmedas deberá tener expresamente atribuida la condición de zona húmeda en virtud de una norma específica de protección.
  - Tierras inundadas de interés ecológico; incluye arrozales y praderas inundadas (Código Ramsar 3, 4).
- Otros casos

Se podrá promover la inclusión en el Inventario nacional de zonas húmedas de otros humedales que, no cumpliendo las condiciones anteriores (bien por extensión bien por características), posean algún elemento natural de relevancia que justifique su inclusión.

### 5.1.2 Corine Land Cover, mapa de ocupación del suelo de España (CLC)

El CLC es una capa de referencia a nivel europeo de cobertura y uso del suelo en la mayoría de los estudios con base territorial. La técnica de desarrollo está basada en la fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat en falso color (combinación de bandas 453), utilizándose como apoyo otras bases de datos geográficas (mapas topográficos o temáticos relativos a la ocupación del suelo y ortofotografías aéreas, etc.). Constituye un producto gratuito, validado, homogéneo y maduro de la AEMA<sup>15</sup>.

Las siguientes clases de nomenclatura son las consideradas como humedales en el CLC:

- CLC 411: Humedales y zonas pantanosas. Terrenos bajos normalmente inundados de agua en invierno y más o menos saturados por agua durante todo el año. Esta clase incluye zonas no forestales de terrenos bajos inundados o con tendencia a inundarse por aguas frescas, estancadas o circulantes. Están cubiertas por vegetación poco leñosa, semileñosa o herbácea.
- CLC 412: Turberas y prados turbosos. Turberas compuestas fundamentalmente por musgos y materia vegetal en descomposición. Pueden estar explotadas o no.
- CLC 421: Marismas. Zonas bajas con vegetación, por encima de la línea de la marea alta, sujetas a inundaciones de agua de mar. A menudo se encuentran en proceso de relleno, siendo gradualmente colonizadas por plantas halófilas.
- CLC 422: Salinas. Salinas en uso o en proceso de abandono. Secciones explotadas para la producción de sal por evaporación. Son claramente diferenciables del resto de la marisma por el sistema de parcelación y diques.
- CLC 423: Zonas llanas intermareales. extensiones de barro, arena o roca generalmente sin vegetación entre las marcas de mareas altas y bajas. Cota 0 m en mapas.

Los lagos y lagunas se incluyen en la clase del CLC 500 (superficies de agua).

### 5.1.3 Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo de España (SIOSE)

El SIOSE integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) cuyo objetivo es generar una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España a escala de referencia 1:25.000 (año 2005), integrando la información disponible de las comunidades

---

<sup>15</sup> <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3>

autónomas y la Administración General del Estado. La producción se realiza de manera descentralizada en cada comunidad autónoma, dividiéndose en diferentes fases para conseguir un producto final homogéneo para todo el territorio nacional. El SIOSE se obtuvo mediante fotointerpretación sobre imágenes de satélite SPOT5 como referencia básica del proyecto, utilizándose como apoyo otras bases Ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

El SIOSE considera humedales los siguientes tipos de coberturas:

- Humedales continentales. Zonas con morfología que propician la acumulación de agua, inundadas o con tendencia a inundarse durante gran parte del año por aguas dulces o salobres y con una vegetación específica formada por arbustos pequeños, especies semileñosas o herbáceas (zonas pantanosas, turberas, salinas continentales).
- Humedales Marinos: Los humedales costeros son ecosistemas en los que entran en contacto, en mayor o menor medida, el agua de origen continental con el agua marina. Son zonas sumergidas por mareas altas en alguna fase del ciclo anual de mareas (marismas y salinas).

Los lagos y lagunas juntos con los ríos, embalses, balsas de riego etc., se incluyen dentro de la categoría cobertura de agua.

#### **5.1.4 Base Cartográfica Numérica 1:25.000 (BCN25)**

El BCN25 que cubre toda España y está formada a partir de los ficheros digitales del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000, de los que se extrae la geometría original de los elementos eliminando la simbología e información auxiliar.

Para la generación de la BCN25, los datos se capturan directamente sobre el terreno o mediante técnicas indirectas de adquisición como la restitución fotogramétrica, digitalización sobre ortofotografías, etc., y la información contenida en la base de datos se actualiza, modifica o elimina con respecto a lo que existe en el terreno en el momento de la captura.

La BCN25 define como humedal el “terreno bajo y pantanoso que se inunda por las aguas del mar durante las mareas o por las de los ríos en sus crecidas”.

Incluye los siguientes tipos de humedales:

- Zonas encharcables: Zona inundable, de naturaleza irregular, cambiante y dinámica, y de una gran diversidad.
- Marismas: Llanura húmeda próxima al mar.

### **5.1.5 Inventario de Humedales de Andalucía (IHA)**

Cartografía en formato vectorial a escala variable en función de la fuente. La mayoría de ellos están digitalizados a escala 1:10.000 aunque las últimas actualizaciones se han digitalizado sobre 1:5.000 (2009).

Se crea y regula en el Decreto 98/2004, de 9 de marzo, y constituye un catálogo de naturaleza administrativa y carácter público de los humedales andaluces que tienen especial valor natural, ya sea de orden edafológico, geomorfológico, hídrico-químico, ecológico, biológico o cultural.

Para que un humedal sea susceptible de ser incluido como tal en el Inventario de Humedales de Andalucía, se tendrá en consideración que cumpla alguna de las características siguientes:

1. Que sean humedales que constituyan el hábitat de poblaciones o comunidades de organismos que se consideren de especial interés natural.
2. Que sean humedales de interés geológico, geomorfológico, biogeoquímico o cultural, o que presenten un gran valor por su rareza o representatividad.

Sobre la base de estas consideraciones se han establecido los siguientes criterios para la inclusión de nuevos humedales en el IHA:

1. Humedales (formaciones palustres y criptohumedales) funcionales, ya sean estacionales o permanentes, cuya cubeta sea de origen natural y tenga una superficie igual o superior a 0,5 ha.
2. Humedales naturales menores de 0,5 ha que constituyan el hábitat de poblaciones o comunidades de organismos de especial interés, ya sean estacionales o permanentes.
3. Humedales naturales, ya sean estacionales o permanentes, menores de 0,5 ha cuya integridad ecológica venga determinada por procesos morfodinámicos y/o biogeoquímicos de gran singularidad, que se traduzcan en componentes del geosistema y que presenten un gran valor por su rareza y/o representatividad (formaciones superficiales palustres particulares, dispositivos hidrológicos originales, micromodelados excepcionales, etc.).
4. Cuerpos de agua artificiales que cumplan uno o varios de los siguientes requisitos:
  - a. los criterios Ramsar específicos para aves acuáticas y peces (COP7, 1999)
  - b. que incluyan especies de aves, peces o mamíferos protegidas.

### **5.1.6 Capa de HRL de humedales**

La capa de alta resolución (HR) de humedales se trata de una capa binaria, en la que se representa la presencia o ausencia de humedales. En ella, se cartografían los humedales a partir



del procesamiento de imágenes satélite de referencia (IRS6/SP5, año 2006/2009/2012) e imágenes multitemporales (AWIFS, año 2011/2012). La descarga de esta información es totalmente gratuita y de libre distribución<sup>16</sup>, de acuerdo con la política de datos e información del programa Copérnico. Sin embargo, debido a que esta capa se encuentra en proceso de validación y aceptación por los Estados miembros, su descarga está temporalmente deshabilitada.

Según se detalla en el informe de definición y especificación de los productos GIO land<sup>17</sup>, la capa HR de humedales incluye:

- Los humedales asociados a cuerpos de agua permanentes
- Los humedales no asociados a cuerpos de agua permanentes
- Los humedales con vegetación (macrófitos) o sin vegetación
- Las turberas (con presencia de agua superficial)
- Los humedales costeros (marismas, salinas, pisos intermareales)

No considera como humedal:

- Anegamiento temporal de terrenos debido a la fusión de nieve o fuertes lluvias
- Superficies de agua permanentes (ríos, lagos, lagunas, estuarios, estanques de peces)
- Terrenos agrícolas de regadío, incluyendo campos de arroz

Los detalles y especificidades técnicas de esta capa se especifican en la siguiente tabla:

---

<sup>16</sup> <http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/view>

<sup>17</sup> “GIO land permanent grassland, wetland and water bodies: definitions and product specifications, Lot 6, 2013”. Este documento contiene las definiciones y especificaciones detalladas de los productos GIO land lot 6, pastos permanentes, humedales y cuerpos de agua. Fue creado en gran medida por INDRA, en estrecha colaboración y con aportes del equipo GIO land del EEA.

HUMEDALES	
<b>Humedales</b>	<i>Capa binaria que representa la presencia o ausencia de humedales con una resolución de 20 x 20 m.</i>
	<p><b>Valores de píxeles temáticos</b></p> <p>0: Ausencia de humedal</p> <p>1: Presencia de humedal</p> <p>254: Inclasificable (sin imagen de satélite disponibles, o presencia de nubes, sombras, o nieve)</p>
Metodología	
<p><i>Para resolver el problema del desarrollo estacional de las comunidades de vegetación de macrófitos que cubren los cuerpos de agua, se desarrolla el concepto del <b>Índice de Presencia de Humedales (WEPI)</b>. Se calcula un índice flotante (0 ... 1) en función a la frecuencia de ocurrencia de humedales (frecuencia de ocurrencia de vegetación de macrófitos) en una serie de imágenes temporales. El objetivo principal es la identificación de áreas con presencia constante de humedales (capa de "humedal permanente") que se caracteriza por presentar la mayor proporción de los valores de los humedales / imagen. Las zonas residuales que presentan valores de la relación humedal / imagen bajos o medios serán clasificados como "humedal temporal", mientras que todos los demás valores se eliminarán como hallazgos accidentales o errores de clasificación. Los humedales se clasifican principalmente en función a la presencia de agua, por lo tanto, las zonas "de agua temporal" se convertirá en una parte esencial de los productos de Humedales.</i></p>	
La clasificación de las imágenes de satélite se basa en:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Serie de imágenes temporales de alta resolución (3-8 imágenes con un intervalo de tiempo de 4-6 semanas).</li> <li>- Utilización de capas auxiliares (Modelo Digital de Elevaciones de la Unión Europea- UE-DEM-Impermeabilidad 2009) como filtros y máscaras espaciales.</li> <li>- Utilización de los parámetros biofísicos producidos a partir de Imágenes de HR (2006/2009/2012).</li> <li>- Utilización de capas soporte de Distribución de Humedales (WSDL) que contienen rangos de parámetros biofísicos calculados a partir de la serie de imágenes AWiFS 2011/2012.</li> <li>- Extracción automática de píxeles de humedales como máscaras binarias de una serie temporal de imágenes satelitales de alta resolución.</li> <li>- Cálculo del WEPI y post-procesamiento de la capa del WEPI para la obtención de una capa de Humedales permanentes (PWEL).</li> </ul>	

*Tabla 1. Especificaciones de la capa de HR de Humedales*

## 5.2 Metodología de producción de la capa de HR de humedales

La metodología que se ha seguido para la obtención de las capas HR de humedales está altamente ligada a la utilizada para la obtención de la HR de cuerpos de agua permanentes (otros de los productos de Copérnico). Esta metodología se basa en la generación de índices de humedad y de presencia de macrófitos a partir de una serie de imágenes temporales que permiten discernir las aguas temporales de las permanentes. Adicionalmente se incluyen datos auxiliares del modelo digital de elevaciones e impermeabilidad o sellado del suelo para el filtrado de errores de clasificación (sombras, edificios, bosques, etc.).

La siguiente figura resume de forma esquemática el proceso metodológico y los datos utilizados para la obtención.

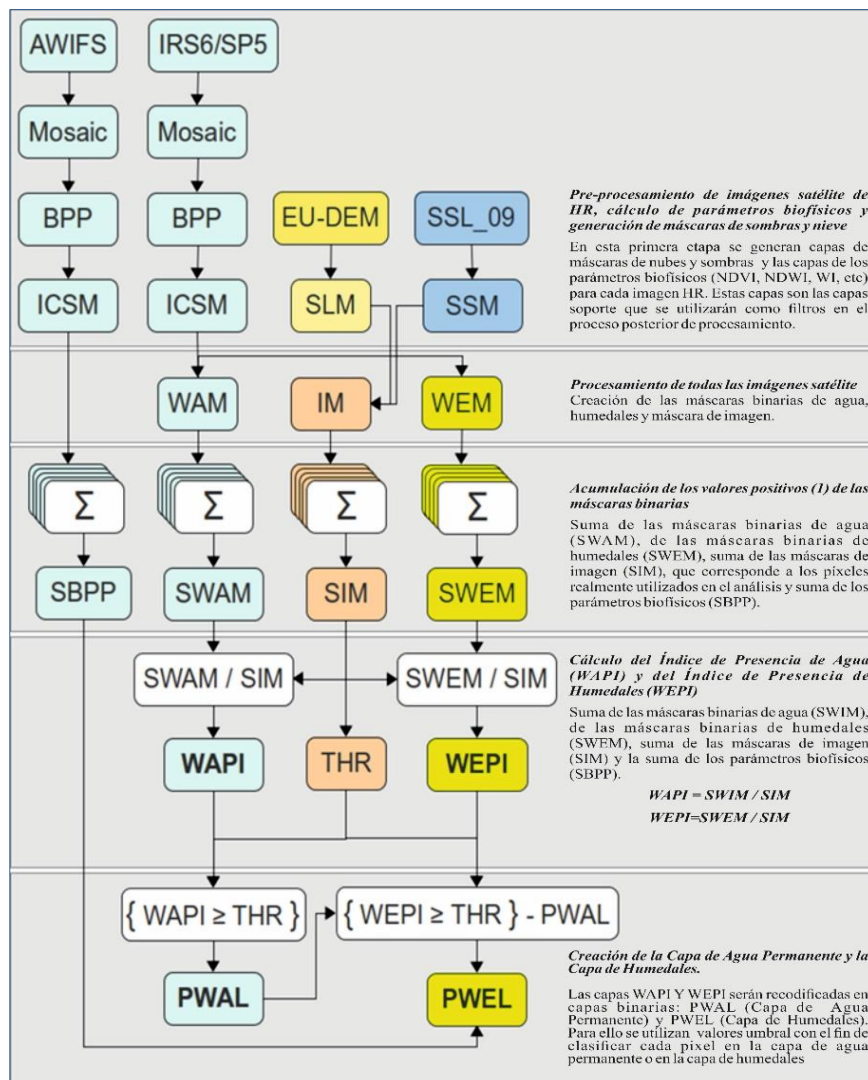











Figura 11. Proceso metodológico para la producción de las capas de HR de humedales. Ver tabla 2 para las definiciones de los acrónimos

<b>IRS6/SP5</b>	Imágenes satélite de alta resolución
<b>AWIFS</b>	Imágenes satélite de media resolución
<b>BPP</b>	Parámetros Biofísicos (Radianza, NDVI, NDWI,WI)
<b>NDVI</b>	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. Índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación
<b>NDII</b>	Índice de Infrarrojo de Diferencia Normalizada. Índice usado para estimar la variación de la humedad de la vegetación
<b>WI</b>	Índice de Humedad
<b>EU-DEM</b>	Modelo Digital de Elevaciones de la Unión Europea ( resolución 30m )
<b>SSL_09</b>	Mapa de sellado del suelo (Impermeabilidad 2009, resolución de 20m)
<b>SSM</b>	Máscara de sellado del suelo (impermeabilidad >20 %). Máscaras utilizadas para filtrar características como algunos edificios, roquedos etc.
<b>WAM</b>	Máscara raster binaria que indica la presencia de agua en una imagen separada
<b>WEM</b>	Máscara raster binaria que indica la presencia de los humedales (agua + vegetación adyacente ) en una imagen separada
<b>IM</b>	Máscara de imagen. Máscara raster binaria que cubre los valores no nulos en una imagen separada
<b>SWAM</b>	Suma de los valores de las máscaras de agua de todas las imágenes procesadas
<b>SWEM</b>	Suma de los valores de las máscaras de humedales de todas las imágenes procesadas
<b>SIM</b>	Suma de los valores de máscara de imagen desde todas las imágenes procesadas
<b>WAPI</b>	Índice de Presencia de Agua ( $WAPI = SWAM / SIM$ )
<b>WEPI</b>	Índice de Presencia de Humedales ( $WEPI = SWEM / SIM$ )
<b>PWAL</b>	Capa de Agua Permanente ( $PWAL = \{ WAPI \geq THR \}$ )
<b>PWEL</b>	Capa de Humedales ( $PWEL = \{ WEPI \geq THR \} - PWAL$ )
<b>THR</b>	Valor umbral de WAPI y WEPI para calcular PWAL y PWEL

*Tabla 2. Definiciones usadas en la metodología de producción de las capas de HR de humedales y cuerpos de agua permanente*

A continuación se muestran algunos ejemplos de las capas de HR (HR de humedales y cuerpos de agua permanente) proporcionadas por la AEMA, en versión preliminar, puesto que, como ya se ha comentado, se encuentra en fase de validación por los Estados miembro.

Imagen Google Earth	HRL humedales	HRL cuerpos de agua permanente
Parque Nacional de las Tablas de Daimiel		
		
Reserva Natural Laguna de Jarales		
		
Albufera de Valencia		
		
Embalse de la Viñuela		

*Tabla 3. Ejemplos de coberturas detectadas por las capas de HR de humedales y cuerpos de agua permanente*

### 5.3 Homogenización de la definición de humedal

La diversidad en la concepción y definición de los humedales en las diferentes fuentes de información existentes en la actualidad supone un hándicap para la realización de análisis comparativos y consecuentemente para la validación de la capa de HR de humedales. Esto constituye uno de los puntos débiles de cualquier estudio realizado respecto a las cartografía de humedales y es que es necesario un consenso internacional para la definición del concepto de humedal que abarque tanto el marco científico como gestor y que permita realizar de forma objetiva y armonizada trabajos de inventario, clasificación y delimitación de humedales.

En este trabajo, debido a que 1: la principal finalidad de las capas de HR es que puedan ser utilizadas en programas de conservación, gestión y manejo de humedales; 2: que cualquier estrategia sólida y efectiva de conservación de los humedales de un territorio, debe partir de una definición científica de humedal (CMAJA, 2002), se utiliza como definición de referencia la adoptada por el PAH (apartado 3.2).

El objetivo principal, es poder derivar un mapa de humedales a partir de las fuentes de información indirectas, mediante extracción de las unidades geográficas consideradas como humedal en la definición científica, para que la comparación sea posible. Cabe señalar que, excepcionalmente, no se adoptará la definición científica de humedal, cuando en el análisis comparativo de la capa de HR de humedales se utilice el CLC, ya que el informe de definición y especificación de los productos GIO land establece como criterio de validación homogéneo de la HR de humedales a nivel Europeo, la selección de las clases de usos y coberturas del suelo consideradas como humedales en esta capa (411,412, 421, 422 y 423).

## 6 PROCESOS DE VALIDACIÓN DE LA CAPA DE HR DE HUMEDALES

### 6.1 Concepto y tipos procesos de validación

El proceso de validación se puede definir, en un sentido práctico, como la correspondencia entre la información contenida en la capa a validar y la realidad del terreno. Se realiza con el objetivo de evaluar la calidad de las capas de información geográfica mediante comparación, en general, con una capa de referencia que normalmente son mapas ya existentes, fotografías aéreas o datos recolectados en campo.

La validación de los productos resulta de gran interés para la comunidad científica, tanto para los usuarios como para los productores de estos datos, ya que les permite conocer el grado de acuerdo espacial y temático con la realidad, y así tener criterios para la selección del producto más adecuado para un determinado estudio en una determinada región (Moreno & Chuvieco, 2009).

La validación de las capas de información geográfica se puede realizar por varios procedimientos. El más sencillo es una **validación cualitativa**, mediante la comparación visual de las capas de HR con ortofotografías, imágenes de muy alta resolución, fotografía satelital e incluso datos de campo. En este tipo de validación, el intérprete da por buenos los resultados si ofrecen una visión acorde con su conocimiento de la realidad.

El segundo método, consiste en realizar un análisis comparativo de superficies entre la capa a validar y las capas de referencia. Este método se denomina **validación no espacial** y, en el mejor de los casos, proporciona el grado de ajuste entre dos fuentes, pero no informa sobre dónde se presentan los errores.

El tercer método y el más adecuado para la validación es seleccionar una serie de muestras independientes que permitan generar una medida estadística más sólida. A partir de estas muestras independientes puede estimarse el error de la capa objeto de estudio, mediante algún estadístico, como el error medio cuadrático, o mediante una matriz de confusión. Al tratarse de un muestreo espacial, el resultado permite conocer no sólo el grado global de acierto, sino también en qué tipos de humedales se producen las confusiones. Estas validaciones se denominan **validaciones espaciales**, porque ofrecen una imagen del patrón espacial del error.

En el presente trabajo, se aplican los tres tipos de procesos de validación a escala regional, sin embargo, a escala nacional se ha realizado únicamente una validación no espacial de la capa de HR de humedales con el fin de obtener una visión general del nivel de detección de humedales

a dicha escala. Cabe señalar, que los resultados obtenidos en el proceso de validación cualitativa a escala regional son extrapolables a escala nacional.

La metodología aplicada deriva de un amplio trabajo previo de revisión bibliográfica que ha permitido seleccionar y combinar aquellas técnicas de validación consideradas más fructíferas, en cuanto a la información potencialmente extraíble.

## 6.2 Validación cualitativa

El proceso de validación cualitativa consiste en realizar un análisis comparativo visual de la información de la capa de HR de humedales y la realidad del terreno mediante fotointerpretación. La fotointerpretación consiste en extraer la información contenida en una fotografía aérea u ortofotografías. En el presente trabajo se han utilizado ortofotografías procedentes del visor de imágenes Google Earth, tomadas dentro del rango de fecha de las imágenes utilizadas para la creación de la capa HR de humedales (2006-2012).

El objetivo principal de la validación cualitativa es conocer donde se concentran la mayoría de los errores de clasificación para poder crear una propuesta justificada de mejora de la calidad de la capa de HR de Humedales.

Existen dos tipos de errores de clasificación:

1. Error de comisión: áreas detectadas como humedal por la capa de HR de humedales cuando en realidad no lo son.

2. Error de omisión: área real de humedales no detectada por la capa de HR de humedales.

Siguiendo las especificaciones del informe de definición y especificación de los productos Gio land, se considera error de omisión cuando la cobertura del humedal detectada por la capa de HR sea inferior al 30 % de la cobertura real.

La fotointerpretación de la totalidad de la información de las capas de HR es un proceso costoso y lento, por lo que este proceso se realiza en puntos de muestreo

La **unidad de muestreo** constituye los elementos sobre los que se extraerá la información de las capas, tanto de la capa objeto de estudio como de las capas de referencia (Chuvieco, 2002). En el proceso de validación cualitativa se utiliza como unidad de muestreo el humedal.



Atendiendo a las especificaciones del informe de definición y especificación de los productos GIO land<sup>18</sup>, el método de muestreo utilizado en los procesos de validación debe ser aleatorio estratificado. Este método consiste en seleccionar la muestra dividiendo la población en regiones o estratos, para posteriormente seleccionar puntos de muestreo de forma aleatoria de ambos estratos (Chuvienco, 1995).

La estratificación del muestreo en el proceso de validación cualitativa se basa en las clases de usos y coberturas del suelo del CLC. Para la identificación de los errores de omisión se crean puntos de muestreo aleatorios basado en las clases CLC 411, 412, 421, 422, 423 (zonas húmedas según CLC). Los errores de comisión se identifican mediante la creación de puntos de muestreo aleatorio basado en las clases CLC 131, 142, 212, 213 y 331 (por ser coberturas del suelo susceptibles de ser detectadas como humedales al permanecer temporalmente inundadas de agua) y las clases 511, 512, 521, 522 y 523 (superficies de agua según CLC). En la tabla 4 se realiza una breve descripción de las clases de usos y coberturas del suelo seleccionadas para el proceso de validación mediante fotointerpretación.

En cuanto al tamaño de la muestra, la muestra debe ser representativa del área de estudio, buscando el balance entre el número suficiente de puntos de muestreo y el coste temporal del proceso de validación. El informe de definición y especificación de los productos GIO land, especifica que en este tipo de validación, la muestra debe estar formada por 50 puntos de muestreo, 30 de los cuales se deben localizar dentro de la superficie detectada como humedales en las capas de HR.

Una vez diseñada la muestra, se realiza la fotointerpretación del área asociada espacialmente a cada punto de muestreo. La fotointerpretación de cada área (“Sí humedal”, “No humedal”), debe seguir un protocolo de interpretación claro, confiable y objetivo, basado en una definición de referencia para poder determinar con exactitud y de forma objetiva qué es y qué no es un humedal. Puesto que la definición de referencia utilizada en el presente trabajo es la definición científica adoptada por el PAH, se utiliza como información auxiliar el IHA (configurado según las directrices del PHA) con el fin de identificar que unidad geográfica es o no realmente un humedal.

---

<sup>18</sup> [https://cws-download.eea.europa.eu/pan-european/hr1/HRL\\_Summary\\_for\\_publication\\_v11.pdf](https://cws-download.eea.europa.eu/pan-european/hr1/HRL_Summary_for_publication_v11.pdf)

CLASE CLC	DENOMINACIÓN	DEFINICIÓN
131	Zonas de extracción minera	Áreas de extracción a cielo abierto. Incluye graveras inundadas, excepto extracción de lechos de los ríos
142.1	Campos de golf	Campos de golf
212	Terrenos regados permanentemente	Cultivos regados permanentemente o periódicamente, utilizando una infraestructura permanente (canales de riego, redes de drenaje)
213	Arrozales	Terrenos reparados para el cultivo del arroz. Superficies llanas con canales de riego. Superficies inundadas periódicamente
331	Playas, dunas y arenales	Playas, dunas y áreas cubiertas por arena o cantos localizados en la costa o en determinadas zonas continentales, incluidos los lechos de los arroyos de régimen torrencial
411	Humedales y zonas pantanosas	Terrenos bajos normalmente inundados de agua en invierno y más o menos saturados por agua durante todo el año
412	Turberas y prados turbosos	Turberas compuestas fundamentalmente por musgos y materia vegetal en descomposición. Pueden estar explotadas o no
421	Marismas	Zonas bajas con vegetación, por encima de la línea de la marea alta, sujetas a inundaciones de agua de mar. A menudo se encuentran en proceso de relleno, siendo gradualmente colonizadas por plantas halófilas
422	Salinas	Secciones explotadas para la producción de sal por evaporación. Son claramente diferenciables del resto de la marisma por el sistema de parcelación y diques
423	Zonas llanas intermareales	Expansiones de barro, arena o roca generalmente sin vegetación entre las marcas de mareas altas y bajas
511	Ríos y cauces naturales	Cursos de agua naturales o artificiales que sirven como canales de drenaje de las aguas. También incluye canales
512.1	Lagos y lagunas	Extensiones de agua naturales
512.2	Embalses	Extensiones de agua artificiales
521	Lagunas costeras	Extensiones de agua salada o salobre en zonas costeras, que están separadas del mar por un saliente de tierra u otra topografía similar. Éstas láminas de agua pueden estar conectadas al mar en puntos limitados, permanentemente o sólo durante parte del año
522	Estuarios	Bocas de los ríos por donde las mareas fluyen y refluyen
523	Mares y océanos	Zona hacia el mar desde el límite más bajo de marea

*Tabla 4. Clases de usos y coberturas del suelo del CLC seleccionadas para el proceso de validación mediante fotointerpretación*

### 6.3 Validación no espacial

El proceso de validación no espacial consiste en determinar el grado de ajuste entre dos fuentes (la capa a validar y la capa de referencia) mediante el análisis de estadísticos simples. Como paso previo se deben seleccionar las capas de referencia que mejor representen la realidad del terreno.

### 6.3.1 Criterio de selección de las capas de referencia

La selección de las capas de referencia se realiza mediante un control visual de la calidad de las capas utilizando como referencia el visor de imágenes satélite Google Earth. El proceso consiste en seleccionar la capa de información que mejor se ajusta a la realidad (la representada en el visor Google Earth) mediante la realización de un análisis visual en una serie de zonas de estudio, donde se conoce a priori la existencia de humedales. Las capas de información geográfica que potencialmente podrían utilizarse como capas de referencia en el proceso de validación de las capas HR humedales son las descritas en el apartado 5.1: IEZH, IHA, CLC, SIOSE y la BCN25.

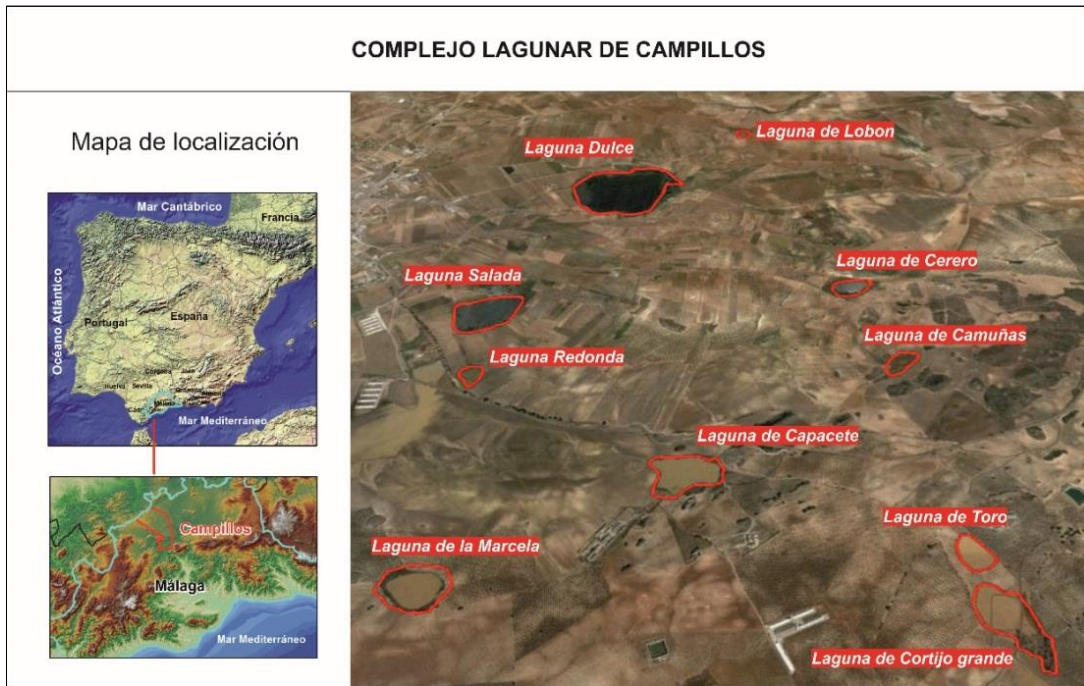
A continuación se realiza una breve descripción de las zonas de estudios seleccionadas:

1. Las lagunas de Martos, constituida por la laguna de Hituelo, la laguna de Naranjeros y la laguna Rumpisacos (figura 12), situadas en la localidad de Martos (Jaén).



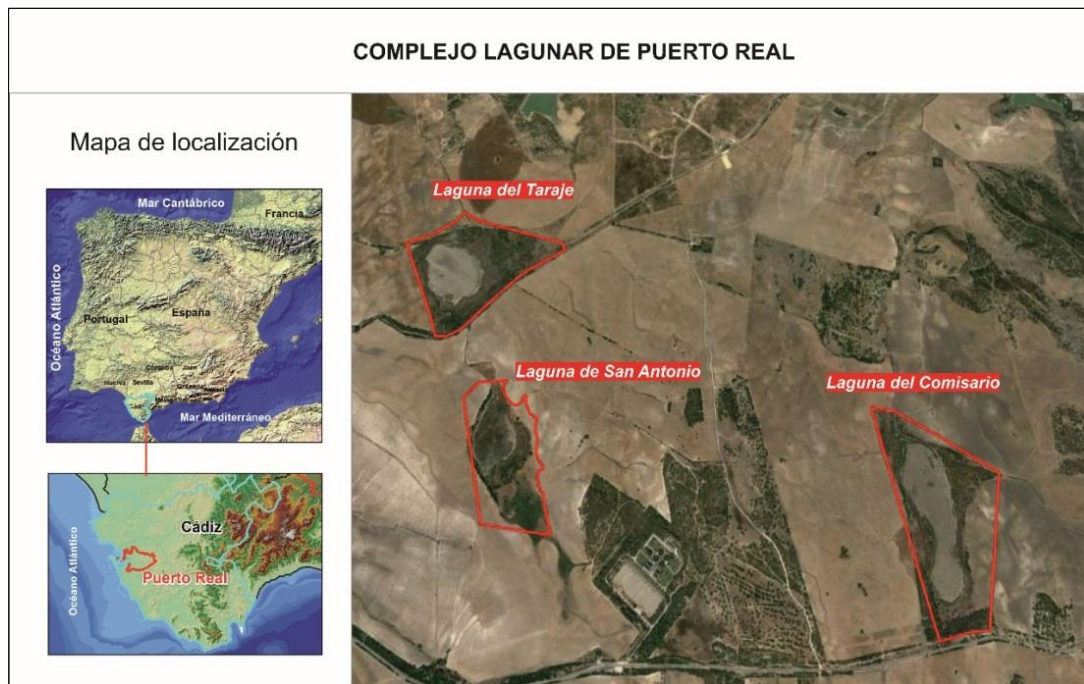
*Figura 12. Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Martos*

2. Las lagunas de Campillos (Málaga), complejo de lagunas de origen endorreico: la laguna Dulce, la laguna Salada, la laguna Redonda, la laguna de Capacete, la laguna de Camuñas y la del Cerero (figura 13).



*Figura 13. Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Campillos*

3. La laguna del Taraje, la laguna de San Antonio y la laguna del Comisario (figura 14), situadas en el término municipal de Puerto Real (Cádiz).



*Figura 14. Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Puerto Real*

### **6.3.2 Pretratamiento de las capas de referencia seleccionadas**

Tal y como se indicó en el apartado 5 del presente trabajo, las capas de referencia que sean fuentes de información indirectas de humedales deben ser sometidas a un proceso de pretratamiento para que puedan ser utilizadas como productos de referencia en el proceso de validación.

El proceso de pretratamiento consiste en extraer de las capas de información, mediante el uso de las herramientas de ArcGIS, las entidades geográficas reconocidas como humedales en la definición científica adoptada por el PHA.

### **6.3.3 Análisis comparativo**

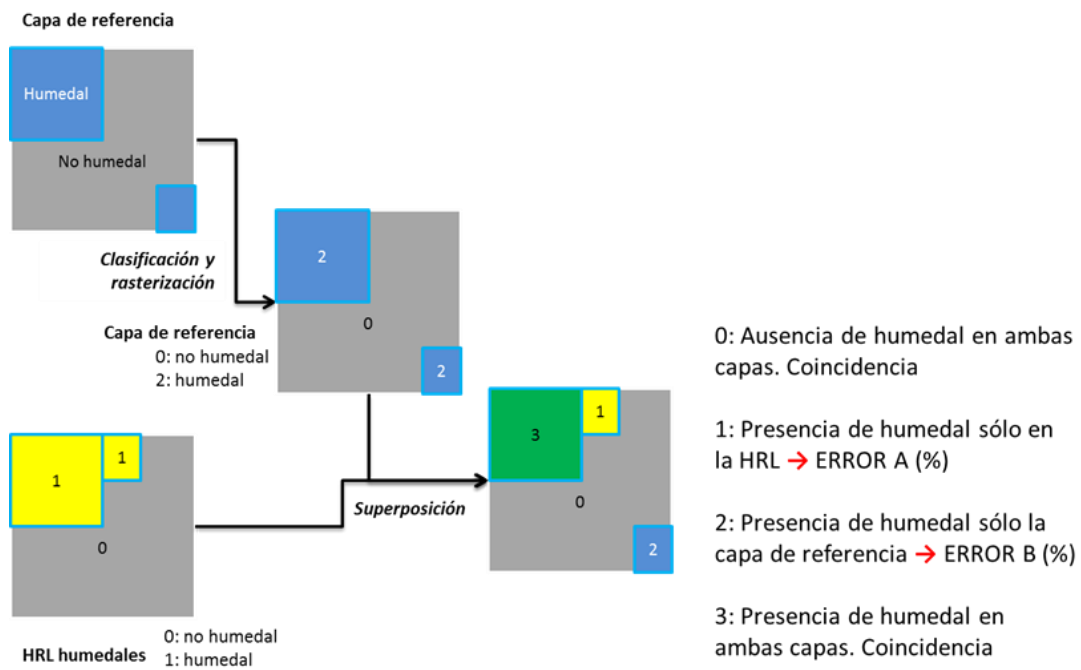
#### **1. Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal en la capa objeto de estudio (capa HR humedales) y en las capas de referencia**

El objetivo principal de este primer análisis es conocer, a priori, las diferencias más significativas de superficie total de humedales detectadas entre la capa de HR de humedales y las capas de referencia. El procedimiento consiste en el cálculo, mediante las herramientas de análisis espacial, del área total identificado como humedal en cada una de las capas incluida en el análisis.

#### **2. Análisis comparativo detallado de superficie total de humedales pixel a pixel**

Tras la realización del análisis comparativo simple de superficie total definida como humedal se procede a realizar un estudio detallado pixel a pixel de las diferentes clases existentes.

El proceso metodológico utilizado para realizar este análisis (figura 15) consiste en la superposición de cada una de las capas de referencia previamente clasificadas y rasterizadas con la capa objeto de estudio (HRL humedales). Para ello, se utiliza las herramientas de análisis espacial y superposición cartográfica de ArcGIS. En la siguiente figura se detalla el proceso llevado a cabo para la realización de este análisis.

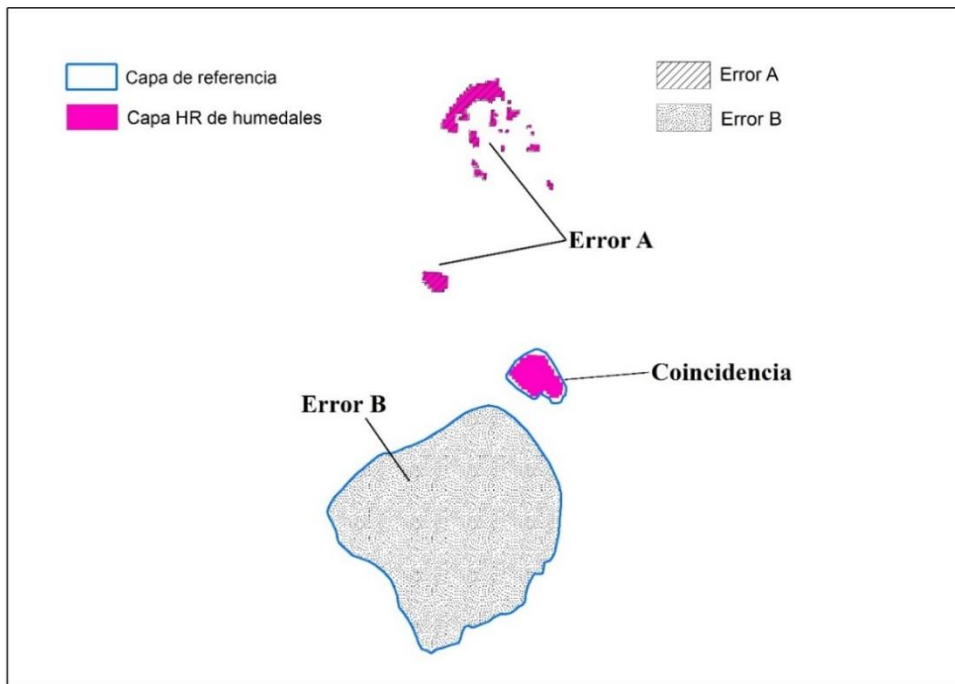


*Figura 15. Metodología utilizada en el análisis comparativo de superficie total de humedales pixel a pixel*

Como resultado de la superposición de las capas de referencia con la capa de HR de humedales se genera una capa en formato raster con valores de pixel de 0 a 3, que representan los errores y el porcentaje de coincidencia entre ambas capas:

- Error A: porcentaje de área de humedal detectado en la capa de HR de humedales que no se encuentra en la capa de referencia.
- Error B: porcentaje de área definido como humedal en las capas de referencia que no han sido detectadas en la capa de HR de humedales.
- Coincidencia: porcentaje de área definido como humedal tanto en las capas de referencia como en la capa de HR de humedales.

La figura 16 muestra un ejemplo ilustrativo del concepto de los errores A y B detectados en este análisis.



*Figura 16. Ejemplo ilustrativo de errores A y B calculados en el análisis comparativo de superficie pixel a pixel*

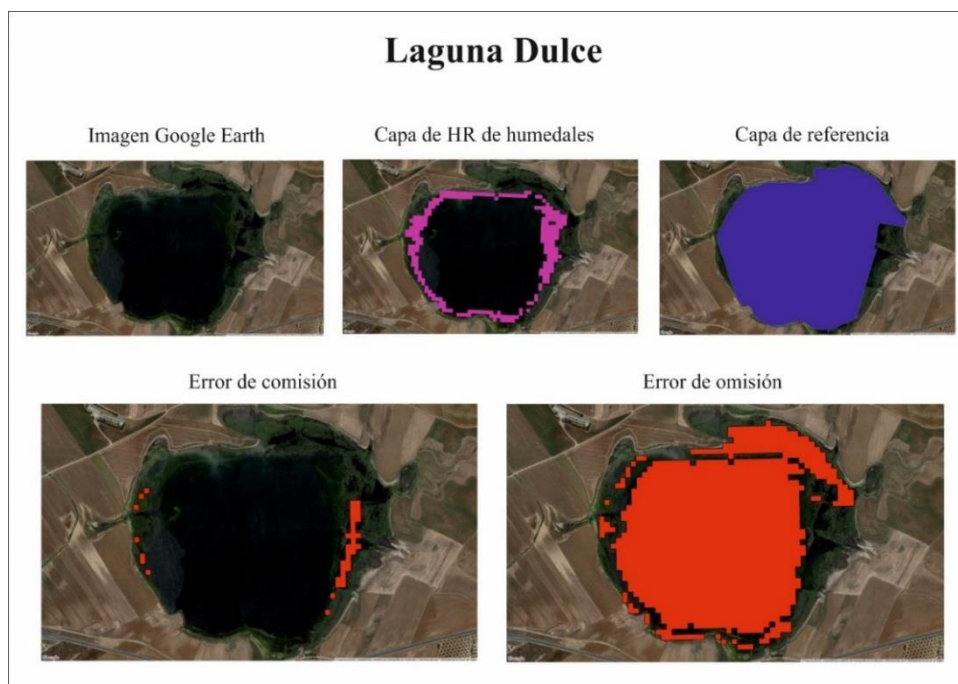
#### 6.4 Validación espacial

La validación de tipo espacial permite obtener una descripción cuantitativa más detallada de la exactitud alcanzada en la capa objeto de estudio, puesto que la validación no espacial aporta sólo una visión general del nivel de detección de humedales de la capa HR.

El enfoque estándar de esta técnica consiste en seleccionar una muestra de lugares y determinar las relaciones entre la capa objeto de estudio y la de referencia a partir de una matriz de confusión (Strahler, et al., 2006). La matriz de confusión permite estimar la precisión global y los errores de clasificación de la capa objeto de estudio, mediante:

- Precisión global: relación del número de píxeles correctamente clasificados y el total de píxeles muestreados.
- Error de comisión: píxeles clasificados como humedales en la capa objeto de estudio pero la validación demuestra que en realidad no lo son.
- Error de omisión: píxeles que no están clasificados como humedales en la capa objeto de estudio, pero la validación demuestra que en realidad son humedales.

La siguiente figura muestra un ejemplo ilustrativo de los errores de comisión y omisión detectados en la capa de HR de humedales, concretamente los detectados en la laguna Dulce de Campillos.



*Figura 17. Errores de clasificación (comisión y omisión) detectados en la laguna Dulce de Campillos (Málaga)*

Si la precisión global no alcanza el nivel de precisión requerido (80% para el caso de las capas de HR de humedales, según se establece en el informe de definición y especificación de los productos Gio land), la capa objeto de estudio se considera no satisfactoria.

Esta técnica validación mediante la matriz de confusión es generalmente utilizada en trabajos de validación de mapas de usos y coberturas del suelo como el de Moreno y Chuvieco (2009) y en trabajos previos relacionados con la temática del estudio aquí elaborado, como el informe de validación de las capas de HR de humedales de GMES (Maucha, et al., 2012) o el Diseño del Inventario Nacional de Humedales y el Seguimiento Ambiental, realizado por el Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile (MMA, 2011).

Para realizar la validación espacial se han abordado dos tipos de análisis que se complementan entre sí: la validación espacial basada en píxeles y la basada en la entidad espacial “humedal”. En ambos casos, se parte de una muestra aleatoria de puntos de análisis y validación que son contrastados a estas dos escalas.

El proceso de **validación espacial basada en píxeles** utiliza como unidad de muestreo el píxel. Los puntos de muestreo se asocian a un píxel de manera que a cada punto le corresponde el valor del píxel espacialmente coincidente tanto en la capa a validar como en la capa de referencia, con el fin de comparar la información contenida en ellos. El resultado de este proceso permite conocer, mediante la generación de la matriz de confusión, por un lado, el grado global de acierto, es decir, el grado de ajuste entre la capa a validar y la capa de referencia y por otro lado, qué



porcentaje de los errores A y B detectados en el proceso de validación no espacial son realmente errores de la capa de HR de humedales, ya que parte de esos errores pueden ser errores de la capa de referencia.

El proceso de **validación espacial basada en humedales** utiliza como unidad de muestreo el humedal como entidad espacial. Para ello, se compara el humedal correspondiente al punto de muestreo con la realidad del terreno mediante fotointerpretación. Esta técnica de análisis permite obtener una mejor visión de la información representada en la capa a validar ya que al trabajar a nivel de “entidad espacial” evita contabilizar como error aquellos casos en los que, por ejemplo, la capa analizada tiene identificado el humedal aunque con un área y/o delimitación diferente lo que llevaría a que los puntos de muestreos localizados en los bordes (por el propio proceso de aleatoriedad) pudiesen ser detectados como error.

El proceso de validación espacial se organiza en base a las siguientes fases (Stehman, 1997):

1. Selección y pretratamiento de las capas utilizadas como referencia;
2. Diseño del muestreo, cantidad de puntos de muestreo y cómo se seleccionan;
3. Comparación de la capa objeto de validación y las capas de referencia, mediante la generación de una matriz de confusión;
4. Análisis de los errores encontrados y validación de la calidad del proceso.

En los siguientes apartados se realiza una descripción detallada de cada una de estas fases para los dos tipos de procesos de validación espacial realizados (validación espacial basada en píxeles y validación espacial basada en humedales).

#### **6.4.1 Selección y pretratamiento de las capas de referencia**

Como producto de referencia para la validación espacial de la capa de HR de humedales se debe utilizar la capa de información geográfica que mejor se ajuste a la realidad del terreno. Este hecho hace que la mejor técnica de validación espacial sea la fotointerpretación mediante imágenes satélites, aunque en algunos casos se puede utilizar una capa de información que presente un alto grado de confianza y validez.

La AEMA, en el informe de definición y especificación de los productos GIO land, sugiere la utilización de la capa de CLC como producto de referencia para la **validación espacial basada en píxeles**, para estimar la precisión global de la capa de HR de humedales.

La capa CLC debe ser sometida a un tratamiento previo a su utilización como capa de referencia. Este pretratamiento consiste en la selección de las clases de usos y coberturas del suelo

consideradas como humedales en esta capa (411,412, 421, 422 y 423) para posteriormente realizar una valoración de la capa, asignándole el valor 0 a las superficies sin presencia de humedales y un valor 2 a las superficies definidas como humedal. Finalmente se realiza la rasterización de la capa.

La **validación espacial basada en humedales** requiere un menor número de puntos de muestreo, por lo que se utiliza la fotointerpretación como técnica de validación concretamente, las imágenes satelitales disponibles en el visor Google Earth.

## 6.4.2 Diseño del muestreo para la validación espacial

El proceso de validación espacial, requiere aplicar técnicas de muestreo basado en la selección de muestras representativas aleatorias estratificadas (apartado 6.2). A continuación se detalla el sistema de muestreo utilizado en cada uno de los métodos de validación aplicados:

### Validación espacial basada en píxeles

Los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en píxeles se crean en los siguientes estratos:

- Estrato 1: superficie correspondiente al error A (área definida como humedal en la capa de objeto de estudio que no ha sido detectada en las capas de referencia) calculado en el proceso de validación no espacial. Se utiliza para la estimación de los errores de comisión.
- Estrato 2: superficie correspondiente al error B (área definida como humedal en las capas de referencia pero que no han sido detectada en las capa objeto de estudio) calculado en el proceso de validación no espacial. Se utiliza para la estimación de los errores de omisión.

El objetivo de realizar este tipo de estratificación en el muestreo es doble, por un lado localizar los errores de comisión y omisión y por otro, determinar qué porcentaje de los errores A y B es realmente un error de detección de las capas de HR (verificación de los errores A y B). Además, para evitar problemas de sesgos en la distribución de la muestras, asociados a la diferencias de tamaño del humedal analizado, se han creado puntos de muestreo en los estratos de forma independiente en función de su superficie: superficies mayores de 100 ha y superficies menores de 100 ha. La muestra queda de la siguiente forma:

- 400 puntos de muestreo al azar, dentro de estrato 1 (200 puntos dentro de las superficies mayores de 100 ha y 200 puntos dentro de las superficies menores de 100 ha) con una distancia mínima entre los puntos de muestreo de 200 metros.

- 400 puntos de muestreo al azar dentro de estrato 2 (200 puntos dentro de las superficies mayores de 100 ha y 200 puntos dentro de las superficies menores de 100 ha) con una distancia mínima entre los puntos de muestreo de 200 metros.

Por lo tanto, la muestra está compuesta por un total de 800 puntos de muestreo, 400 puntos para el cálculo del error de comisión y 400 puntos para el cálculo del error de omisión. Si se realiza más de una comparativa en el proceso de validación no espacial, la muestra se conforma utilizando la totalidad de los puntos de muestreo.

#### **Validación espacial basada en humedales**

La muestra está formada por 100 puntos de muestreo, 50 puntos en el estrato 1 (superficie correspondiente al error A), para la estimación del error de comisión y 50 puntos en el estrato 2 (superficie correspondiente al error B), para la estimación del error de omisión. Al igual que en el proceso anterior, si se realiza más de una comparativa en el proceso de validación no espacial, la muestra se conforma utilizando la totalidad de los puntos de muestreo.

### **6.4.3 Análisis comparativo mediante la generación de una matriz de confusión**

#### **Validación espacial basada en píxeles**

Una vez creados los puntos de muestreo, con la herramienta “*create random points*” del programa ArcGIS, se procede a obtener el valor de píxel (“No humedal”-“Sí humedal”) tanto de la capa de HR de humedales como de la capa de referencia (CLC) en cada punto de muestreo, para posteriormente, con estos valores construir la matriz de confusión (figura18).

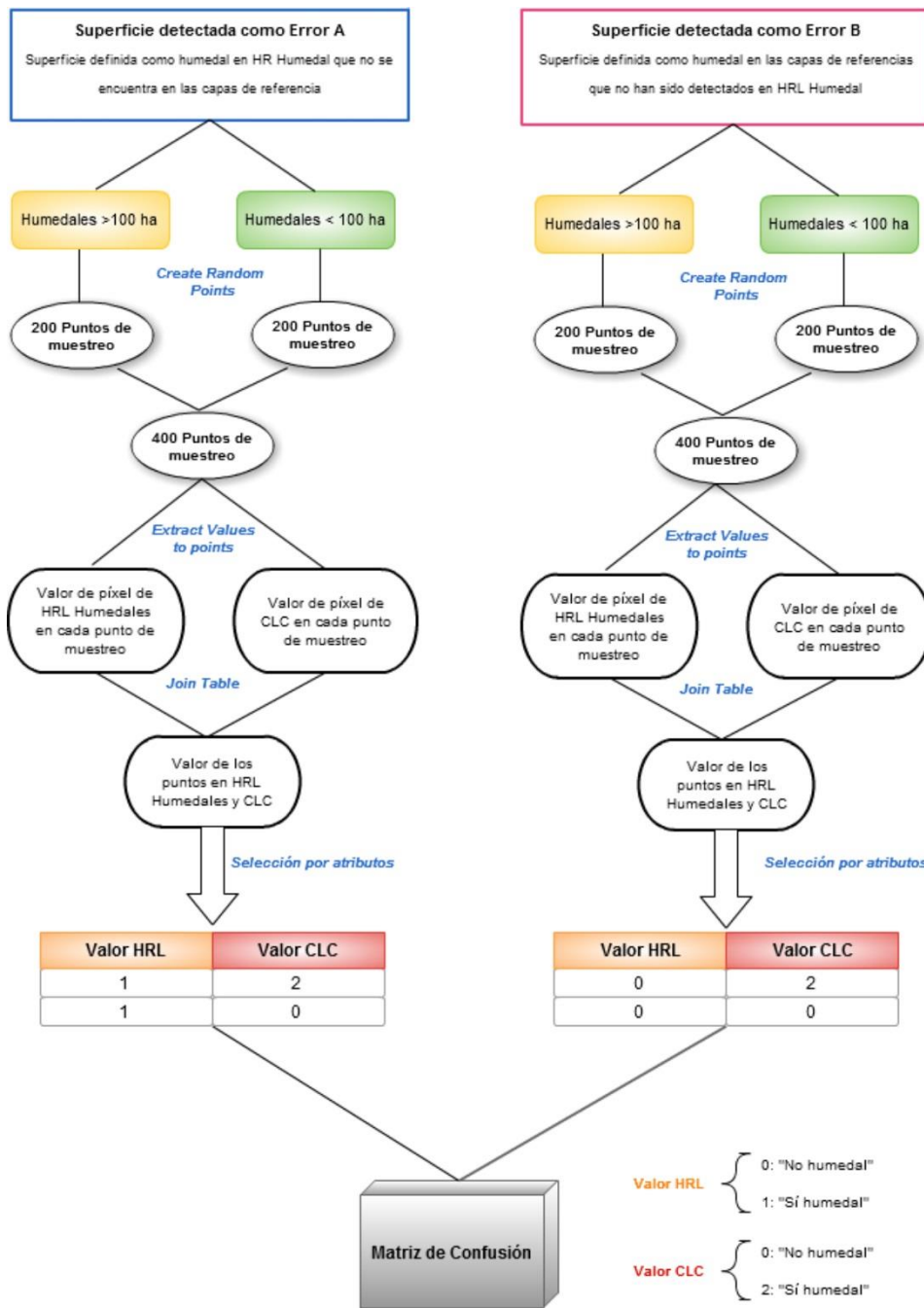


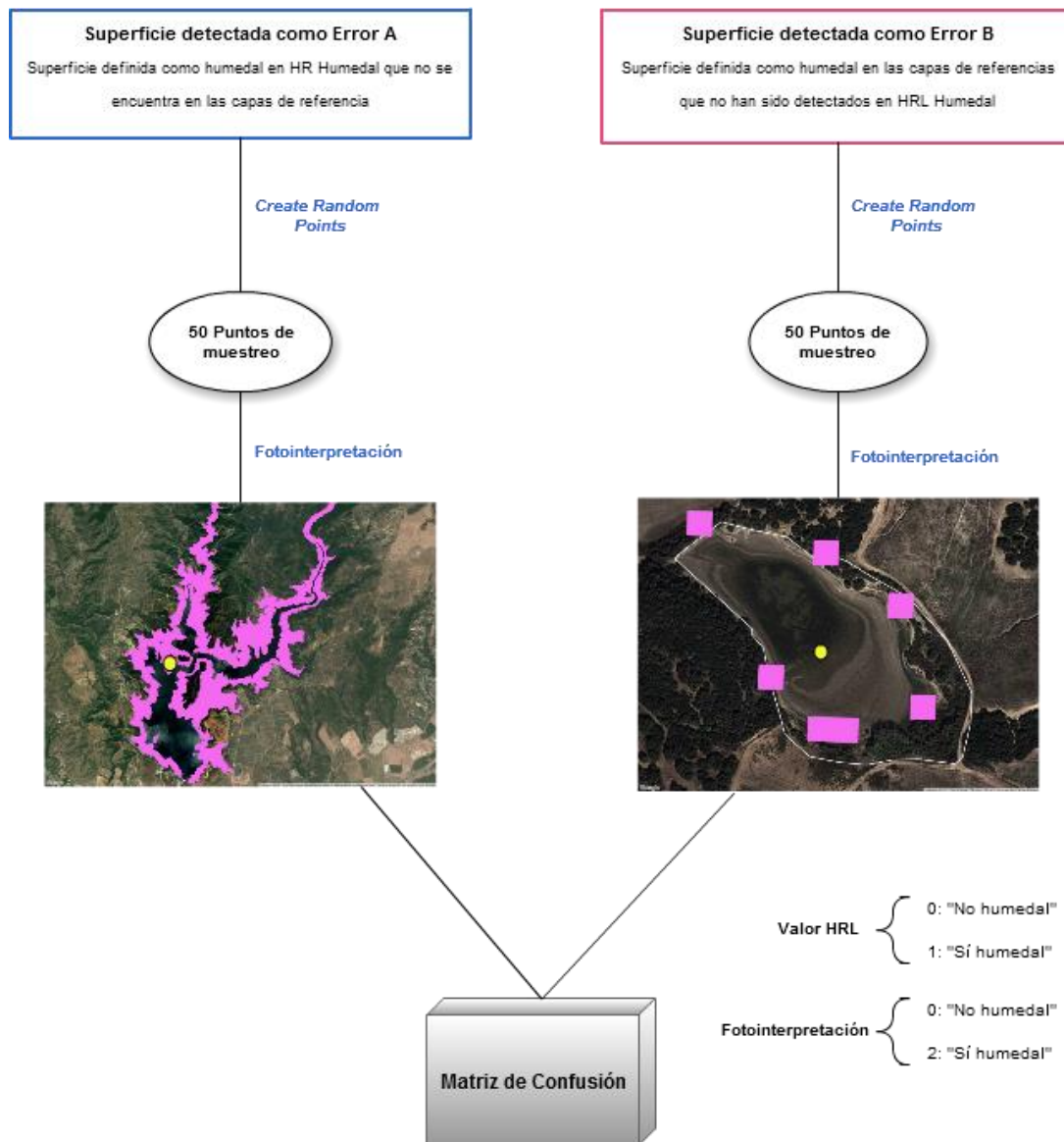
Figura 18. Esquema de la metodología utilizada para la validación espacial basada en píxeles utilizando como capa de referencia el CLC

### Validación espacial basada en humedales

Una vez diseñada la muestra, se asocia cada punto de muestreo con un humedal y se le asigna una categoría (“No humedal”, “Sí humedal”) a cada punto de muestreo mediante fotointerpretación utilizando como capa de referencia las ortofotografías disponibles en el visor Google Earth. La categoría asignada a cada punto de muestreo, igual que en el proceso de validación cualitativa, se basa en la definición referencia adoptada por PAH. Siguiendo las

especificaciones del informe de definición y especificación de los productos Gio land, se considera error de omisión cuando la cobertura del humedal detectada por la capa de HR sea inferior al 30 % de la cobertura real.

En la siguiente figura se esquematiza la metodología seguida para la validación espacial basada en humedales.



*Figura 19. Esquema de la metodología utilizada para la validación espacial basada en humedales utilizando como referencia las imágenes satelitales de Google Earth. El punto de muestreo se representa mediante el punto amarillo y en magenta se representa la capa de HR de humedales*

La matriz de confusión (tabla 5) permite estimar la exactitud en la detección de humedales de la capa de HR. Esta matriz indica, de forma tabular, las correspondencias entre las clases del producto a evaluar y el de referencia (Moreno & Chuvieco, 2009). El interés de esta matriz es su

capacidad de plasmar la correspondencia entre las clases asignadas a un área y la verdadera clase a la que pertenece.

La diagonal de la matriz (en azul) expresa el número de puntos de muestreo donde se produce un acuerdo entre las dos fuentes, mientras que los elementos fuera de la diagonal (en rosa) suponen errores de clasificación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la **precisión global** de la capa, en definitiva, expresa el porcentaje de área clasificada correctamente dentro de las dos categorías existentes en este análisis (“No humedal”, “Sí humedal”).

Capa objeto de estudio	Capa de Referencia						
		Clase 1	Clase 2	Clase n	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{1n}$	$X_{1+}$	$X_{11} / X_{1+}$	$1 - X_{11} / X_{1+}$
	Clase 2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{2n}$	$X_{2+}$	$X_{22} / X_{2+}$	$1 - X_{22} / X_{2+}$
	Clase n	$X_{n1}$	$X_{n2}$	$X_{nn}$	$X_{n+}$	$X_{nn} / X_{n+}$	$1 - X_{nn} / X_{n+}$
	Total	$X_{+1}$	$X_{+2}$	$X_{+n}$	$\sum x_{ij}$		
	Precisión del productor	$X_{11} / X_{+1}$	$X_{22} / X_{+2}$	$X_{nn} / X_{+n}$			
Error de Omisión	$1 - X_{11} / X_{+1}$	$1 - X_{22} / X_{+2}$	$1 - X_{nn} / X_{+n}$				

*Tabla 5. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial*

Donde:

Capa objeto de estudio= HR humedal

Capa de referencia= CLC

Clase 1= “Sí humedal”

Clase 2= “No humedal”

Entonces,

$X_{11}$ = “Sí humedal” en HRL y “Sí humedal” en CLC

$X_{12}$ = “Sí humedal” en HRL y “No humedal” en CLC

$X_{1+}$ = Total de pixeles clasificados como “Sí humedal” en HRL

$X_{+1}$ = Total de pixeles clasificados como “Sí humedal” en CLC

$X_{21}$ = “No humedal” en HRL y “Sí humedal” en CLC

$X_{22}$ = “Sí humedal” en HRL y en CLC

$X_{2+}$ = Total de pixeles clasificados como “No humedal” en HRL

$X_{+2}$ = Total de pixeles clasificados como “No humedal” en CLC

#### 6.4.4 Análisis de los errores y validación del proceso

A partir de la matriz de confusión pueden generarse una serie de medidas estadísticas que permiten validar numéricamente los resultados (Fielding & Bell, 1997).

- **Precisión global** de la capa de HR, que relaciona el número de pixeles correctamente clasificados con el total de pixeles muestreados.

$$F = \frac{\sum_{i=1,n} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}}$$

Donde  $X_{ii}$  son los pixeles correctamente asignados y  $n$  es el tamaño de la muestra.

Este índice es global y no nos indica cómo la exactitud se reparte entre las diversas categorías individuales (“No humedal”, “Sí humedal”). Para evaluar la exactitud de las categorías individuales podemos utilizar la precisión del usuario y del productor.

- **Precisión del usuario y del productor**

En el caso de las columnas, los marginales indican el número de pixeles/humedades que, perteneciendo a una clase (“No humedal”, “Sí humedal”), no fueron incluidos en ella. Son los que se denominan **errores de omisión**,  $E_o$ :

$$E_{o,i} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}}$$

Donde  $X_{+i}$  indica el marginal de la columna  $i$  y  $X_{ii}$  la diagonal de dicha columna.

De un modo similar, los marginales de las filas, expresan los **errores de comisión**, es decir, los pixeles/humedades que se incluyeron en una clase a la que realmente no pertenecen:

$$E_{c,i} = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}}$$

Donde  $X_{i+}$  indica el marginal de la fila  $i$  y  $X_{ii}$  la diagonal de dicha fila.

A diferencia de los errores A y B, los errores de comisión y omisión localizan espacialmente donde se producen los errores y a que capa es atribuible cada error.

A partir de los errores de comisión y omisión se calculan la **precisión del usuario ( $F_u$ )** y del **productor ( $F_p$ )**, siendo la precisión del usuario la inversa del error de comisión y la precisión del productor la inversa de del error de omisión:

$$F_{u,i} = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \quad F_{p,i} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}}$$

Al usuario le interesa sobre todo conocer la precisión del usuario ya que indica el porcentaje de cada clase que ha sido correctamente clasificado en la capa objeto de análisis.

El productor está más interesado en la precisión del productor pues le dice cuan bien los pixeles/ humedales de referencia han sido clasificados en la capa objeto de análisis.

Los errores de comisión para cada clase (“No humedal”, “Sí humedal”), representan el porcentaje de los errores A y B atribuible a la capa de HR de humedales, es decir, permiten verificar los errores A y B obtenidos en el proceso de validación no espacial.

- **Porcentaje de error A atribuible a la capa de HR**

El porcentaje de error A (área total de humedal detectada en la capa de HR de humedales que no se encuentra en la capa de referencia utilizada en el proceso de validación no espacial) queda representado por el error de comisión de la clase 1 (“Sí humedal”). Este error indica el porcentaje de pixeles que, perteneciendo a la clase de humedales en la capa de HR, no son realmente humedales.

$$\% \text{ de Error A} = \frac{1 - X_{11}}{X_{1+}} \times 100$$



- **El porcentaje de error B atribuible a la capa de HR**

El porcentaje de error B (área total definida como humedal en las capas de referencia utilizadas en el proceso de validación no espacial que no han sido detectadas en la capa de HR de humedales) queda representado por el error de comisión de la clase 2 (“No humedal”). Este error indica el porcentaje de píxeles que, no siendo clasificado como humedal en la capa de HR, son realmente humedales.

$$\% \text{ de Error B} = \frac{1 - X_{22}}{X_{2+}} \times 100$$

- **El coeficiente Kappa**

Las medidas de exactitud que acabamos de considerar, están basadas solamente en la diagonal principal de la matriz de confusión. Estas medidas no aprovechan la información contenida en dicha matriz en su conjunto. Mediante el coeficiente Kappa se calcula estadísticamente la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la que cabría esperar con un clasificador aleatorio, es decir, intenta delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios (Congalton, 1991). Es una técnica de gran alcance por su capacidad de analizar las relaciones múltiples entre las distintas categorías de una matriz, así como para comparar estadísticamente matrices derivadas de productos cuyas clasificaciones han sido realizadas por diferentes métodos.

El coeficiente Kappa se define como (Cohen, 1960):

$$K = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}$$

Donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $X_{ii}$  el acuerdo observado y el producto de los marginales ( $X_{i+} X_{+i}$ ) el acuerdo esperado en cada categoría.

En definitiva, el estadístico Kappa, mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar aleatoriamente. El valor  $K$  varía entre -1 y 1. Si todos los elementos que se encuentran fuera de la diagonal principal fueran iguales a cero, tendríamos concordancia completa ( $K = 1$ ). Si todos los valores de la diagonal principal fueran cero estaríamos en un caso de completa discordancia ( $K = -1$ ). Landis y Kock (1977), propusieron una gradación del nivel de concordancia entre las capas analizadas de acuerdo con el valor del coeficiente  $K$  y, desde entonces, ha sido ampliamente usada:

Valoración del índice kappa	
Valor de K	Grado de acuerdo
< 0	Sin acuerdo
0 - 0,2	Insignificante
0,2 - 0,4	Bajo
0,4 - 0,6	Moderado
0,6 - 0,8	Bueno
0,8 - 1	Muy bueno

*Tabla 6. Escala de valoración del coeficiente Kappa*

Cabe señalar que algunos investigadores (Strijbos, et al., 2006) catalogan este coeficiente como excesivamente conservador, ya que subestima el acuerdo entre las categorías.

## 7 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1 Resultados y análisis de la validación de HRL de humedales a nivel nacional

Como se ha comentado con anterioridad, a nivel nacional se realiza una validación no espacial de la capa de HR de humedales con el fin de obtener una visión general del nivel de detección de humedales a dicha escala.

En cuanto a la selección de la capa de referencia a utilizar en este proceso, nos enfrentamos al problema de la inexistencia de una base cartográfica de humedales completa y actualizada. Como alternativa, se utiliza como producto de referencia el CLC (clases 400), por ser el producto de referencia recomendado por la AEMA.

#### 1. Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal en la capa objeto de estudio (capa HR humedales) y en las capas de referencia

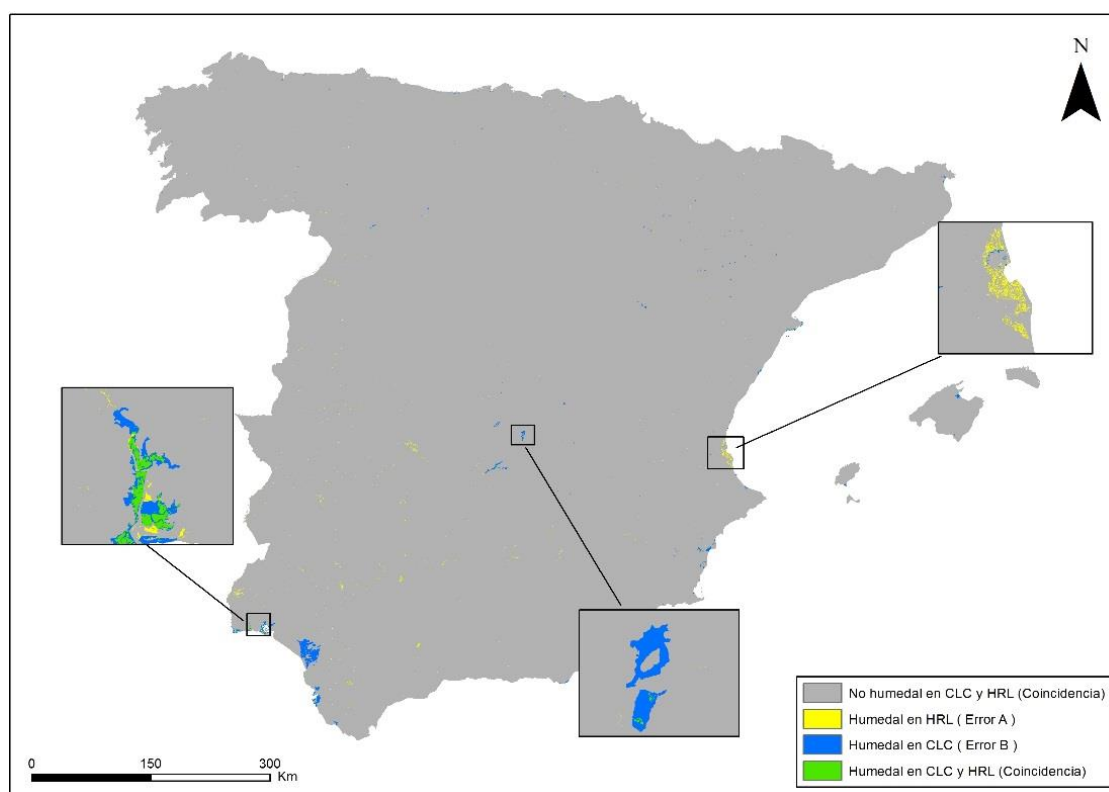
Los resultados de este análisis muestran que la capa HR de humedales detecta una menor superficie de humedales que la capa de referencia utilizada (CLC), debido principalmente a que la capa de HR de humedales no detecta gran parte de los humedales y si los detecta lo hace con una superficie muy inferior a la que realmente presenta. El porcentaje de área de humedales detectados por la capa de HR de humedales con respecto al CLC es de un 56,46%, es decir de cada 100 hectáreas de humedales cartografiados en el CLC, 56.46 hectáreas son detectadas en la capa de HR de humedales (tabla 7).

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIE DE HUMEDALES		
ESCALA NACIONAL		
SUPERFICIE TOTAL IDENTIFICADA COMO HUMEDAL (ha)		% DIFERENCIAS DE SUPERFICIE
HRL de Humedales	CLC	% de superficie de Humedales de HRL incluidos en el CLC
62.904	111.421	56,46

*Tabla 7. Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal a escala nacional*

## 2. Análisis Comparativo detallado de Superficie Total de Humedales pixel a pixel

La figura 20 representa la capa de información geográfica resultante de la comparativa pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y la capa de referencia CLC. En amarillo se representan las superficies detectadas como humedales en HRL pero que no se encuentran dentro de la capa de referencia. Esta superficie es la definida como error A. En azul se representan las superficies de la capa de referencia que no han sido detectadas en la capa de HR de humedales (superficie definida como error B). Por último, el color verde representa el área en la que existe un solape entre las dos capas, es decir, es la superficie definida como humedal en ambas capas (coincidencia).



*Figura 20. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales y el CLC*

A continuación se detallan los resultados obtenidos en este análisis, así como los cálculos de los errores A y B y el porcentaje de coincidencia.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL ESCALA NACIONAL					
Comparativa HRL humedales y CLC					
	Valor	Número de pixeles	Resolución (m)	Área/pixel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	124.210.758	20	400	4.968.430
Humedal en HRL	1	1.404.232	20	400	56.169
Humedal en CLC	2	2.397.084	20	400	95.883
Solapamiento	3	120.572	20	400	4.822

*Tabla 8. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala nacional*

**Error A:** porcentaje de área de humedal detectado en la capa HR de humedales pero que no se encuentra en el CLC.

$$\text{Error A} = \frac{56.169}{62.904} \times 100 = \mathbf{89,29\%}$$

**Error B:** porcentaje de área definida como humedal en el CLC que no han sido detectadas en la capa de HR de humedales.

$$\text{Error B} = \frac{95.883}{111.421} \times 100 = \mathbf{86.05\%}$$

**Coincidencia:** porcentaje de área definida como humedal tanto en el CLC como en la capa de HR de humedales.

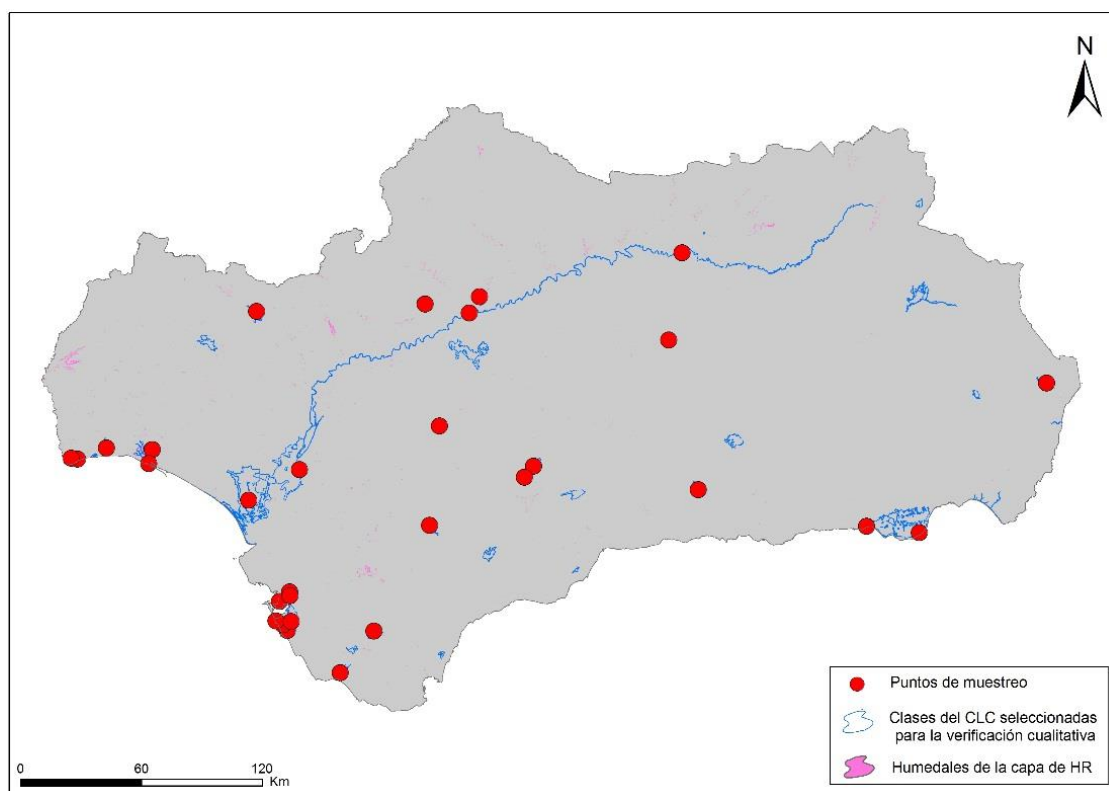
$$\text{Coincidencia} = \frac{4.822}{62.904} \times 100 = \mathbf{7,66\%}$$

Los resultados obtenidos indican que los errores son muy elevados y muy parecidos entre sí. El porcentaje de coincidencia de la capa de HR de humedales y del CLC es muy bajo, es decir el grado de ajuste de ambas coberturas es muy pobre.

## 7.2 Resultados y análisis de la validación de la HRL de humedales a nivel autonómico

### 7.2.1 Validación cualitativa

La figura 21 muestra la distribución de los puntos de muestreo seleccionados en el proceso de validación cualitativa.



*Figura 21. Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación cualitativa*

En la siguiente tabla se recogen los ejemplos más significativos de los errores encontrados en los 50 puntos de muestreo fotointerpretados, así como la naturaleza, ubicación y una descripción detallada de los mismos, con la finalidad de que puedan ser utilizados como base para la mejora de las capas de HR.

### Campos de Golf

Fecha: 2007



**Error de Comisión.** Lagunas artificiales del campo de golf de El Ejido (Almería) incorrectamente clasificada como humedal.

### Zonas de extracción minera

Fecha: 2010



**Error de Comisión.** Zona de extracción minera localizada en Bailén (Jaén) incorrectamente clasificada como humedal

### Terrenos regados permanentemente

Fecha: 2009



**Error de Comisión.** Terrenos agrícolas de regadío localizados en Churriana de la vega (Granada) incorrectamente clasificados como humedal

### Arrozales

Fecha: 2010



**Error de Comisión.** Arrozales localizados Isla Mayor (Sevilla) incorrectamente clasificados como humedal

### Marismas

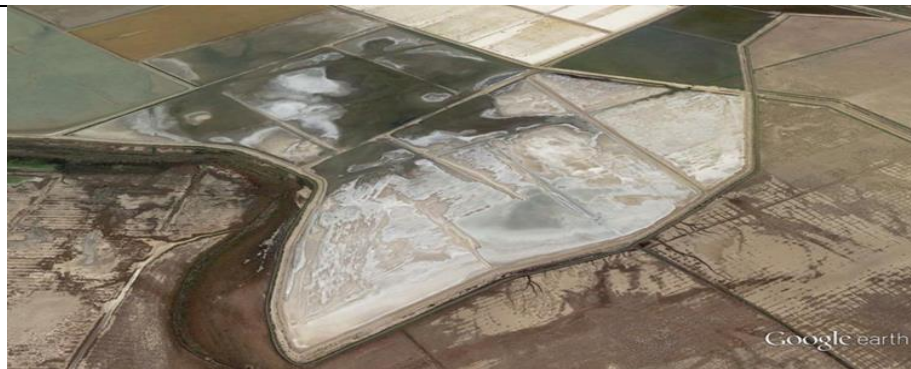
Fecha: 2010



**Error de Omisión.** Marisma de Doñana (Huelva) completamente omitida en la capa de HR de humedales

### Salinas

Fecha: 2007



**Error de omisión.** Salinas localizadas en Puerto real (Cádiz) completamente omitidas en la capa de HR de Humedales



### Zonas llanas intermareales

Fecha: 2010



**Error de omisión.** Zonas llanas intermareales localizadas en el Parque Natural Bahía de Cádiz completamente omitidas en la capa de HR de Humedales

### Ríos y cauces naturales

Fecha: 2010








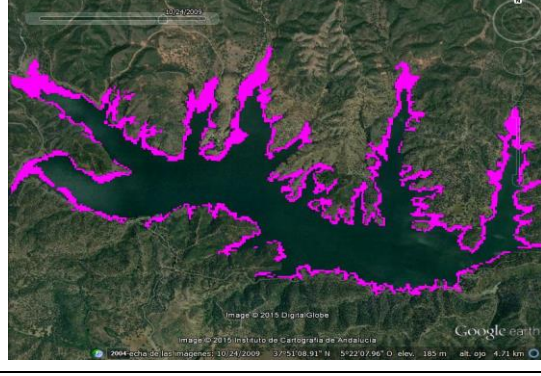
**Error de Comisión.** Ribera del río Guadalquivir incorrectamente clasificado como humedal

### Lagunas

Fecha: 2011



**Error de omisión.** Laguna del Medio localizada en Huelva completamente omitida en la capa de HR de Humedales

<b>Lagunas</b>	
Fecha: 2011	
	
<b>Error de omisión.</b> Menos del 30% de la superficie de la laguna Dulce localizada en Campillos (Málaga) detectada como humedal	
<b>Lagunas costeras</b>	
Fecha: 2007	
	
<b>Error de Omisión.</b> Menos del 30% de la superficie de la de la albufera de Adra (Almería) detectada como humedal	
<b>Embalses</b>	
Fecha: 2009	
	
<b>Error de Comisión.</b> Margen del embalse de Retortillo (Córdoba) incorrectamente clasificado como humedal	

*Tabla 9. Errores detectados en el proceso de validación cualitativa de la capa de HR de humedales. Las imágenes muestran en magenta la capa de HR de humedales*

## 7.2.2 Validación no espacial


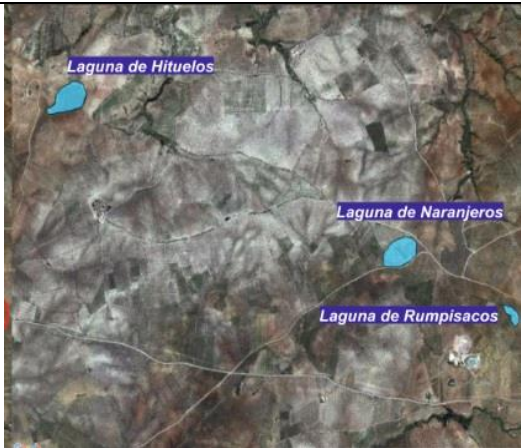
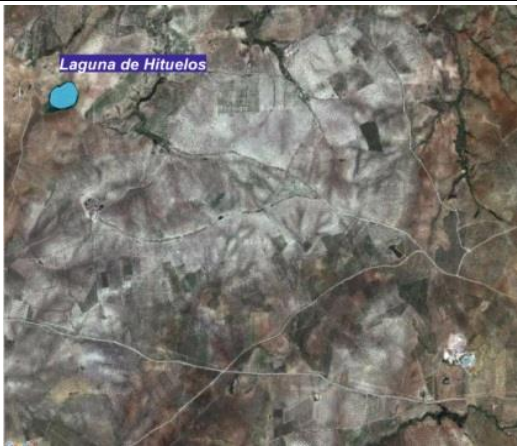



### 7.2.2.1 Capas de referencia seleccionadas

En la (tabla 10) se muestran los resultados obtenidos en el análisis visual de la calidad de las capas de referencia para la zona de estudio de Martos (Sevilla) utilizando el visor de imágenes satélite Google Earth. Las imágenes de Google Earth detectan la existencia de tres lagunas: Laguna de Hituelos, Laguna de Naranjeros y Laguna de Rumpisacos. Igualmente aparecen representadas las tres lagunas en el IEZH y en el IHA. Sin embargo, sólo dos de las lagunas que componen el complejo lagunar de Martos están cartografiadas en la BCN25 (Laguna de Hituelos y Laguna de Naranjeros) y tan sólo una en el SIOSE (Laguna de Hituelos). El CLC no detecta ninguna laguna.







Del análisis visual del Complejo lagunar de Campillos (tabla 11), se puede deducir que la única capa que cartografía la totalidad de las lagunas es el IHA. El SIOSE y la BCN25 cartografían 9 de las 10 lagunas que conforman el complejo lagunar de Campillos. El IEZH, a pesar de ser una cartografía nacional que deriva de los inventarios autonómicos, sólo contiene información de 7 lagunas, lo que corrobora la inexistencia de una base cartográfica nacional de humedales actualizada. El CLC tan sólo registra la información de una laguna, la Laguna Dulce.

En cuanto al análisis visual del complejo lagunar de Puerto Real (tabla 12) únicamente cartografían la totalidad de las lagunas el IHA y la BCN25. El resto de capas de información geográfica cartografían 2 de las tres lagunas que componen el complejo lagunar, excepto el IEZH, que sólo cartografía una, la Laguna del Taraje.







Los resultados obtenidos del análisis visual comparativo de las distintas capas de información geográfica utilizando como capa de referencia el visor de imágenes satélite Google Earth son muy variables en cada zona de estudio seleccionada (tabla 13). El IHA y la BCN25 son los que presentan mejor ajuste con los datos de referencia. Por este motivo, estas capas de información geográfica han sido las seleccionadas para su utilización como capas de referencia en el proceso de validación no espacial de la capa de HR de Humedales a escala regional.

Complejo lagunar de Martos	
GOOGLE EARTH	IEZH
	
SIOSE	BCN25
	
IHA	CLC
	

*Tabla 10. Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Martos*

Complejo lagunar de Campillos	
GOOGLE EARTH	IEZH
	
SIOSE	BCN25
	
IHA	CLC
	

*Tabla 11. Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Campillos*

Complejo lagunar de Puerto Real	
GOOGLE EARTH	IEZH
	
SIOSE	BCN25
	
IHA	CLC
	

*Tabla 12. Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Puerto Real*

Capas de referencia potenciales	Zona de estudio		
	Complejo lagunar de Martos	Complejo lagunar de Campillos	Complejo lagunar de Puerto Real
Google Earth	3	10	3
IHA	3	10	3
IEZH	3	7	1
BCN25	2	9	3
SIOSE	1	9	2
CLC	0	1	2

*Tabla 13. Cantidad de humedales cartografiados por cada una de las capas de referencia potenciales en las zonas de estudio seleccionadas*

### 7.2.2.2 Proceso de pretratamiento de las capas de información de referencia

A continuación se detalla el proceso de pretratamiento que se le realiza a la Base Cartográfica Numérica 1:25.000 (BCN25).

La BCN25 está formada por un amplio conjunto de capas temáticas, de las cuales se han seleccionado aquellas que conforman la definición de referencia adoptada por el PAH, con el fin de crear un “inventario humedales” al que denominaremos, en adelante, “inventario SubBCN25”. Estas capas de información son:

**1. Humedales:** Las coberturas consideradas como humedales por la BCN25, fueron descritas en el apartado 5.1.4 del presente proyecto.

**2. Lagunas:** se consideran lagunas la masa de agua acumulada en una depresión natural del terreno.

**3. Salinas:** la BCN define a las salinas como “mina de sal o lugar de donde se obtiene sal por evaporación de aguas salinas”.

Conviene indicar que el IHA no requiere de un tratamiento previo a su utilización como capa de referencia por tratarse de una fuente de información directa de humedales y haberse creado utilizando como base la definición referencia la adoptada por PAH.

### 7.2.2.3 Análisis comparativo

#### 1. Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal en la capa objeto de estudio (capa HR humedales) y en las capas de referencia

Los resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedales (tabla 14) muestran que el IHA es el que detecta una mayor superficie de humedales, debido principalmente a que se configuró eligiendo como información de partida, todos los humedales que tuvieran cualquier tipo de figura de protección. En muchos de estos casos la unidad geográfica cartografiada no es la cubeta del humedal, sino el límite de la figura de protección.

Por el contrario la capa HR de humedales es la que detecta menor superficie clasificada como humedal, debido a que esta capa sólo detecta como humedal la superficie de agua temporal.

Por otro lado, el porcentaje de área de humedales detectados por la capa de HR de humedales con respecto al inventario SubBCN25 es superior que al detectado por la capa de HR con respecto al IHA, lo que nos indica, a priori, que la capa de HR de humedales se ajusta mejor a la capa del inventario SubBCN25.

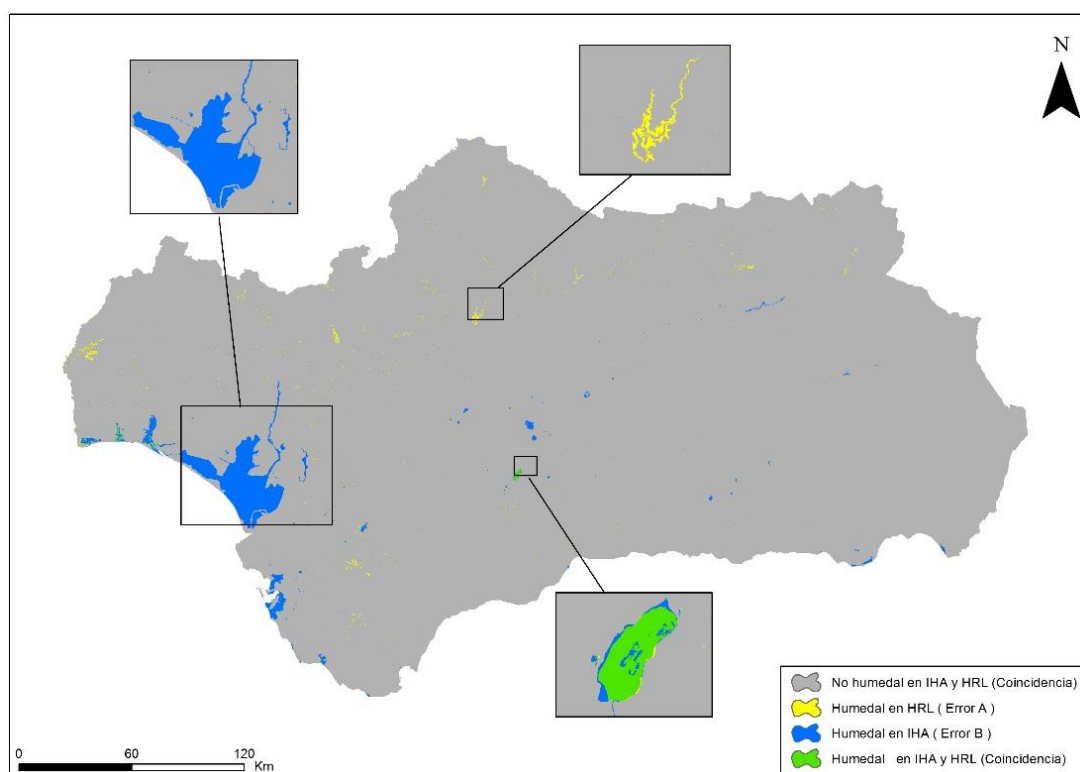


ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIE DE HUMEDALES ESCALA REGIONAL				
SUPERFICIE TOTAL IDENTIFICADA COMO HUMEDAL (ha)			% DIFERENCIAS DE SUPERFICIE	
HRL de Humedales	Inventario SubBCN25	IAH	% de superficie de Humedales de HRL incluidos en el inventario SubBCN25	% de superficie de Humedales de HRL incluidos en el IAH
21.233	50.440	134.990	42,10	15,73

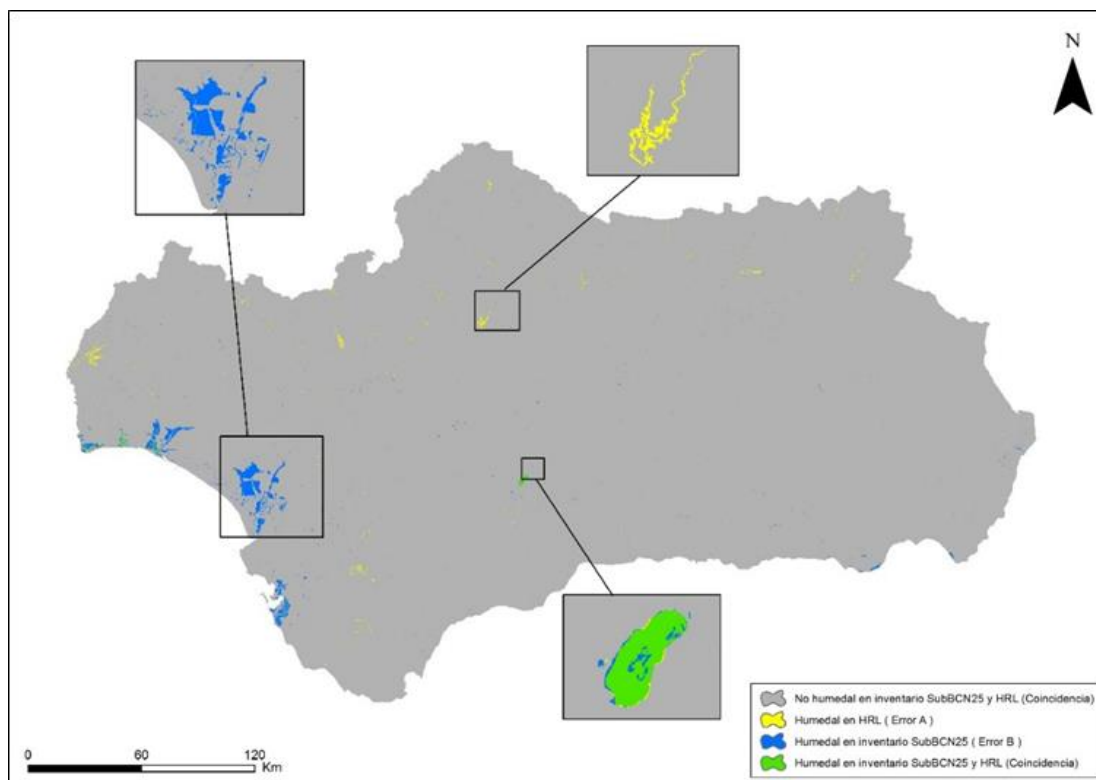
*Tabla 14. Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal a escala regional*

## 2. Análisis Comparativo detallado de Superficie Total de Humedales pixel a pixel

Las figuras 22 y 23 representan la capa de información geográfica resultante de la comparativa pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y las capa de referencia (IHA e Inventario SubBCN25 respectivamente).



*Figura 22. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales y el IHA*



*Figura 23. Capa resultante de la comparativa la capa de HR de humedales y el inventario SubBCN25*

A continuación se detallan los resultados obtenidos de las diferentes comparativas realizadas.

### **Comparativa HRL humedales y el IHA**

Los resultados del estudio detallado pixel a pixel de las diferentes clases existentes (tabla 15) muestra como tanto el error A como el error B son muy elevados y el nivel de coincidencia entre ambas capas es muy bajo. El elevado valor de error A se debe fundamentalmente a que la capa de HR de humedales detecta como humedal unidades geográficas no consideradas como tal en el IHA como los márgenes de ríos y embalses, lagunas incluidas en campos de golf, arrozales, zonas de extracción minera etc. El error B se debe a que la capa de HR de humedales detecta sólo un pequeño porcentaje de la superficie total de los humedales o incluso los omiten en su totalidad como ocurre con las marismas de Doñana o la laguna de Doña Elvira, entre otras.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL ESCALA REGIONAL					
Comparativa HRL humedales y IAH					
	Valor	Número de píxeles	Resolución (m)	Área/píxel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	214.974.125	20	400	8.598.965
Humedal en HRL	1	427.990	20	400	17.120
Humedal en IAH	2	3.271.842	20	400	130.874
Solapamiento	3	102.443	20	400	4.098

*Tabla 15. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala regional utilizando como capa de referencia el IHA*

$$\text{Error A} = \frac{17.120}{21.233} \times 100 = \mathbf{80,6\%}$$

$$\text{Error B} = \frac{130.874}{134.990} \times 100 = \mathbf{96,9\%}$$

$$\text{Coincidencia} = \frac{4.098}{21.233} \times 100 = \mathbf{19,3\%}$$

### Comparativa HRL humedales y el inventario subBCN25

Los resultados obtenidos en este análisis (tabla 16) muestran que el error A y el porcentaje de coincidencia son similares a los obtenidos en el análisis comparativo entre la capa de HR de humedales y el IAH. Sin embargo, el error B es aproximadamente un 5% inferior, debido fundamentalmente a que el IHA, en muchos casos, cartografía los humedales utilizando el límite del Espacio Natural Protegido (EENNPP). En base a estos resultados se puede concluir diciendo que el grado de ajuste de la capa de HR de humedales con respecto al IHA y al inventario SubBCN25 es bajo y prácticamente el mismo.

Es importante mencionar, que estos resultados reflejan los errores globales de clasificación, sin distinción entre el porcentaje de error atribuible a cada una de las capas que intervienen en la comparativa. Para poder determinar con exactitud el porcentaje de error atribuible a la capa de HR de humedales, dicha capa debe ser sometida a un proceso de validación espacial. En este proceso se compara la superficie detectada como error con la realidad o con capas de información que presente un alto grado de confianza y validez, con el fin de determinar qué porcentaje de los errores calculados en este proceso son realmente errores de la capa de HR de humedales.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL ESCALA REGIONAL					
Comparativa HRL humedales y el inventario SubBCN25					
	Valor	Número de píxeles	Resolución (m)	Área/píxel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	217.816.845	20	400	8.712.674
Humedal en HRL	1	429.735	20	400	17.189
Humedal en BCN25	2	1.157.678	20	400	46.307
Solapamiento	3	101.040	20	400	4.042

*Tabla 16. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala regional utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25*

$$\mathbf{Error\ A} = \frac{17.189}{21.233} \times 100 = \mathbf{80,95\%}$$

$$\mathbf{Error\ B} = \frac{46.307}{50.440} \times 100 = \mathbf{91,81\%}$$

$$\mathbf{Coincidencia} = \frac{4.042}{21.233} \times 100 = \mathbf{19,03\%}$$

### 7.2.3 Validación espacial

#### 7.2.3.1 Selección y pretratamiento de las capas de referencia

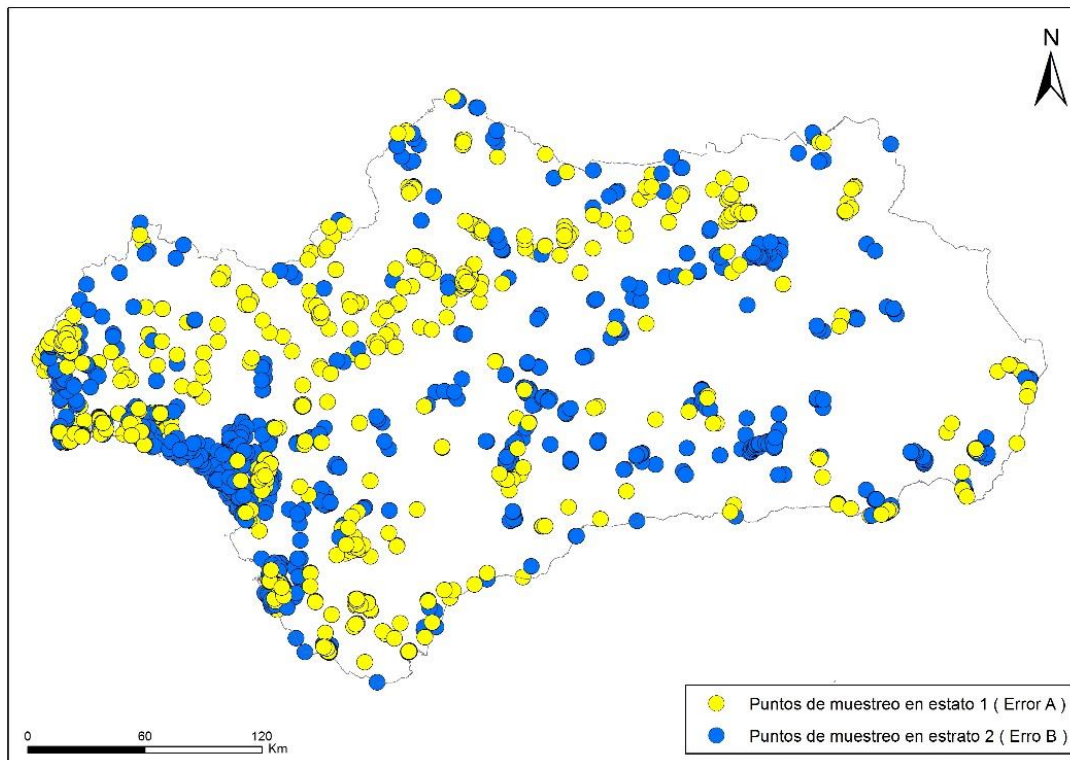
A modo de recordatorio, las capas utilizadas como referencia en el proceso de validación espacial son: el CLC para el caso de la validación pixel a pixel y las ortofotografías disponibles en el visor de imágenes satélite Google Earth para el proceso de validación por entidad espacial.

#### 7.2.3.2 Diseño del muestreo para la validación espacial

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de las técnicas de muestreo (apartado 6.4.2) en los dos métodos de validación aplicados.

### Validación espacial basada en píxeles

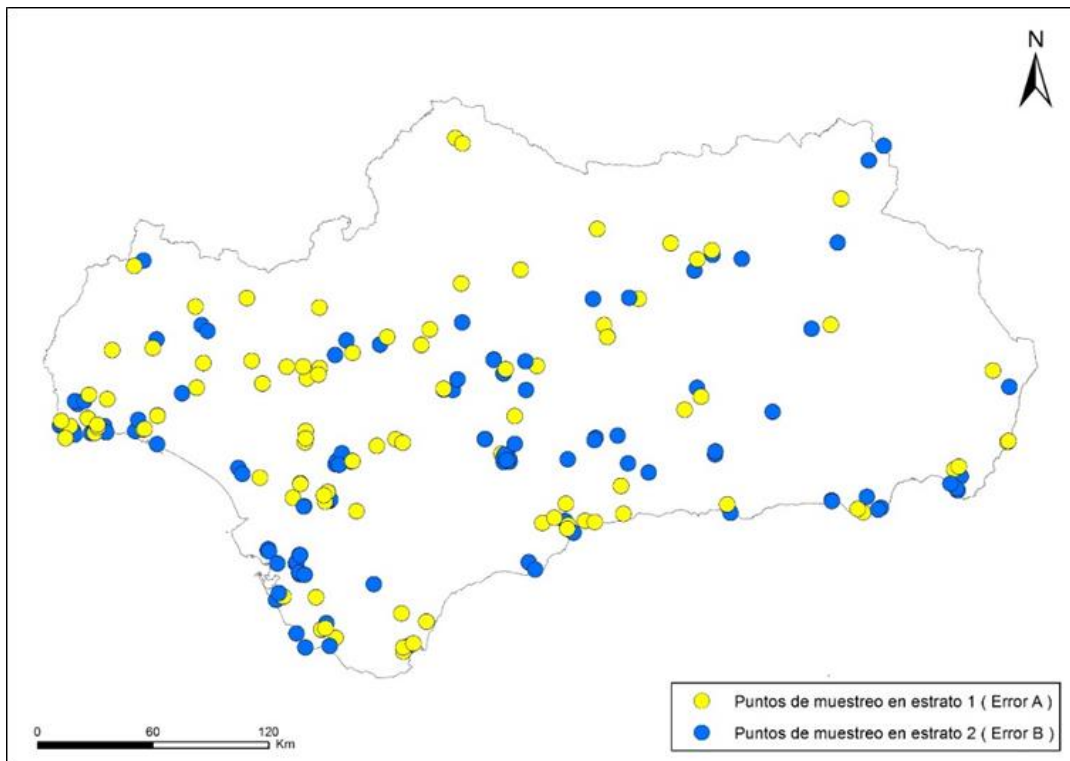
Debido al hecho de que en el proceso de validación no espacial se han realizado dos comparativas, la muestra en este proceso está compuesta por 1600 puntos de muestreo (**Figura 24**), 800 se seleccionan utilizando como estrato los errores A y B calculados en análisis comparativo pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y el IHA y 800 utilizando como estrato los errores A y B calculados en análisis comparativo pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y el inventario SubBCN25.



*Figura 24. Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en píxeles*

### Validación espacial basada en humedales

La muestra está compuesta por 200 puntos de muestreo (figura 25), 100 se seleccionan utilizando como estrato los errores A y B calculados en el proceso de validación no espacial (comparativa HRL humedales y el IHA) y la otra mitad utilizando como estrato los errores A y B calculados en la comparativa HRL humedales y el inventario SubBCN25.



*Figura 25. Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en humedales*

### 7.2.3.3 Matriz de confusión. Análisis de los errores y validación del proceso

#### Validación espacial basada en píxeles

La matriz de confusión (tabla 17) generada a partir de los valores de píxel (“Sí humedal”, “No humedal”) obtenidos en cada punto de muestreo ofrece valores de errores de comisión para la clase 1 y 2 del 59,63% y 24,25% respectivamente, lo que indica que el 59,63% del error A y el 24,25% del error B obtenidos en la comparativa de superficie píxel a píxel entre la capa de HR de humedales y las capas de referencia (IHA y el inventario SubBCN25), son errores atribuibles a la capa de la capa de HR de humedales.

Para la clase 1 (presencia de humedales), tanto la precisión del usuario como la del productor son bajas, un 40,38 % y un 62,48 % respectivamente, lo que consecuentemente se traduce en un alto valor de los errores de comisión y omisión (59,63% y 37,52%). Estos resultados indican, por un lado, que el 59,63% % de los píxeles clasificados como humedal en la capa de HR de humedales realmente no pertenecen a esta clase, es decir, no son humedales y por otro lado que el 37,52% de los píxeles que están clasificados como humedales en la capa de referencia no son detectados como tal en la capa de HR de humedales.

La precisión global del proceso es del 58%, por lo que el 58% de los píxeles muestreados pertenecen a la misma clase tanto en la capa de HR de humedales como en la capa CLC.

El estadístico K ofrece un valor de 0,16 lo que indica, según la clasificación del estadístico Kappa propuesta por Landis y Koch (tabla 6), que el grado de ajuste entre ambas capas es insignificante.





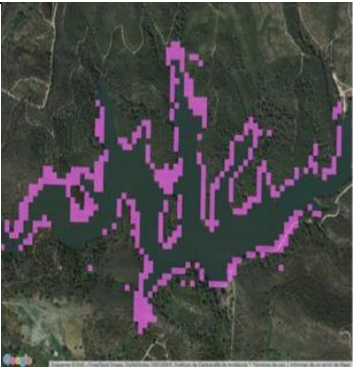
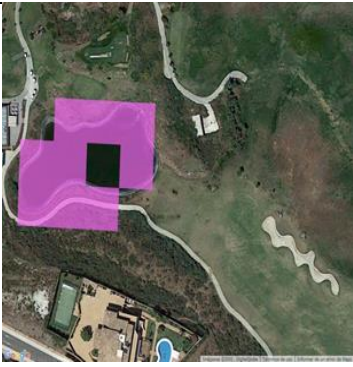



En definitiva, el éxito global de la clasificación es bajo, ya que la precisión global no alcanza el valor mínimo estandarizado y aceptado en un 80% para poder decir que la clasificación ha sido exitosa.

Capa HR de humedales	Capa de Referencia CLC					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	323	477	800	40,38%	59,63%
	Clase 2 (No humedal)	194	606	800	75,75%	24,25%
	<b>Total</b>	517	1083	1600		
	<b>Precisión del productor</b>	62,48%	55,96%			
	<b>Error de Omisión</b>	37,52%	44,04%			










*Tabla 17. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles*

## Validación espacial basada en humedales

La validación espacial basada en humedales (se analiza la entidad espacial en sí, no el valor del píxel, apartado 6.4.3.) se ha realizado comparando la capa de HR de humedales y con la fotografía satelital de Google Earth. En la siguiente tabla se muestran algunos de los errores más representativos detectados en este proceso de validación.

Errores de Comisión		
Zona de extracción de áridos	Arrozales	Balsas de riego
		
Ríos	Embalses	Campos de golf
		
Terrenos regados	Contrucción	Zona forestal
		
Coberturas definidas como humedal en la capa de HR (en magenta) que han sido clasificadas como “No humedales” en el proceso de fotointerpretación		



<b>Errores de Omisión</b>		
Marismas del Odiel	Marismas de Doñana	Salinas de Cabo de Gata
		
Salinas de Cerrillos	Turberas de Padul	Albuferas
		
Rambla Morales	Laguna de Hituelo	Laguna de Doña Elvira
		
Coberturas no definidas como humedal en la capa de HR o definidas con una superficie inferior al 30 % de la cobertura real (en magenta) que han sido clasificadas como humedal en el proceso de fotointerpretación		

*Tabla 18. Errores de clasificación detectados en el proceso de fotointerpretación de la validación espacial*

La fotointerpretación muestra los principales **errores de comisión** en las zonas temporalmente secas dentro de los límites de las cuencas de los embalses y en superficies de agua permanentes, tanto naturales (ríos, lagos) como artificiales (balsas de riego, balsas para ganado,

lagunas artificiales de campos de golf, piscinas etc.). Otros errores de comisión importantes se detectaron en grandes áreas de cultivo de arroz y en terrenos agrícolas de regadío. Se localizaron además errores de comisión aislados en zonas de construcción como vías de comunicación y parkings.

En cuanto a los **errores de omisión**, los errores más importantes se detectan en humedales costeros (marismas, zonas llanas intermareales, albuferas, estuarios y salinas). Tanto es así que uno de los humedales más importantes de España, como es el caso de las marismas de Doñana, es omitido completamente en la capa de HR de humedales. Los humedales interiores tampoco son detectados en su totalidad, existen muchos casos en los que la capa de HR sólo detecta una mínima parte de la extensión del humedal e incluso en algunas ocasiones, quedan completamente omitidos.

Con los valores obtenidos en el proceso de fotointerpretación (“Sí humedal, “No humedal”) en la totalidad de los puntos de muestreo se genera la matriz de confusión (tabla 19) con el fin de determinar el grado de coincidencia entre la capa de HR de humedales y la realidad del terreno (ortofotografías del visor Google Earth).

Capa HR de humedales	Capa de Referencia. Ortofotografías de Google Earth					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	8	92	100	8,00%	92,00%
	Clase 2 (No humedal)	75	25	100	25,00%	75,00%
	<b>Total</b>	83	52	200		
	<b>Precisión del productor</b>	9,64%	21,37%			
	<b>Error de Omisión</b>	90,36%	78,63%			

*Tabla 19. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales*

Para la clase 1 (presencia de humedales), tanto la precisión del usuario como la del productor son muy bajas, un 8 % y un 9,64 % respectivamente, lo que consecuentemente se traduce en un alto valor de los errores de comisión y omisión.

El error de comisión de la clase 1 (“Sí humedal”) es del 92%, lo que significa que de las 100 puntos de muestreo definidos como humedal en la capa de HR de humedales, 92 realmente no pertenecen a esta clase, es decir, no son humedales. El error de omisión (90,36%) indica que de las 83 coberturas clasificadas como humedal en la capa de referencia, 75 no están clasificados como humedales en la capa de HR de humedales.

## 8 PROPUESTAS DE MEJORA DE LA CAPA DE HR DE HUMEDALES

### 8.1 Justificación

Los resultados obtenidos en los procedimientos de validación aplicados a la capa de HR de humedales muestran que la exactitud temática no es suficiente para apoyar a los Estados Miembros en sus actividades nacionales de inventariado y monitoreo para la gestión de los humedales. La información de la capa de HR de humedales no es consistente con las fuentes de información de humedales existentes en nuestro país, debido principalmente a la propia definición de humedal desarrollada en la metodología de detección de la capa de HR humedales en la que se muestra como esta capa excluye las superficie de aguas permanente, llegando incluso a incluir únicamente los márgenes de humedales (ver ejemplo en la tabla 3, apartado 5.2). Por lo tanto, esta definición se considera inadecuada e incoherente, por carecer de una base científica que tenga en cuenta el concepto de humedal como un sistema ecológico o ecosistema.

Con el objetivo de superar estos inconvenientes, en el presente trabajo se ha procedido a realizar dos propuestas de mejora de la capa de HR de humedales:

**Propuesta 1.** Creación de una capa de HR resultante de la unión de la capa de HR de humedales y la capa de HR de cuerpos de agua permanente.

**Propuesta 2.** Creación de una capa de HR de humedales en base a una definición científica de humedal.

Ambas propuestas de mejoras han sido sometidas a los procesos de validación anteriormente expuestos para cerciorar que realmente existe una mejora respecto a la original. Estas validaciones se han realizado a escala regional pero son extrapolables a escala nacional.

### 8.2 Propuesta 1. Creación de una capa de humedales resultante de la unión de la capa de HR de humedales y la capa de HR de cuerpos de agua permanente

La capa de información de aguas permanentes es otra capa de alta resolución perteneciente al proyecto Copérnico<sup>19</sup>. Esta capa, se puede combinar espacialmente con la capa de HR de humedales para obtener una nueva capa, que represente los humedales como una unidad, constituida tanto por la superficie de agua temporal como la superficie de agua permanente. Con

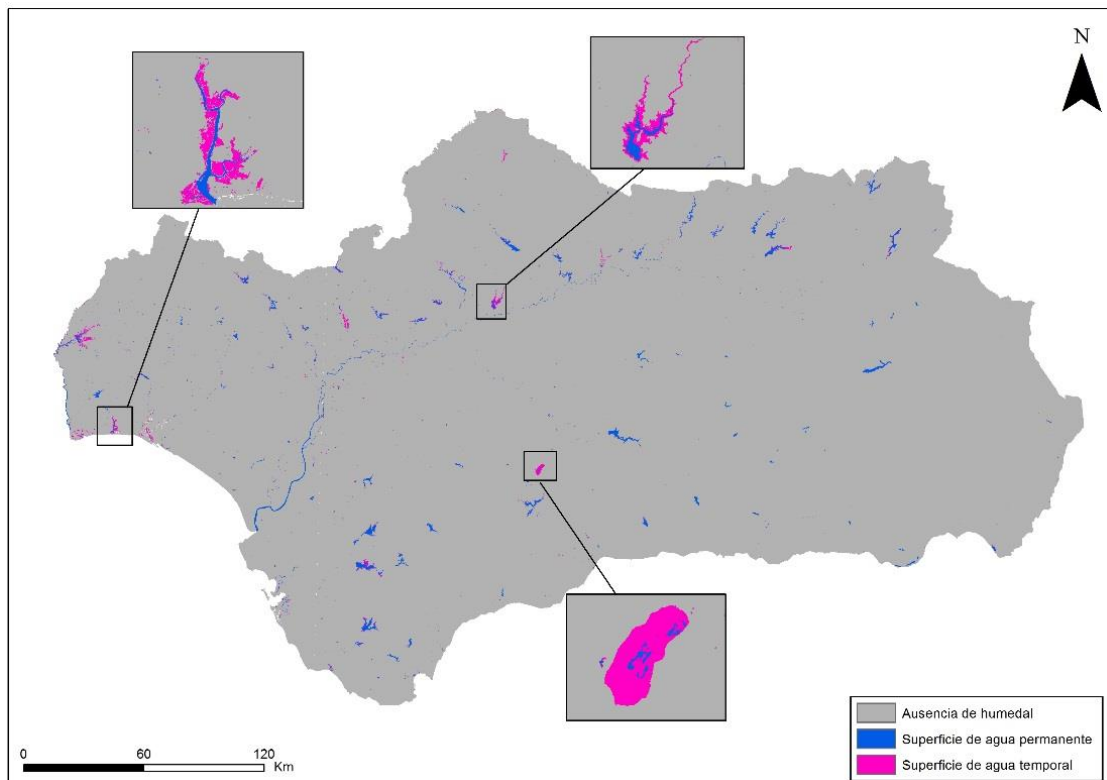
---

<sup>19</sup> <http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/permanent-water-bodies/view>

la unión simple de estas dos capas de HR se consigue que en “la nueva capa” se identifiquen como humedal tanto la sección de agua temporal como la de agua permanente, sin embargo, se incluyen otras muchas masas de agua que no son humedales (ríos, embalses, balsas, etc.).

El objetivo es determinar el grado de detección de humedales de ambas capas de forma conjunta y comprobar si la precisión global de esta nueva capa mejora hasta alcanzar el valor requerido por la AEMA (precisión del 80%).

La figura 26 representa la capa de información geográfica resultante de la unión de la capa de HR de humedales y la capa de HR de cuerpos de agua permanente, en adelante, capa de HR de MAS (capa de HR de Masas de Agua Superficial).



*Figura 26. Representación de la capa resultante de la unión de la capa HR de humedales y HR de cuerpos de agua permanente (“capa de HR de masas de agua superficial”)*




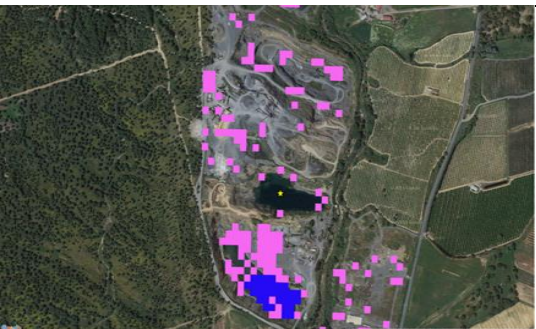
La metodología de validación de la capa de HR de MAS es exactamente la misma que la utilizada para la validación de la capa de HR de humedades (apartado 6). En los siguientes apartados se exponen y analizan los resultados obtenidos.



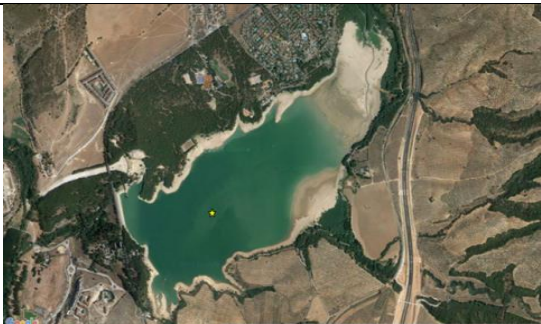
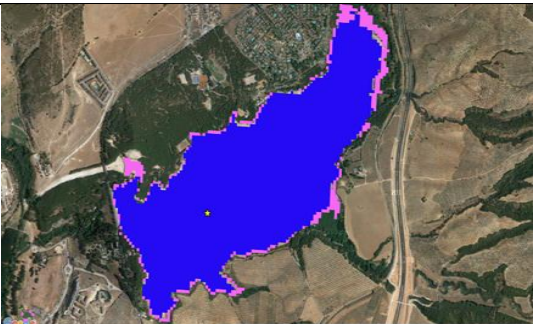


## 8.2.1 Resultados y análisis


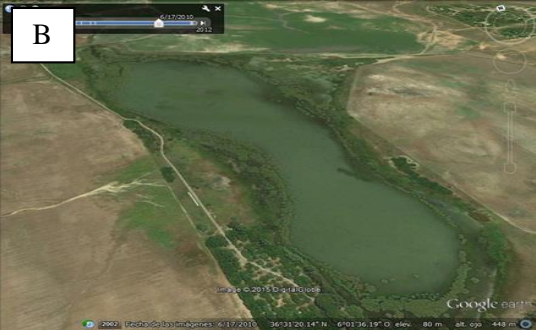



### 8.2.1.1 Validación cualitativa

El proceso de validación cualitativa se realiza siguiendo la metodología expuesta el apartado 6.2 del presente proyecto. La distribución de los puntos de muestro pueden consultarse en el apartado 7.2.1

A continuación se muestran los ejemplos más significativos de los errores encontrados en los 50 puntos de muestreo fotointerpretados (30 puntos para la localización de los errores de comisión y 20 para la localización de los errores de omisión). Las imágenes muestran en magenta la capa de HR de humedales y en azul la capa de HR de cuerpos de agua permanente.

Campos de Golf	
Fecha: 2007	
	
<b>Error de Comisión.</b> Lagunas artificiales del campo de golf de Islantilla (Huelva) incorrectamente clasificada como humedal	
Zonas de extracción minera	
Fecha: 2010	
	
<b>Error de Comisión.</b> Zona de extracción minera localizada en Cartaya (Huelva) incorrectamente clasificada como humedal	

<b>Ríos</b>	
Fecha: 2007	
	
<b>Error de Comisión.</b> Mezcla de píxeles clasificados como cuerpo de agua permanente (en azul) y humedales (en magenta) en el río Tinto	
<b>Embalses</b>	
Fecha: 2010	
	
<b>Error de Comisión.</b> Embalse de Cubillas localizado en el término municipal de Albolote (Granada) incorrectamente clasificado como humedal	
<b>Salinas</b>	
Fecha: 2010	
	
<b>Error de Omisión.</b> Salinas de Santa María (Cádiz) completamente omitida	

<b>Lagunas</b>	
Fecha: 2010	
<b>A</b>	<b>B</b>
	
<b>C</b>	
<p><b>Error de Omisión.</b> A) Laguna de Rincón del Muerto localizada en Baena (Córdoba), B) Laguna del Comisario situada en Puerto Real (Cádiz), completamente omitidas. C) Laguna del Rico localizada en el término municipal de Zafarraya (Granada) en la que se detecta menos del 30% de su superficie</p>	
<b>Marismas</b>	
Fecha: 2012	
<b>A</b>	<b>B</b>
	
<p><b>Error de Omisión.</b> A) Marisma de Doñana, completamente omitida. B) Marisma de Barbate, parcialmente detectada por las capas de HR</p>	

*Tabla 20. Ejemplos más significativos de los errores de detectados en el proceso de validación cualitativa*



### 8.2.1.2 Validación no espacial

#### 1. Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedales

La tabla 21 recoge los resultados obtenidos en el análisis comparativo de superficie de humedales en la capa objeto de estudio (capa de HR de MAS) y en las capas de referencia (IHA e inventario SubBCN25).

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIE DE HUMEDALES				
SUPERFICIE (ha)			% DEFERENCIAS DE SUPERFICIE	
"HRL de MAS"	Inventario SubBCN25	IAH	% de superficie de Humedales de "HRL MAS" incluidos en el inventario SubBCN25	% de superficie de Humedales de "HRL MAS" incluidos en el IAH
71.707	50.440	134.990	142,16	53,12

*Tabla 21. Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal*

La capa de HR de MAS detecta 21.000 ha más de superficie de humedales que el inventario SubBCN25 pero sigue detectando un menor porcentaje de superficie de humedales que el IHA. El porcentaje de área de humedales detectados por la capa de HR de MAS con respecto al IHA es de un 53,12%, es decir, de cada 100 hectáreas de humedales cartografiados en el IHA, 53,12 hectáreas son detectadas en la capa de HR de MAS. Esta diferencia porcentual se debe principalmente a que ni la capa de HR de humedales ni la capa de cuerpos de agua permanente que conforman la capa de HR de MAS detecta muchos de los humedales incluidos en el IHA humedales (laguna de Siles, laguna de Orcera, laguna del comisario, laguna de Ruíz Sánchez etc.).

#### 2. Análisis Comparativo detallado de Superficie Total de Humedales pixel a pixel

Las figuras 27 y 28 representan la capa de información geográfica resultante de la comparativa pixel a pixel entre la capa de HR de MAS y la capa de referencia (IHA e Inventario SubBCN25 respectivamente).

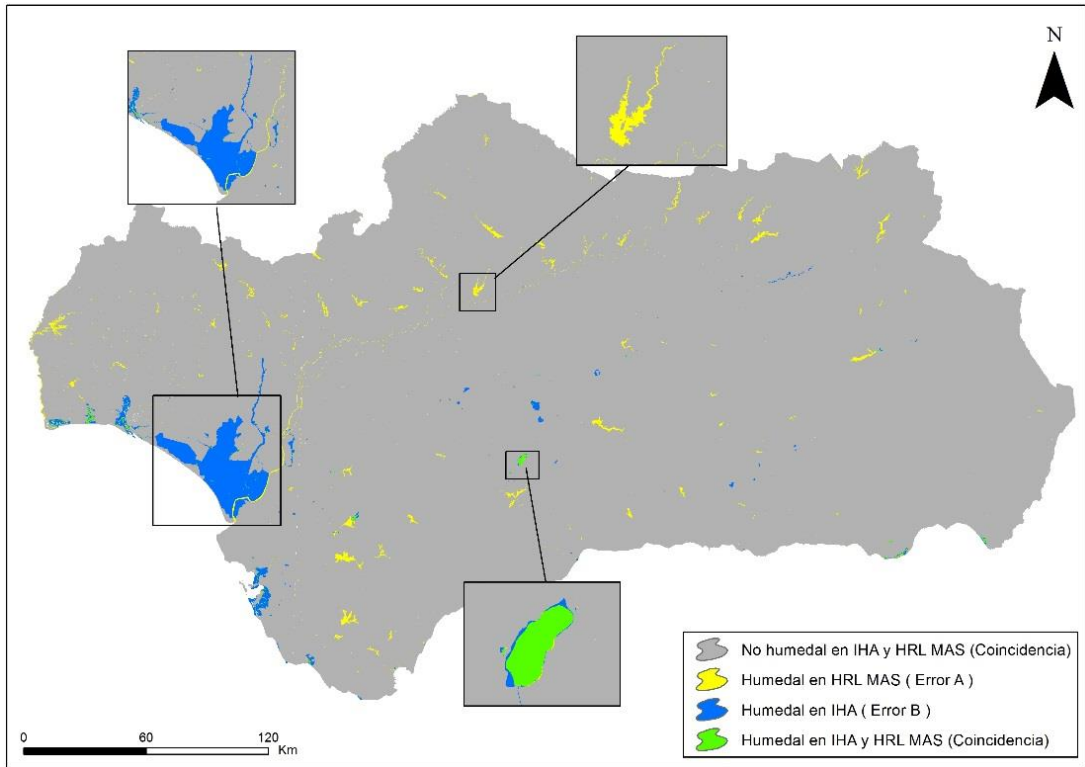


Figura 27. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de MAS y el IHA

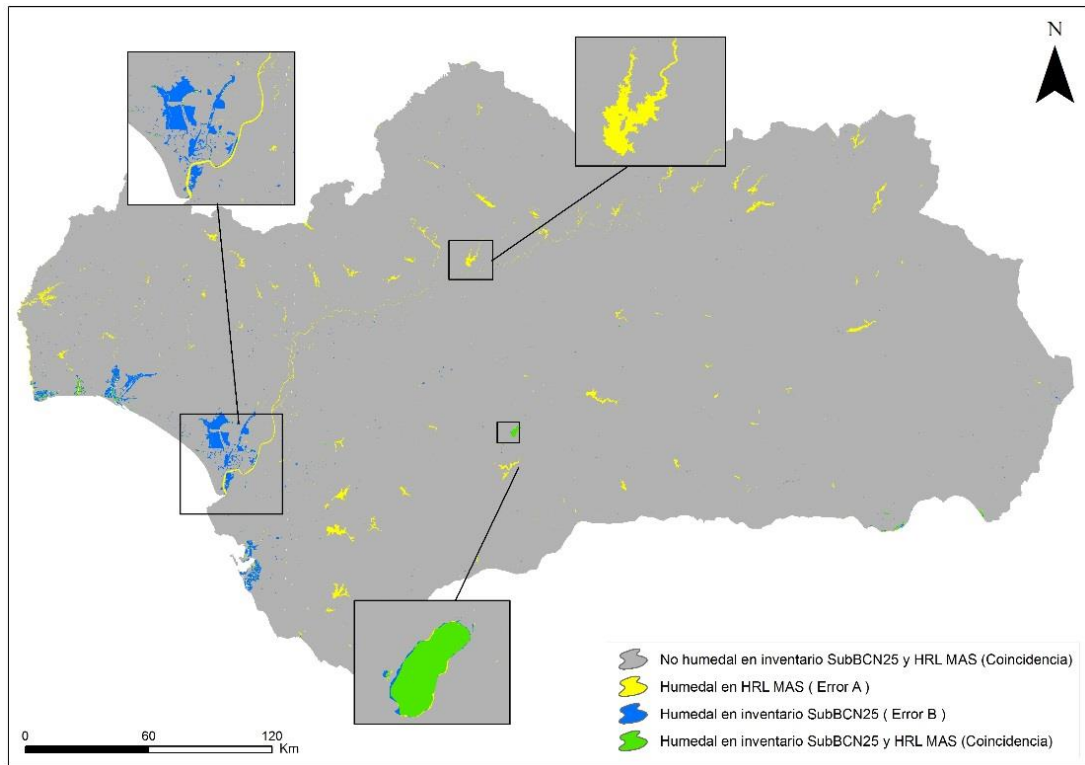


Figura 28. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de MAS y el inventario SubBCN25

A continuación se detallan los resultados obtenidos de las diferentes comparativas realizadas.

### Comparativa capa de HR de MAS y el IHA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL					
Comparativa HRL MAS y el IAH					
	Valor	Número de pixeles	Resolución (m)	Área/pixel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	213.738.864	20	400	8.549.555
Humedal en HRL MAS	1	1.597.846	20	400	63.914
Humedal en IAH	2	3.152.887	20	400	126.115
Solapamiento	3	191.623	20	400	7.665

*Tabla 22. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el IHA*

$$\text{Error A} = \frac{63.914}{71.707} \times 100 = \mathbf{89,13\%}$$

$$\text{Error B} = \frac{126.115}{134.990} \times 100 = \mathbf{93,42\%}$$

$$\text{Coincidencia} = \frac{7.665}{71.707} \times 100 = \mathbf{10,68\%}$$

### Comparativa capa de HR de MAS y el inventario subBCN25

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL					
Comparativa HRL MAS y el inventario SubBCN25					
	Valor	Número de pixeles	Resolución (m)	Área/pixel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	215.808.159	20	400	8.632.326
Humedal en HRL MAS	1	1.636.487	20	400	65.459
Humedal en BCN25	2	1.088.624	20	400	43.545
Solapamiento	3	152.883	20	400	6.115

*Tabla 23. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25*

$$\mathbf{Error\ A} = \frac{65.459}{71.707} \times 100 = \mathbf{91,12\%}$$

$$\mathbf{Error\ B} = \frac{43.545}{50.440} \times 100 = \mathbf{86,31\%}$$

$$\mathbf{Coincidencia} = \frac{6.115}{71.707} \times 100 = \mathbf{8,52\%}$$

Los resultados obtenidos del análisis de superficies pixel a pixel de la capa de HR de MAS, muestran, en general, que tanto el error A como el error B continúan siendo son muy altos y el nivel de coincidencia muy bajo. Los errores A detectados en ambas comparativas son muy similares, mientras que el error B es discretamente superior en la comparativa con el IHA debido a que esta capa cartografía los humedales sujetos a cualquier tipo de figura de protección utilizando el límite de dicha figura de protección. Aun así, existe un mayor grado de superficie coincidente entre la capa de HR de MAS y el IHA, lo que indica que la capa de HR de MAS se ajusta mejor al IHA.

### **8.2.1.3 Validación espacial**

#### **Validación espacial basada en píxeles**

El proceso de validación espacial basado en píxeles de la capa de HR de MAS se realiza mediante dos procedimientos diferentes con el fin de determinar tanto el grado de detección de las masas de agua superficial, como el grado de detección de humedales.

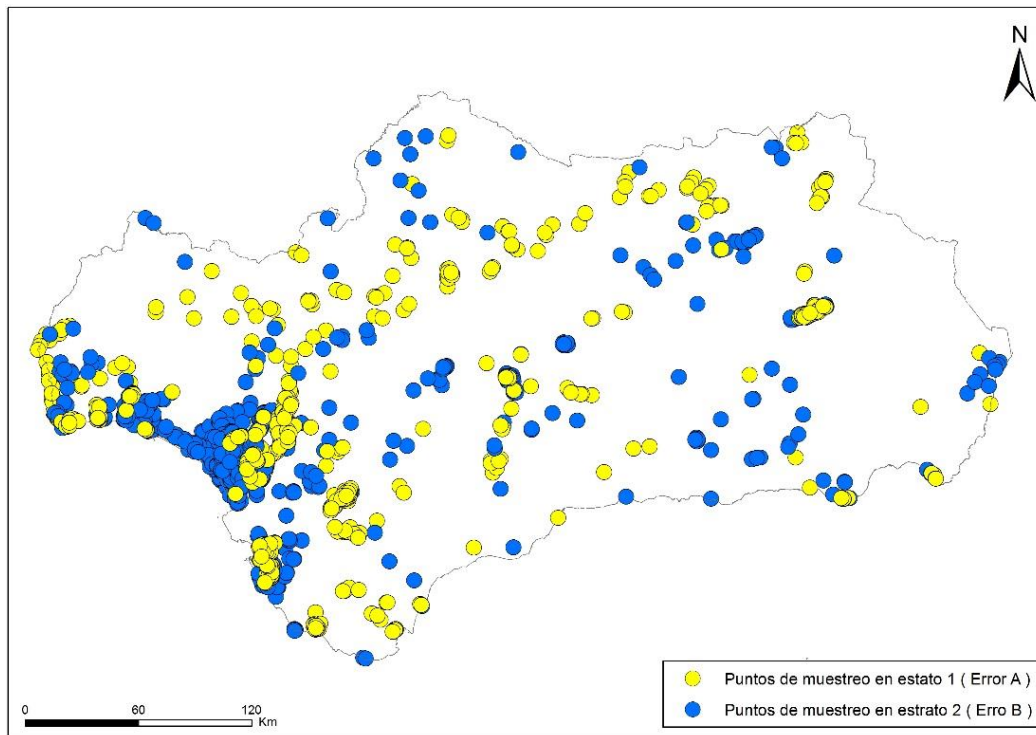
Para estimar el grado de detección de las masas de agua superficiales, en el pretratamiento de la capa CLC para que pueda ser utilizada como capa de referencia se deben seleccionar además de las consideradas como humedales (CLC 400), las consideradas como agua superficial, ya que la capa de HR de MAS incluye los cuerpos de agua permanente (ríos, embalses, canales etc.,).

Las clases de usos y coberturas del suelo consideradas como superficies de agua en el CLC son:

- 511: Cursos de agua: ríos y cauces naturales y canales artificiales.
- 512: Láminas de agua: lagos, lagunas y embalses
- 521: lagunas costeras

- 522: estuarios

La figura 29 representa la distribución de los puntos de muestreo utilizando como estrato los errores A y B calculados en análisis comparativo pixel a pixel entre la capa de HR de MAS y las capas de referencia (IHA e inventario SubBCN25).



*Figura 29. Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en píxeles*

La matriz de confusión (tabla 24) generada para determinar el grado de detección de las masas de agua superficial ofrece valores de errores de comisión para la clase 1 y 2 de 20,50% y 43,88%, lo que indica que el 20,50% del error A y el 43,88% del error B obtenidos en la comparativa de superficie pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y las capas de referencia (IHA y el inventario SubBCN25), son errores atribuibles a la capa de la capa de HR de humedales.

Para la clase 1 (presencia de humedales), los errores de comisión y omisión son del 20,50% y del 35,56 % respectivamente. Estos resultados indican, por un lado, que el 20,50% de los píxeles clasificados como humedal en la capa de HR de humedales realmente no pertenecen a esta clase, es decir, no son humedales y por otro lado que el 35,56 % de los píxeles que están clasificados como humedales en la capa de referencia no son detectados como tal en la capa de HR de humedales.

La precisión global calculada a partir de los datos recogidos en la matriz de confusión es del 67,8%, es decir, el 67,8 % de los píxeles muestreados son clasificados en la misma categoría en la capa de HR de MAS y en la capa CLC.

El coeficiente Kappa ofrece un valor de 0.35, lo que se traduce en un bajo nivel de acuerdo entre las capas según la escala de valoración del coeficiente K de Landis y Koch. El estadístico Kappa indica que la clasificación es un 35% mejor que si se realizara de manera aleatoria.

El valor de la precisión global sigue siendo inferior al requerido (80%) para que la clasificación sea considerada exitosa.

Capa HR de MAS	Capa de Referencia CLC (Clase 400 y 500)					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	636	164	800	79,50%	20,50%
	Clase 2 (No humedal)	351	449	800	56,13%	43,88%
	<b>Total</b>	987	613	1600		
	<b>Precisión del productor</b>	64,44%	73,25%			
	<b>Error de Omisión</b>	35,56%	26,75%			

*Tabla 24. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles de la capa de HR de MAS para estimar el grado de detección de las MAS*

Para poder determinar el grado de detección de humedales de la capa de HR de MAS y a la vez comprobar si detecta mejor los humedales que la capa de HR de humedades, generamos la matriz de confusión utilizando los mismos puntos de muestreo (apartado 7.2.3.2). En este caso, en el tratamiento previo del CLC se seleccionan las clases consideradas como humedales (CLC 400).

La matriz de confusión (tabla 25) ofrece valores de errores de comisión para la clase 1 y 2 de 65,88% y 21,71% respectivamente, lo que indica que el 65,88% del error A y el 21,71% del error B obtenidos en la comparativa de superficie pixel a pixel entre la capa de HR de humedales y las

capas de referencia (IHA y el inventario SubBCN25), son errores atribuibles a la capa de HR de humedales.

Los errores de comisión y omisión para la clase 1, son del 65,88% y del 31,32% respectivamente lo que indica que el 65,88% de los píxeles clasificados como humedal en la capa de HR de MAS realmente no pertenecen a esta clase, es decir, no son humedales y por otro lado que el 31,32% de los píxeles que están clasificados como humedales en la capa de referencia no son detectados como tal en la capa de HR de MAS.

El estadístico K ofrece un valor de 0,11 lo que indica que el grado de concordancia es muy pobre, es decir, según la clasificación del estadístico Kappa propuesta por Landis y Koch el grado de ajuste entre ambas capas es insignificante.

La precisión estimada a partir de la matriz de confusión es del 52,56%, por lo que no se alcanza el valor mínimo estandarizado y aceptado en un 80% para poder decir que la clasificación ha sido exitosa.

Capa HR de MAS	Capa de Referencia CLC (Clase 400)					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	318	614	932	34,12%	65,88%
	Clase 2 (No humedal)	145	523	668	78,29%	21,71%
	<b>Total</b>	463	1137	1600		
	<b>Precisión del productor</b>	68,68%	46,00%			
	<b>Error de Omisión</b>	31,32%	54,00%			





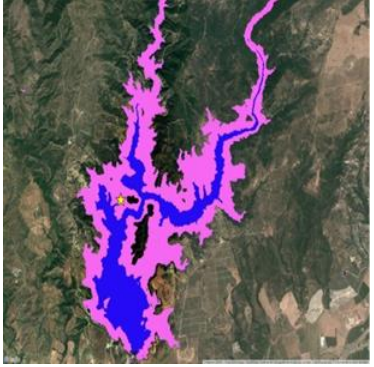




*Tabla 25. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles de la capa de HR de MAS para estimar el grado de detección de humedales*



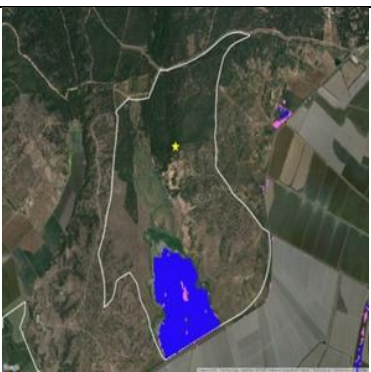






### **Validación espacial basada en humedales**

El proceso de fotointerpretación se realiza en los mismos puntos de muestreo que los utilizados en el proceso de validación espacial basado en humedales de la capa de HR de humedales (apartado 7.2.3.2), con el fin de comparar los resultados obtenidos en este proceso, con los obtenidos de la fotointerpretación de la capa de HR de MAS e identificar posibles mejoras.

A continuación se muestran los ejemplos más importantes de errores de comisión y omisión detectados en el proceso de fotointerpretación de la capa de HR de MAS.



Errores de Comisión		
Arrozales	Terrenos regados	Extracción de áridos
		
Ríos	Embalses	Campos de Gof
		
Construcción	Basas de riego	Invernaderos
		
<p>Coberturas definidas como humedal en la capa de HR de MAS (HRL de humedales, en magenta y HRL de cuerpos de agua permanente, en azul) que han sido clasificadas como “No humedales” en el proceso de fotointerpretación</p>		

Errores de Omisión		
Marisma de Isla Cristina	Rambla Morales	Laguna de la Dehesa
		
Laguna Hondilla	Turberas de Padul	Bahía de Cádiz
		
Charca Suarez	Laguna del Rico	Laguna Medina
		
<p>Coberturas no definidas como humedal en la capa de HR de MAS o definidas con una superficie inferior al 30 % de la cobertura real que han sido clasificadas como humedal en el proceso de fotointerpretación. En magenta se representa la capa HR de humedales y en azul la capa HR de cuerpos de agua permanente</p>		

*Tabla 26. Ejemplos más significativos de los errores de clasificación detectados en proceso de validación espacial de la capa de HR de MAS*

La (tabla 27) muestra la matriz de confusión generada a partir de los valores obtenidos en el proceso de fotointerpretación (“Sí humedal”, “No humedal”).

Capa HR de humedales conjunta	Capa de Referencia. Ortofotografías de Google Earth					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	8	92	100	8,00%	92,00%
	Clase 2 (No humedal)	46	54	100	54,00%	46,00%
	<b>Total</b>	54	146			
	<b>Precisión del productor</b>	14,81%	36,99%			
	<b>Error de Omisión</b>	85,19%	63,01%			

*Tabla 27. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales de la capa de HR de MAS*

El error de comisión para la clase 1 (Sí humedal) es muy alto (92%) debido a que en la capa de HR de MAS se detectan como humedales entidades geográficas diferentes a las consideradas como humedal en la definición de referencia utilizada en el proceso de fotointerpretación, tales como ríos, embalses, canales, balsas de riego etc. Con respecto al error de omisión, aunque también es elevado (85,19%), es menor que el error de comisión. Este valor tan alto de omisión es debido a que aun considerando la superficie de agua permanente como parte del humedal una gran parte de los humedales no son detectados, o la superficie detectada es inferior al 30% de la superficie real.

### **8.3 Propuesta 2. Creación de una capa de HR de humedales en base a una definición científica de humedal**

Determinar si una porción de la superficie terrestre es o no un humedal, puede traer consigo importantes consecuencias respecto al desarrollo de programas de conservación-explotación, inversiones económicas, afecciones legales y de uso del suelo (CMAJA, 2002). Por este motivo y dado que el principal objetivo de las capas de HR de Copérnico es el de dar soporte a las

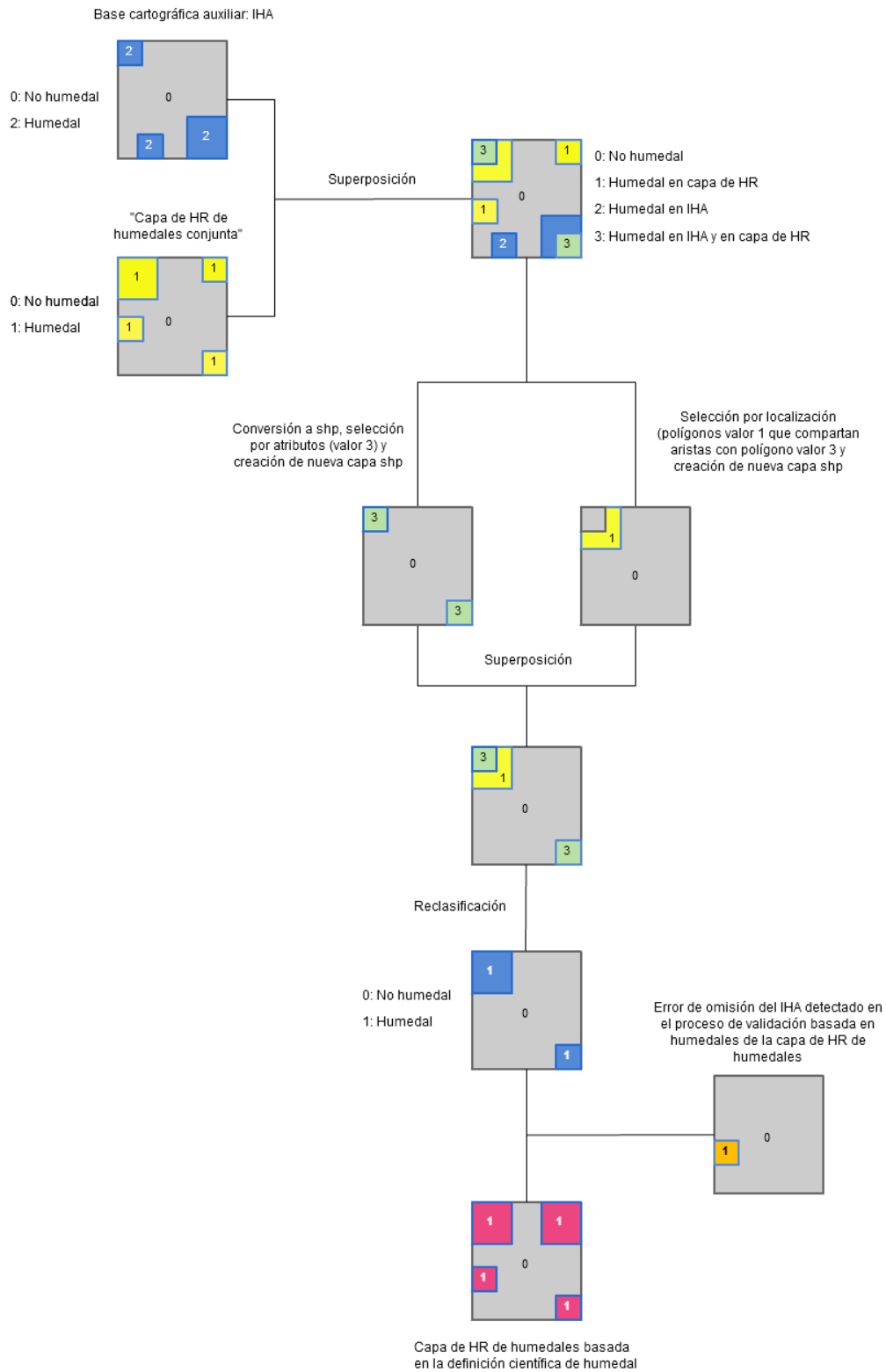
autoridades públicas que necesiten información espacial para elaborar programas de conservación y gestión es muy importante tener una definición robusta de humedal.

Tal y como se ha demostrado en apartados anteriores, las capas de HR detectan unidades geográficas que no son consistentes con la definición científica de humedal, por lo que resulta necesario determinar con exactitud qué es y qué no es un humedal.

Con el fin de superar las diferencias en cuanto a la definición de humedal se propone crear una capa derivada de la de HR de las MAS que contenga únicamente los humedales cartografiados en base a la definición científica de humedal. Para ello utilizamos como base para la redefinición y mejora, el inventario andaluz de humedales. El uso de información in-situ en la metodología de creación de capas de cartografía derivadas de las imágenes de satélites es un proceso común que da mayor robustez a los resultados obtenidos.

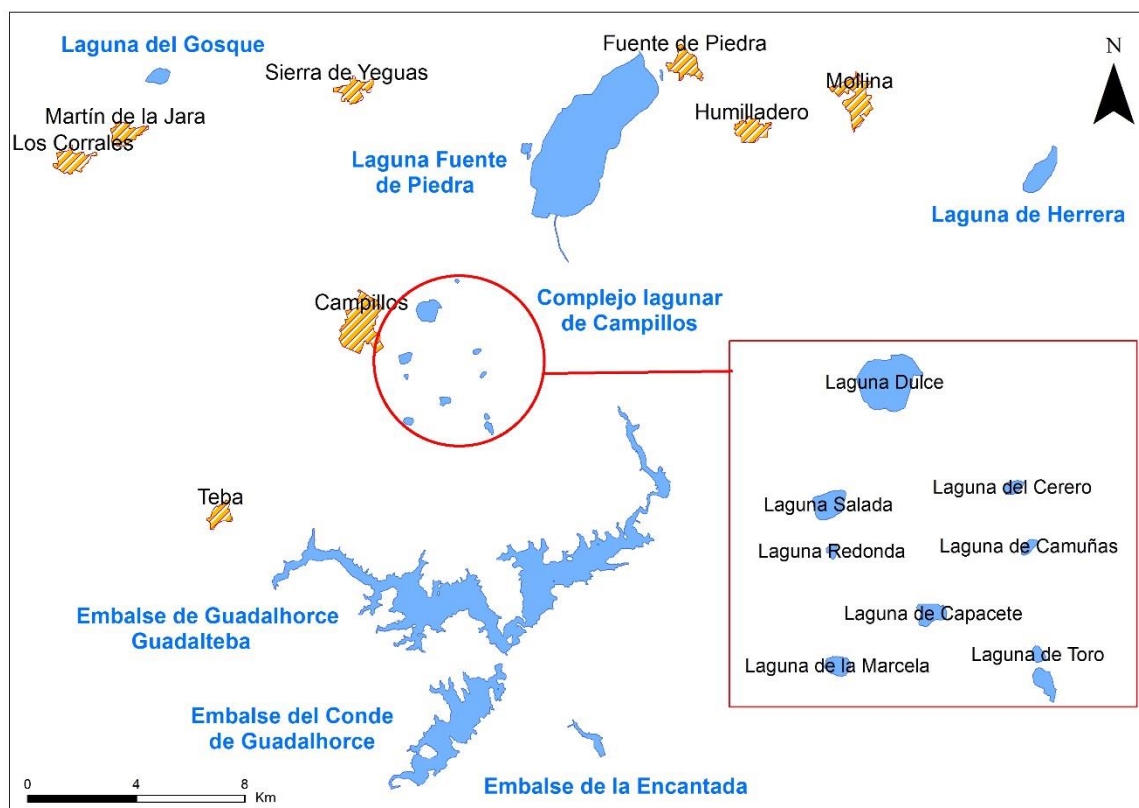
La metodología utilizada para la creación de esta nueva capa de información geográfica se basa en la realización de una serie de operaciones de geoprocésamiento con el programa ArcGis (figura 30). El enfoque general consiste en crear una capa de información geográfica que contenga únicamente las entidades espaciales de la capa de HR de MAS que estén representadas en el IHA. Para solventar los errores de omisión del IHA detectados en el proceso de validación basado en humedales de la capa de HR de humedales (humedales detectados tanto en la capa de HR como en el CLC que no se encuentran cartografiados en el IHA), como paso final del proceso, se realiza la superposición de la capa generada con estos errores.

El objetivo principal de esta propuesta de mejora es determinar el grado de detección de humedales de las capas de HR en base a una definición científica de humedal para poder conocer cómo influiría el aporte por parte de los Estados de toda la información existente en ellos, en la calidad de las capas de HR.



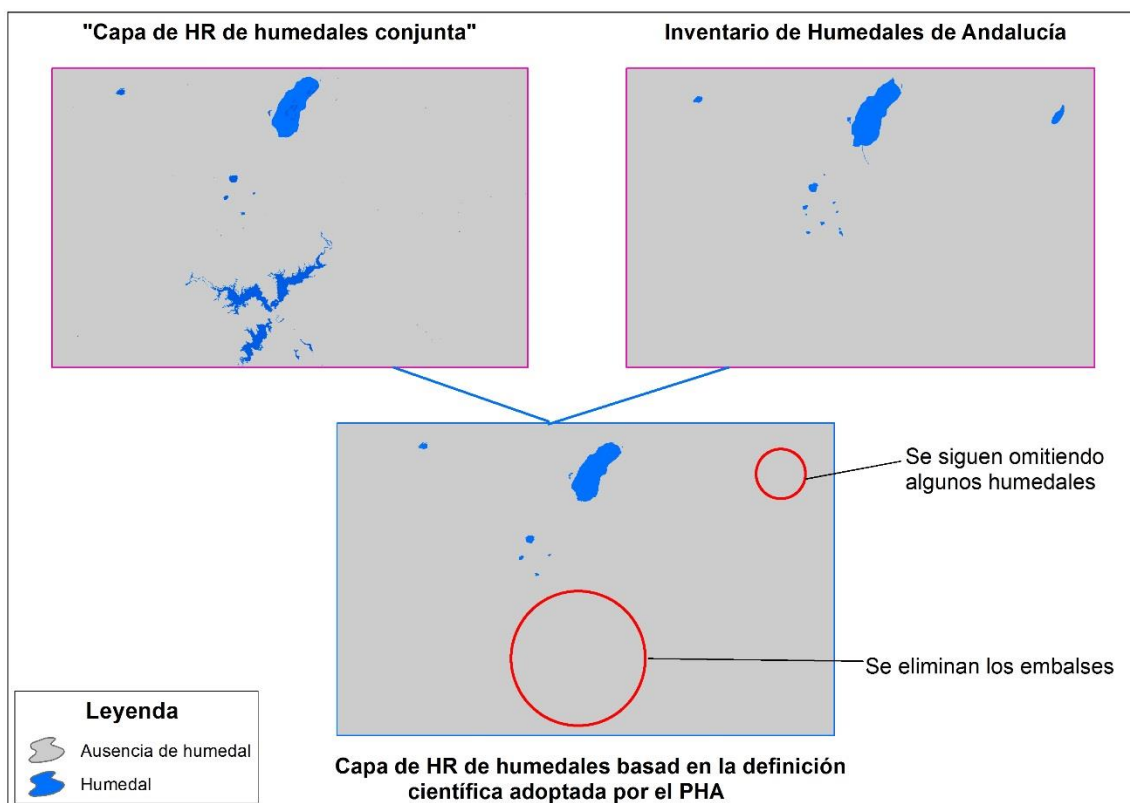
*Figura 30. Metodología seguida para la creación de una capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal adoptada por el PHA*

Para ilustrar los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología expuesta en la figura anterior se realiza un ejemplo de un sector de la provincia de Málaga donde se localizan la laguna de Fuente de Piedra, la laguna del Gosque, la laguna Herrera, el complejo lagunar de Campillos, el embalse de Guadalhorce-Guadalteba, el embalse del Conde de Guadalhorce y el embalse de la Encantada (figura 31).



*Figura 31. Zona seleccionada para la realización de un ejemplo ilustrativo de las unidades geográficas cartografiadas en la capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal*

La figura 32 muestra la comparativa de las unidades geográficas cartografiadas en las capas que intervienen en el proceso metodológico así como la capa resultante de la aplicación de dicho proceso. La capa generada recoge la laguna de Fuente de Piedra, la laguna del Gosque y cuatro de las diez lagunas que componen el complejo lagunar de Campillos (laguna Dulce, laguna Salada, laguna del Cerero y la laguna de Capacete). Los embalses no son recogidos por no ser considerados como humedales en el IHA, lo que demuestra que con esta metodología se logra crear una capa que contenga únicamente las coberturas consideradas como humedal en la definición científica adoptada por el PAH.



*Figura 32. Comparativa de las unidades geográficas cartografiadas en las capas que intervienen en el proceso metodológico así como la capa resultante de la aplicación de dicho proceso.*



### 8.3.1 Resultados y análisis

#### 8.3.1.1 Validación cualitativa

El proceso de validación cualitativa se realiza siguiendo la metodología expuesta el apartado 6.2 del presente proyecto. La distribución de los puntos de muestro pueden consultarse en el apartado 7.2.1.

Cabe señalar que los errores de omisión detectados son los mismos que los detectados en la capa de HR de MAS, puesto que durante este proceso de mejora de la capa MAS lo que se realiza es la eliminación de las entidades espaciales sin correspondencia con el inventario pero no se incorporan entidades nuevas, por lo que en este apartado se ilustran únicamente los errores de comisión encontrados (tabla 28). Tan sólo se han detectados 2 errores de comisión en los 30 puntos muestreados para la búsqueda de este tipo de error, debido a que el IHA considera la cola de los embalses de Bornos y del Negratín como humedal y la propia metodología de creación de la capa de HR de humedales basada en la definición científica hace que en esta capa se cartografíe toda la superficie del embalse. El resto de entidades espaciales no recogidas en el IHA (ríos, embalses, terrenos regados

permanentemente, lagunas de campos de golf, zonas de extracción minera etc.,) quedan eliminados en esta nueva capa de HR.

<b>Embalses</b>	
Fecha: 2010	
<b>A</b>	
<b>B</b>	
<p><b>Error de Comisión.</b> A) Embalse de Bornos situado en la localidad gaditana de Bornos, B) Embalse del Negratín localizado en la localidad de Freila, (Granada), en ambos casos están incorrectamente clasificados como humedal. Tan sólo la cola del embalse es considerado como humedal por el IHA (en blanco).</p>	

*Tabla 28. Errores detectados en el proceso de validación cualitativa de la capa de HR basada en la definición científica*

### 8.3.1.2 Validación no espacial

#### 1. Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedales

Los resultados obtenidos en el análisis comparativo de superficie de humedales en la capa objeto de estudio (capa de HR humedales basada en la definición científica de humedal) y en las capas de referencia (IHA e inventario SubBCN25) quedan recogidos en la siguiente tabla.



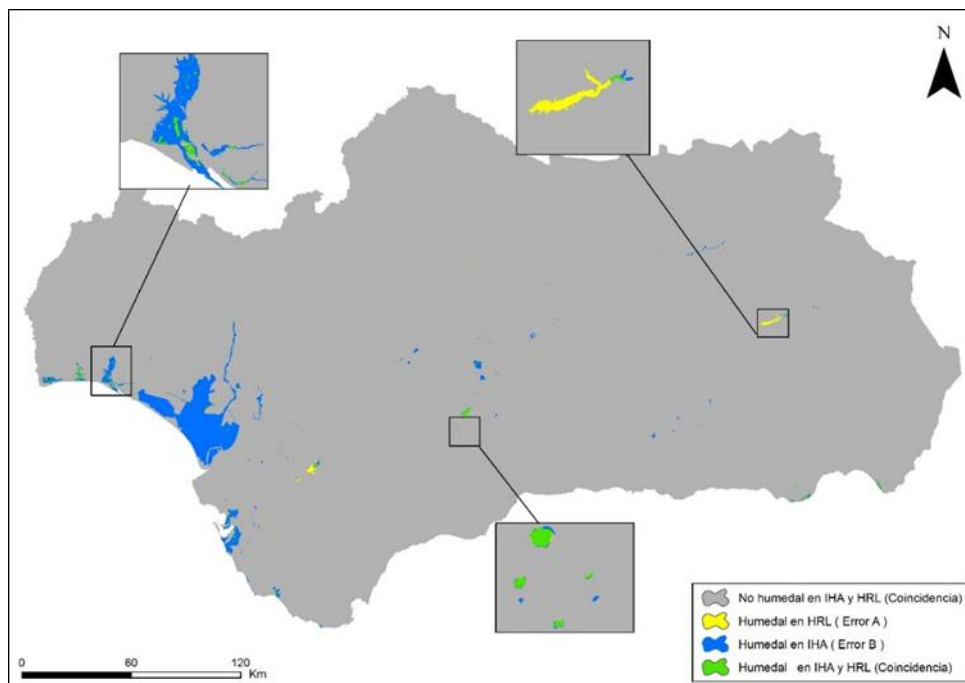
ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIE DE HUMEDALES				
SUPERFICIE (ha)			% DEFERENCIAS DE SUPERFICIE	
HRL de humedales basada en definición científica	BCN25	IAH	% de superficie de Humedales de HR incluidos en el BCN25	% de superficie de Humedales de HR incluidos en el IAH
11.404	50.440	134.990	22,61	8,45

*Tabla 29. Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal*

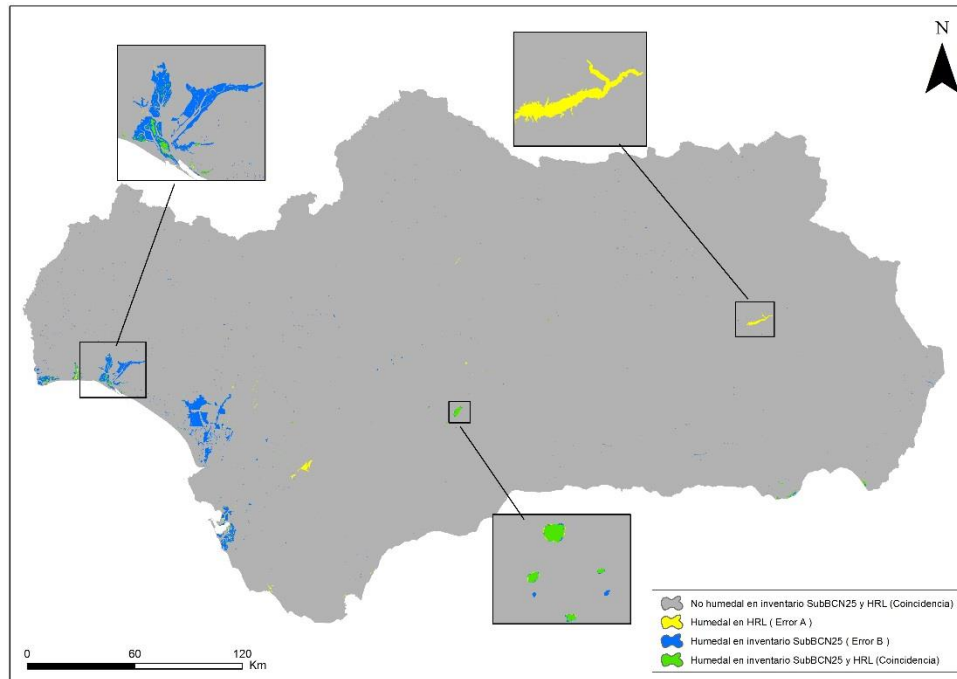
La capa de HR de humedales basada en la definición científica, tan sólo detecta como humedal 11.404 ha. El porcentaje de área de humedales detectados por la capa de HR de humedales basada en la definición científica con respecto al IHA es muy bajo (8,45%), aproximadamente un 14% menos que el detectado con respecto al inventario SubBCN25, lo que nos indica, a priori, que la capa de HR de humedales se ajusta mejor a la capa del inventario SubBCN25.

## 2. Análisis Comparativo detallado de Superficie Total de Humedales pixel a pixel

Las figuras 33 y 34 representan la capa de información geográfica resultante de la comparativa pixel a pixel entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y las capa de referencia (IHA e Inventario SubBCN25 respectivamente).



*Figura 33. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y el IHA*



*Figura 34. Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y el inventario subBCN25*

A continuación se detallan los resultados obtenidos de las diferentes comparativas realizadas.

#### **Comparativa capa de HR de humedales basada en la definición científica y el IHA**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL					
Comparativa HRL humedales (definición científica) y IAH					
	Valor	Número de pixeles	Resolución (m)	Área/pixel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	215.451.613	20	400	8.618.064
Humedal en HRL	1	13.831	20	400	553
Humedal en IAH	2	3.197.720	20	400	127.908
Solapamiento	3	176.675	20	400	7.067

*Tabla 30. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el IHA*

$$Error A = \frac{553}{11.404} \times 100 = 4,85\%$$

$$Error B = \frac{127.908}{134.990} \times 100 = 94,75\%$$

$$\text{Coincidencia} = \frac{7.067}{11.404} \times 100 = \mathbf{61,96\%}$$

**Comparativa capa de HR de humedales basada en la definición científica y el inventario subBCN25**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUPERFICIES PIXEL A PIXEL					
Comparativa HRL humedales (definición científica) y el inventario SubBCN25					
	Valor	Número de pixeles	Resolución (m)	Área/pixel (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
No Humedal	0	217.511.521	20	400	8.700.460
Humedal en HRL	1	66.901	20	400	2.676
Humedal en BCN25	2	1.135.876	20	400	45.435
Solapamiento	3	123.602	20	400	4.944

*Tabla 31. Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25*

$$\text{Error A} = \frac{2.676,04}{11.404} \times 100 = \mathbf{23,46\%}$$

$$\text{Error B} = \frac{45.435,04}{50.440} \times 100 = \mathbf{90\%}$$

$$\text{Coincidencia} = \frac{4.944,08}{11.404} \times 100 = \mathbf{43,35\%}$$

Los resultados obtenidos en la comparativa pixel a pixel de la capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal y las capas de referencia muestran diferencias significativas. El error A, detectado en la comparativa de la capa de HR y el IHA es muy bajo (4,85%), esperable ya que la capa de HR se genera utilizando como base los límites de los humedales cartografiados en el IHA. Como consecuencia, ambas capas detectan las mismas unidades geográficas como humedales, por lo que este error se debe única y exclusivamente a la diferencia de superficie detectada por ambas capas a nivel de humedal.

El error A detectado en la comparativa de la capa de HR de humedales basada en la definición científica y el inventario SubBCN25 es mayor (23,46%) ya que, en este caso, la capa de HR detecta entidades geográficas distintas a las cartografías en el inventario SubBCN25.

En cuanto a los errores B continúan siendo muy elevados en ambas comparativas, 94,75% en la comparativa de la capa de HR y el IHA y 90% en la comparativa con el inventario SubBCN25.

Estas diferencias porcentuales en los errores de clasificación hacen que el grado de coincidencia sea mayor en la comparativa de la capa de HR y el IHA, (61,96 % frente al 43,35% cuando se compara con el inventario SubBCN25), lo que indica que existe un mayor ajuste entre estas capas.

### **8.3.1.3 Validación espacial**

#### **Validación espacial basada en píxeles**

La metodología utilizada en este proceso de validación es prácticamente la misma que la utilizada para la validación de la capa de HR de humedades (apartado 6.4). La única diferencia es que en el proceso de tratamiento previo del CLC se seleccionan además de las de las clases de usos y coberturas del suelo consideradas como humedales en esta capa (411,412, 421, 422 y 423), las clases 512.1 (lagunas continentales) y 521 (lagunas costeras), debido a que estas coberturas son consideradas humedales en la definición científica adoptada por el PAH.

La matriz de confusión generada en el proceso comparativo de la capa de HR de humedales basado en la definición científica y el CLC utilizando los mismos puntos de muestreo que la capa de HR de humedales (tabla 32) muestran como los de errores de comisión para la clase 1 y 2 de 14,65% y 19,32% respectivamente, lo que indica que el 14,65% del error A y el 19,32% del error B obtenidos en la comparativa de superficie pixel a pixel entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y las capas de referencia (IHA y el inventario SubBCN25), son errores atribuibles a la capa de la capa de HR de humedales.

Para la clase 1 (presencia de humedales), los errores de comisión y omisión detectados son 14,65% y 41,34% respectivamente. Estos resultados indican, por un lado, que tan sólo el 14,65 % de los píxeles clasificados como humedal en la capa de HR de humedales realmente no pertenecen a esta clase, es decir, no son humedales y por otro lado que el 41,34 % de los píxeles que están clasificados como humedales en la capa de referencia no son detectados como tal en la capa de HR de humedales.

El coeficiente Kappa ofrece un valor de 0,57 lo que indica, según la clasificación del estadístico Kappa propuesta por Landis y Koch (tabla 6), que el grado de acuerdo es moderado.

La precisión global es del 81,8 %, lo que indica que el 81,8% de los píxeles muestreados pertenecen a la misma clase tanto en la capa de HR de humedales como en la capa CLC. Por lo tanto, la precisión global alcanza el valor mínimo estandarizado y aceptado en un 80% para poder decir que la clasificación ha sido exitosa.

Capa HR de humedales definición científica	Capa de Referencia CLC					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
	Clase 1 (Sí Humedal)	332	57	389	85,35%	14,65%
	Clase 2 (No humedal)	234	977	1211	80,68%	19,32%
	<b>Total</b>	566	1034	1600		
	<b>Precisión del productor</b>	58,66%	94,49%			
	<b>Error de Omisión</b>	41,34%	5,51%			

*Tabla 32. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles de la capa de HR de humedales basada en la definición científica, utilizando los mismos puntos de muestreo que los utilizados en la capa de HR de humedales*

### Validación espacial basada en humedales

Los puntos de muestreo seleccionados son los mismos que los utilizados en el mismo proceso para las capas de HR de humedales y la capa de HR de MAS con el fin de poder comparar los resultados obtenidos y determinar que capa se ajusta mejor a la realidad en el terreno. La distribución de los puntos de muestreo puede consultarse en el apartado 7.2.3.2. Los errores de omisión detectados a nivel de humedal en la capa de HR de humedales basada en la definición científica son los mismos que los detectados en la capa de HR de MAS (apartado 8.2.1.3). Con respecto al error de comisión a nivel de humedal, no se ha detectado ninguno, por lo que la capa de HR de humedales basada en la definición científica reduce en un 100% los errores de comisión. A pesar de que en el proceso de validación cualitativa se hayan detectado 2 errores de comisión (el embalse de Bornos y el de Negratín), en este proceso se ha podido comprobar que

no es un error a nivel de humedal sino que es un error de superficie ya que el IHA considera las colas de estos embalses como humedales.

A continuación se muestra la matriz de confusión generada con los valores obtenidos en el proceso de fotointerpretación de cada punto de muestreo.

	Capa de Referencia. Ortofotografías de Google Earth					
		Clase 1 (Sí Humedal)	Clase 2 (No humedal)	Total	Precisión del usuario	Error de Comisión
Clase 1 (Sí Humedal)	100	0	100	100,00%	0,00%	
Clase 2 (No humedal)	46	54	100	54,00%	46,00%	
Total	146	52	200			
Precisión del productor	68,4%	100,00%				
Error de Omisión	31,6%	0,00%				

*Tabla 33. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales de la “capa de HR de humedales conjunta”*

El error de comisión de la clase 1 (“Sí humedal”) es del 0%, lo que significa que todas las entidades espaciales definidas como humedal en la capa de HR de humedales, son realmente humedales. El error de omisión (31,6%) indica que de las 146 entidades espaciales clasificadas como humedal en la capa de referencia (ortofotografías de Google Earth), 46 no están clasificadas como humedales en la capa de HR de humedales.

## **9 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS**



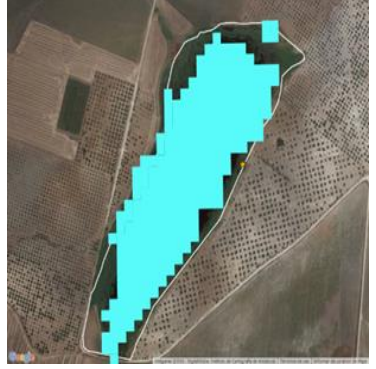

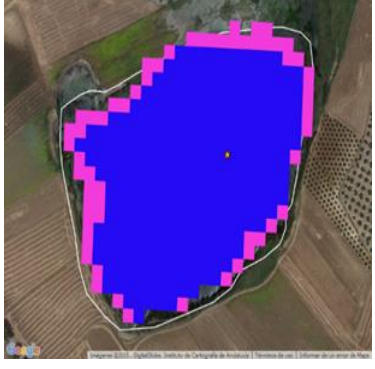


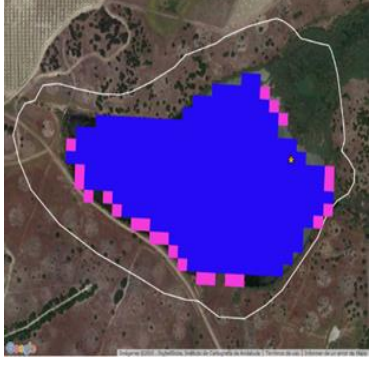
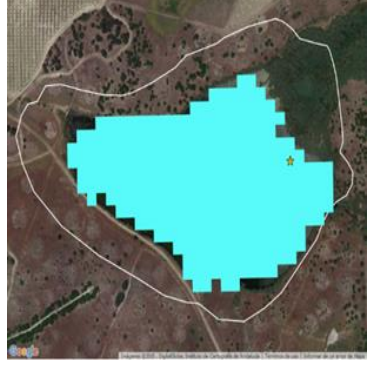
Una vez expuestos los resultados obtenidos en los distintos procesos de validación aplicados a cada capa de HR (capa de HR de humedales de Copérnico y las capas propuestas para lograr una mejora), se presenta el análisis de los resultados de forma comparativa. Este tipo de análisis permite determinar si existen diferencias significativas en el grado de detección de humedales entre las diferentes capas.

### **9.1 Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación cualitativa**

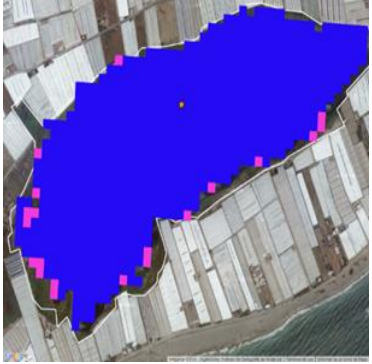







En primer lugar, se realiza un análisis comparativo visual de las capas de HR, con el fin de localizar las diferencias más significativas encontradas en cuanto a la detección de errores.

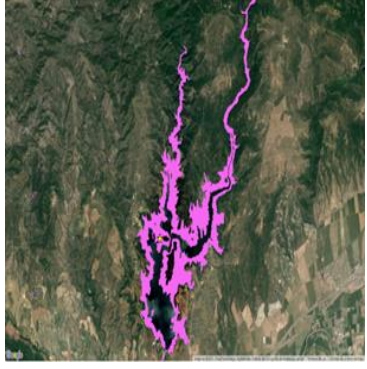
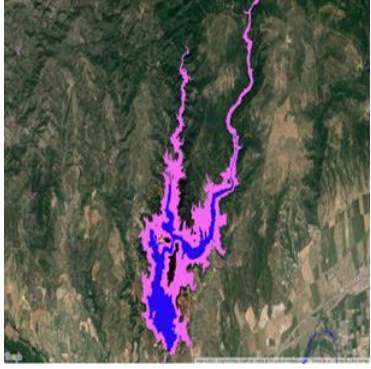







Las capas propuestas para lograr una mejora (capa de HR de MAS y la capa de HR basada en la definición científica de humedales) reducen los errores de omisión con respecto a la capa de HR de humedales, debido a que al incorporar la superficie de agua permanente, gran parte de los humedales detectados con una superficie inferior al 30 % de la cobertura real (error de omisión) pasan a tener una superficie superior al 30% (no error). En cuanto al error de comisión, la capa de HR de MAS a pesar de detectar los mismos errores a nivel de humedal, aumenta considerablemente este error en cuanto a superficie se refiere. Por el contrario, la capa de HR de humedales basada en la definición científica elimina prácticamente los errores de comisión a nivel de humedal y reduce significativamente este error a nivel de superficie, por lo que es una mejora considerable respecto a la original de Copérnico y a la capa HR MAS.

La siguiente tabla recoge algunos ejemplos ilustrativos de la superficie de humedal detectada en cada una de las capas de HR.

Capa HR de humedales	Capa de HR de MAS	Capa HR de humedales definición científica”
Laguna de Donadío		
		
Laguna Salada		
		
Laguna de Tíscar		
		
<p><b>Error de Omisión.</b> Lagunas detectadas con una superficie inferior al 30 % de la cobertura real en la capa HR de humedales (error de omisión) y superior al 30% en las capas propuestas para lograr una mejora (no error)</p>		



Capa HR de humedales	Capa de HR de MAS	Capa HR de humedales definición científica”
Albufera nueva		
		
Salinas del cabo de Gata		
		
Marismas del río Palmones		
		
<p><b>Error de Omisión.</b> Humedales detectados con una superficie inferior al 30 % de la cobertura real en la capa HR de humedales (error de omisión) y superior al 30% en las capas propuestas para lograr una mejora (no error)</p>		

Capa HR de humedales	Capa de HR de MAS	Capa HR de humedales definición científica”
Embalse de la Breña		
		
Río de las Cañas		
		
Balsas de riego		
		
<p><b>Error de Comisión.</b> Coberturas no definidas como humedal detectadas en la capa HR de humedales y en la capa de HR de MAS (error de comisión) que son completamente omitidas en la capa de HR basada en la definición científica (no error)</p>		

*Tabla 34. Análisis comparativo de la superficie de humedal detectada en cada una de las capas de HR estudiadas*

## 9.2 Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación no espacial

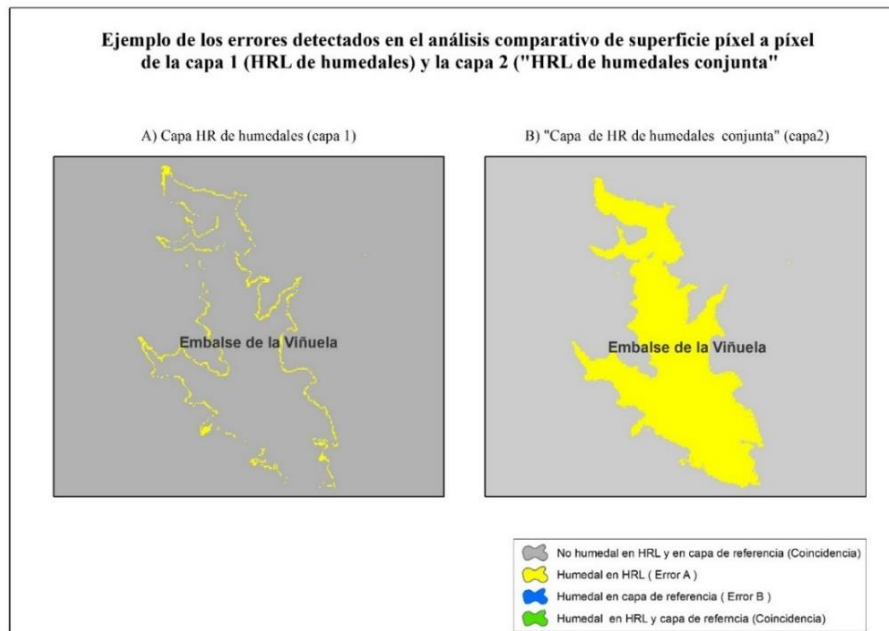
La tabla 35 recoge los resultados obtenidos en el análisis comparativo de superficie total de humedales pixel a pixel de las capas de HR y las capas de referencia (IHA y el inventario SubBCN25).

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUPERFICIE TOTAL DE HUMEDALES PIXEL A PIXEL						
Estadísticos	Capa 1: HRL humedales		Capa 2: HRL de humedales conjunta		Capa 3: HRL de humedales basada en definición científica	
	IHA	Inventario SubBCN25	IHA	Inventario SubBCN25	IHA	Inventario SubBCN25
Error A (%)	80,6	80,95	89,13	91,12	4,85	23,46
Error B (%)	96,9	91,81	93,42	86,31	94,75	90
Coincidencia (%)	19,32	19,03	10,68	8,52	61,96	43,35

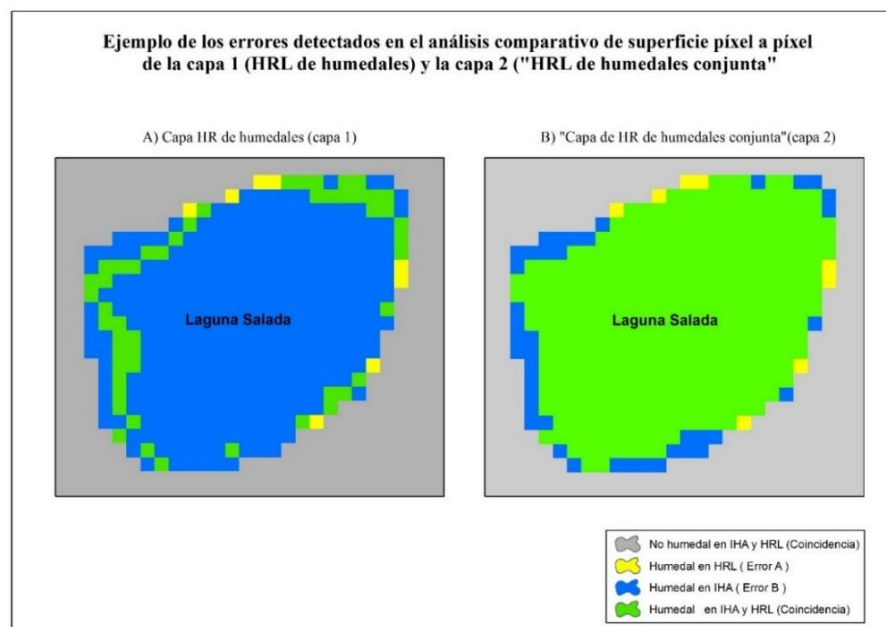
*Tabla 35. Comparativa de los resultados obtenidos en el análisis detallado de superficie total de humedales pixel a pixel de las capas de HR*

Este análisis ofrece en todos los casos valores de error B muy altos, debido a que la capa de HR de Copérnico no detecta algunos humedales (marismas de Doñana, la laguna del Rincón del muerto, la laguna de Siles, la laguna de Orcera etc.) o si los detecta lo hace con una superficie muy inferior a la que presentan realmente (marismas de Isla Cristina, marismas de Barbate, laguna del Taraje, laguna Hondilla, salinas de Santa María etc.). El error A es muy alto en la capa 1 y 2, mientras que la capa 3 presenta valores de error mucho más bajos, tanto cuando se compara con el IHA como cuando se compara con el inventario SubBCN25, siendo significativamente inferior cuando se compara con el IHA. Estos valores tan bajos de error se deben a que la capa de mejora de Copérnico se ajusta a la definición científica de humedal, que es la que considera la Administración Pública en su inventario (el Estado miembro si se extrapolase la metodología a nivel europeo) y se eliminan todas las coberturas no consideradas como humedal en esta definición (embalses, ríos, arrozales, terrenos húmedos, balsas de riego, lagunas de campos de golf, zonas de extracción minera etc.). Como consecuencia de la disminución del error A, la capa 3 es la que presenta un mayor grado de coincidencia tanto con el IHA como con el inventario SubBCN25. Cabe señalar que en este análisis, la capa 2 no mejora los resultados obtenidos en la capa 1, puesto que el grado de coincidencia disminuye en aproximadamente un 10% debido a la incorporación de la superficie de agua permanente. Dicha incorporación hace que el error A detectado en la capa 2 aumente con respecto al de la capa 1, tanto cuando se utiliza

como capa de referencia el IHA como cuando se utiliza el inventario SubBCN25, debido principalmente, al aumento de la superficie de ciertas entidades (embalses, ríos, estanques, canales etc..) (figura 35). Por el contrario, el error B, disminuye aunque discretamente con respecto al detectado en la capa 1, debido a que parte de la superficie detectada como error B pasa a ser superficie coincidente en la capa 2 (figura 36).



*Figura 35. Error A detectado en el análisis de superficie píxel a píxel en el embalse de la Viñuela. A) la Capa de HR de humedales; B) "Capa de HR de humedales conjunta"*



*Figura 36. Error B detectado en el análisis de superficie píxel a píxel en la laguna Salada de Campillos (Málaga). A) Capa de HR de humedales; B) "Capa de HR de humedales conjunta"*

En definitiva, este análisis comparativo muestra cómo, la capa 3 es la capa de HR que mejor se ajusta a las capas de referencia utilizadas, obteniéndose el mayor el grado de ajuste cuando se compara con el IHA.

### 9.3 Análisis basado en la comparación de los resultados de la validación espacial basada en píxeles

#### Validación espacial basada en píxel

En la siguiente tabla se muestra el análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de la matriz de confusión generada en el proceso comparativo de las capas de HR y el CLC.

<b>RESULTADOS DEL PROCESO DE VALIDACIÓN ESPACIAL BASADO EN PÍXELES (MATRIZ DE CONFUSIÓN)</b>			
<b>Estadísticos</b>	<b>Capa 1: HRL húmedales</b>	<b>Capa 2: HRL de MAS</b>	<b>Capa 3: HRL de húmedales basada en definición científica</b>
% Error A atribuible a las capas de HR	59,56	65,88	14,65
% Error B atribuible a las capas de HR	24,25	21,71	19,32
Error de comisión (%)	59,63	65,88	14,65
Error de omisión (%)	37,5	31,32	41,34
Precisión global (%)	58	52,56	81,80
Coefficiente Kappa	0,16	0,11	0,57

*Tabla 36. Análisis comparativo de los estadísticos obtenidos a partir de la matriz de confusión de las capas de HR.*

El % de error A y B atribuible a la capa 3 es inferior que el de las otras capas siendo esta diferencia mucho más significativa en el error A debido a que se logra erradicar tanto los errores debidos a las diferencias en las definiciones de humedades adoptadas por las distintas capas como el error causado por la detección exclusiva del agua temporal. Los errores detectados en esta capa se deben por tanto, únicamente a las diferencias de la superficie detectada como húmedal con respecto a las capas de referencia y a la omisión de ciertas unidades geográficas consideradas como húmedal en la capa de HR. Por el contrario la capa 2 no mejora los resultados obtenidos en la capa 1 ya que a pesar de que disminuye el % de error B atribuible a la capa de HR, el % de error A aumenta en mayor proporción.

En cuanto al grado de ajuste, la capa 3 es la que presenta unos valores de precisión global y coeficiente K más elevados (81,8% y 0,57 respectivamente) por lo que es la capa que mejor se ajusta a la realidad representada en el CLC.

En la capa 1, tanto el error de comisión como el de omisión detectados son altos. El error de comisión se debe principalmente a las diferencias en las definiciones adoptadas por las distintas capas de información, lo que conlleva a que la capa de HR de humedales detecte como humedales unidades geográficas no consideradas como tal en las capas de referencia (márgenes de ríos y lagos, terrenos húmedos, lagunas de campos de golf, balsas de riego etc.). Los errores de omisión detectados son debidos a la detección como humedal únicamente de la superficie de agua temporal.

La capa 2, reduce discretamente los errores de omisión, al incorporar la superficie de agua permanente como parte de los humedales, pero aumenta los errores de comisión debido a la incorporación de coberturas de agua (embalses, ríos, estanques, canales etc.) no definidas como humedal en las capas de referencia.

La capa 3 reduce considerablemente los errores de comisión con respecto a los detectados en la capa 1 debido a la eliminación de todos los humedales no considerados como tal en la definición científica adoptada por el PHA.

En definitiva, la creación de una capa basada en la definición científica de humedal mejora notablemente los resultados con respecto a los obtenidos en la capa de HR de humedales, llegando a alcanzar el valor mínimo requerido, por lo que se considera que la clasificación ha sido exitosa.

### **Validación espacial basada en humedales**

La tabla 37 muestra una comparativa de los resultados obtenidos en el proceso de validación espacial basado en humedales en las 3 capas de HR estudiadas.

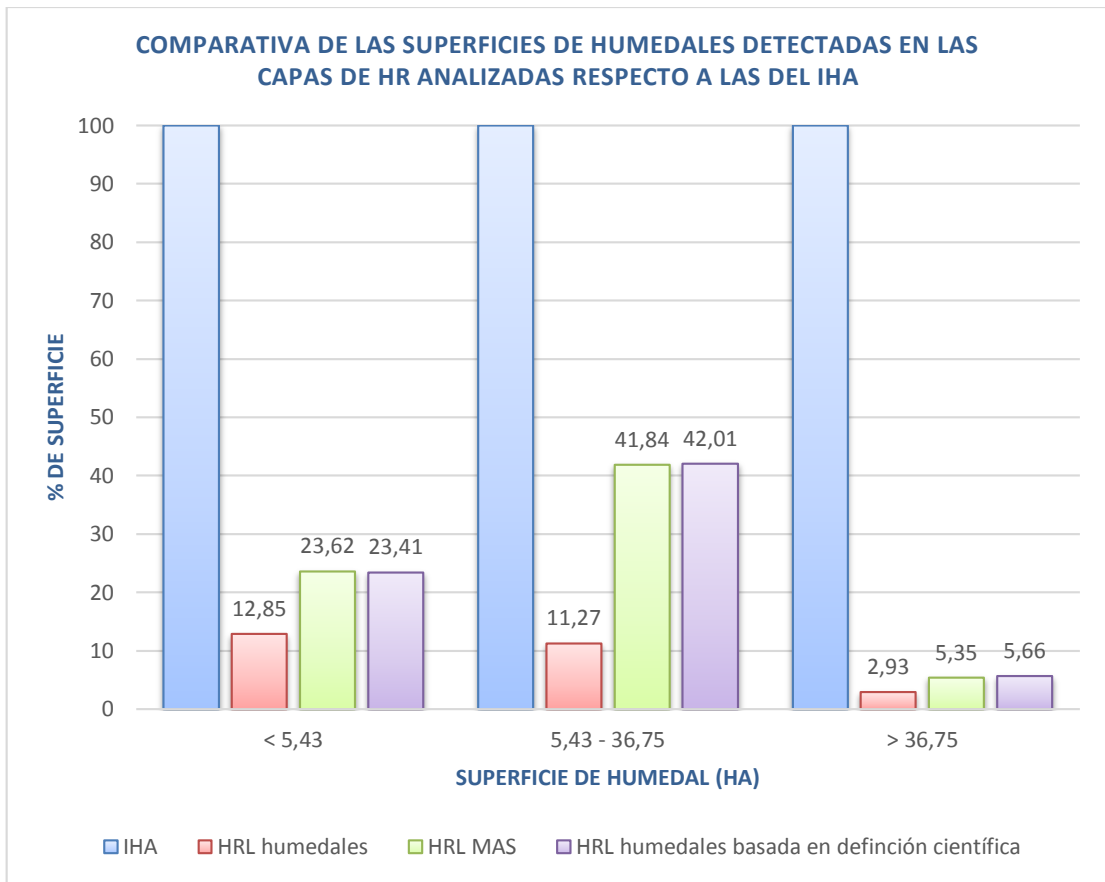
<b>RESULTADOS DEL PROCESO DE VALIDACIÓN ESPACIAL BASADO EN HUMEDALES</b>			
<b>Estadísticos</b>	<b>Capa 1: HRL humedales</b>	<b>Capa 2: HRL de humedales conjunta</b>	<b>Capa 3: HRL de humedales basada en definición científica</b>
Error de comisión (%)	92	92	0
Error de omisión (%)	90,36	85,19	31,6

*Tabla 37. Análisis comparativo de los resultados obtenidos en el proceso de validación espacial basado en humedales de las capas de HR*

Ambos errores de clasificación muestran sus valores más altos en la capa 1 y 2. El error de comisión detectado en la capa 2 es el mismo que el detectado en la capa 1, mientras que el error de omisión se ve discretamente reducido debido a la incorporación de la superficie de agua permanente. Estos valores tan altos de error se deben fundamentalmente al conflicto en la definición de humedal.

Por el contrario, en la capa 3 los errores de clasificación detectados son mucho más bajos. Se logra erradicar los errores de comisión, por lo que todos los humedales detectados en esta capa son realmente humedales según la realidad representada en las ortofotografías de Google Earth. Se eliminan por tanto los errores detectados en embalses, ríos, lagunas de los campos de golf, zonas de extracción minera, balsas de riego, etc. Los errores de omisión se reducen notablemente, aunque no por completo ya que siguen existiendo humedades que las capas de HR de Copérnico no detecta o los detecta con una superficie muy inferior a las que tienen en realidad.

En la figura 37 se representa las diferencias de superficie definida como humedal en las capas de HR analizadas con respecto al IHA en función del tamaño. Tal y como se puede apreciar, el grado de detección de humedales de las capas propuestas como mejora es mayor en humedales de tamaño intermedio (5,43-36.75 ha). Estas capas detectan aproximadamente un 31% más de superficie que la capa de HR original. El grado de detección de los humedales menores de 5,43 ha y mayores de 36,75 ha aumenta en menor proporción, siendo este aumento más significativo en los humedales de menor tamaño. Estos resultados ponen de manifiesto la existencia de errores técnicos en la producción de las capas de HR, ya que no detecta humedales de gran tamaño, como es el caso de las marismas de Doñana, ni humedales de pequeño tamaño, como es el caso de las lagunas más pequeñas que conforman el complejo lagunar de Campillos (ver ejemplo en la tabla 31 y 32, apartado 8.3)



*Figura 37. Comparativa de la superficie de humedal detectada en las capas de HR analizadas respecto a las del IHA*



## 10 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo es la validación de la capa de HR de humedales del Proyecto Copérnico mediante la comparación con unos productos regionales más fiables para obtención de una medida de cuantificación sobre su exactitud global. El principal problema en la comparación de capas de información relacionadas con los humedales es la falta de consistencia en la definición de lo que cada una de ellas define como humedal. En un intento de solventar este problema se ha adoptado una definición común de humedal, basada en el concepto científico, que se ha tratado de trasladar a las capas de referencia mediante la selección de las entidades espaciales consideradas como humedal en dicha definición. Sin embargo, hay que decir que la definición de humedal en la capa de HR no se adapta al concepto científico, ni al concepto Ramsar (excluye todas las aguas permanentes).

La capa de CLC correspondiente a las clases 400, aparece como capa de referencia en los protocolos oficiales para la validación de la capa HR de humedales. Los resultados que se han obtenido de la evaluación de la exactitud usando la matriz de confusión muestran un bajo grado de ajuste con los datos de referencia (CLC), tanto en la precisión global como en el estadístico k (P.G= 58%, K= 0,16), debido fundamentalmente a que la capa de HR detecta como humedal únicamente la superficie de agua temporal, incluyendo los márgenes de ríos y embalses y, a que sólo detecta parte de la superficie de las marismas. Como consecuencia, la exactitud temática no es suficiente para apoyar a los Estados Miembros en sus actividades nacionales de cartografía y de monitoreo para la gestión de los humedales.

Con el objetivo de superar y mejorar los productos ofrecidos en el Programa Copérnico, en el marco de este trabajo se han propuesto dos posibles mejoras de la capa de HR. La primera se ha basado en unir espacialmente las capas de HR humedales y la HR aguas permanente para generar una capa de HR (denominada HR de MAS) que se aproxime más a la definición científica de humedal, ya que, por ejemplo, las lagunas o los sectores inundados permanentemente de las marismas estarían incluidas. Sin embargo, esta capa representa a todas las masas de agua superficial y no sólo a los considerados como humedales. La validación de esta capa se ha realizado mediante dos metodologías distintas con el objetivo de estimar tanto el grado de detección de masas de agua superficial como el grado de detección de humedales. Los resultados obtenidos no son satisfactorios en ambos casos, es decir, el grado de detección de todas las masas de agua superficial es bajo, incluido el de los humedales (P.G= 52,56 %, K= 0,11). Por tanto, se ha optado por realizar una segunda propuesta de mejora basada en la HR de MAS y el IHA para derivar una capa de HR basada en la definición científica de humedal. El IHA constituye datos auxiliares o in-situ, basado en trabajo

de campo y conocimientos científico-técnicos, que incluidos en el procesamiento de las imágenes satelitales para la detección de humedales permite un refinamiento de los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos de la evaluación de la exactitud (P.G= 81,8 %, K= 0,57) demuestran que esta capa es la que presenta mejor ajuste con la capa de referencia. La precisión global supera el valor mínimo exigido por lo que la clasificación se considera satisfactoria. Por tanto, se considera esta propuesta una mejora sustancial de los resultados y de la utilidad de las capas aportadas por el Programa Copérnico, en el caso de que se extrapolaran los resultados a nivel europeo.

El principal problema que se ha detectado en la validación de las capas de HR de humedales de Copérnico es que se generaron en base a la definición poco rigurosa y ambigua para ser utilizada en trabajos de inventariado y monitoreo de humedales. El hecho de utilizar una definición de humedales con distintos significados según los países y que no se base en el concepto ecológico de humedal, imposibilita la disposición de criterios objetivos para identificar si un determinado espacio, es o ha sido, hidrológica y ecológicamente, un humedal.

Para realizar un inventario de humedales sólido y efectivo es indispensable poseer una definición de referencia que refleje el concepto ecológico de humedal, y establecer diferentes criterios (hidrológicos, geomorfológicos, edafológicos y biológicos) que caractericen los tres componentes básicos de un humedal (agua, cubeta y microorganismos). Debido al hecho de que el agua es la componente esencial en la determinación de la integridad ecológica de un humedal, la gestión debe estar relacionada con la de sus cuencas hidrográficas y la de sus acuíferos asociados, para lo cual es necesario tipificar el humedal con el fin de conocer su funcionamiento hidrológico. Es importante también establecer con la mayor precisión posible el área de influencia hidrológica del humedal para definir espacialmente los límites de las zonas de protección de los mismos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el objetivo de Copérnico es servir de apoyo y soporte a los Estados miembros en sus obligaciones y rutinas de monitoreo, por ello, existen dos opciones posibles: (1) la Unión Europea consensue una definición de humedal vinculante, con la inclusión de aspectos científicos e hidrológicos o (2) los Estados miembros aporten, como información auxiliar, la información científico-técnica de la que dispongan, de manera que, aunque existan diferencias conceptuales entre los países, permita generar una capa dentro del Programa Copérnico con utilidad para los países interesados.

Por consiguiente, las capas de humedales de Copérnico, una vez mejorado los aspectos conceptuales, podrían contribuir sustancialmente tanto en trabajos de inventariado (permiten identificar humedales localizados en zonas inaccesibles, localizar criptohumedales, etc.) como en la elaboración de estrategias de conservación y gestión de humedales, puesto que, al ser creadas en función de la frecuencia de inundación de cada píxel en una serie de imágenes temporales,

estas capas permiten derivar datos tan cruciales como la disminución de la superficie de los humedales o la estimación de las superficies de inundación, procesos esenciales para la conservación de muchos de estos ecosistemas.

Finalmente, cabe destacar, que aun salvando los problemas asociados al concepto de humedal dentro del Programa Copérnico, existen importantes errores técnicos que quedan fuera del alcance de este trabajo pero que son cruciales ya que, humedales tan importantes, tanto en dimensión como desde el punto de vista ecológico, como es el caso la Marisma de Doñana, no han sido identificadas ni en la capa HR de humedal ni en la HR de agua permanente. Estos errores asociados al proceso de captura de imagen satelital o al posterior procesamiento y su resolución, tienen que estar resueltos en la parte técnica del Programa Copérnico, siendo esta recomendación muy relevante y oportuna ya que el programa se encuentra operativo (2014-2020) y está previsto realizar mejoras metodológicas en los productos cuya evaluación haya resultado deficiente como es el caso de la capa de HR de humedales (European Environment Agency, 2013).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernués, M. (1998). *Humedales españoles inscritos en la lista del convenio de Ramsar*. Madrid: Colección Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- Borja, C., Florin Beltran, M., & Camacho, A. (2011). Lagos y humedales de interior.
- Cabello, J., & Paruelo, J. M. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas*, 17(3).
- Camacho, A. (2006). El valor de los humedales. *En: Jornades d'Educació Ambiental de la Ribera*, 83-92. Valencia.
- Casado, S., & Montes, C. (1995). *Guía de los lagos y humedales de España*. Madrid: J. M. Reyero.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (2da ed.). Madrid : RIALP, S.A.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona.España: Ariel.
- CMAJA. (2002). *Plan Andaluz de Humedales*.Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.
- Consejería de Medio Ambiente de las Islas Baleares. (2007). *Documento técnico de delimitación, caracterización, clasificación e inventario de zonas húmedas de Baleares*.
- European Environment Agency. (2013). *Gio-Land. Copernicus User Forum*.
- Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*(24), 38-49.
- Fitoka, E., & Keramitsoglou, I. (2008). *Inventory, assessment and monitoring of Mediterranean Wetlands: Mapping wetlands using Earth Observation techniques*. EKBY & NOA. MedWet publication.
- González Bernáldez, F., & Montes, C. (1989). *Los humedales del acuífero de Madrid. Inventario y tipología según su origen y funcionamiento* (Canal de Isabel II ed.). Madrid.
- Landis, J. R., & Kock, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.

- MAAMA / IEPNB. (2013). *Informe 2013 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad*. Madrid.
- Maucha, G., Kosztra, B., & Pataki, R. (2012). *Verification Report HRL Wetlands*.
- MIMAN. (2000). *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Ministerio de Medio Ambiente*. Madrid.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. (2000). *Wetlands* (3rd ed.). New York (USA): Van Nostrand & Reinhold.
- MMA. (2011). *Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental*. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile.
- Moreno, M. V., & Chuvieco, E. (2009). Validación de productos globales de cobertura del suelo en la España Peninsular. *Revista de teledetección*, 31, 5-22.
- Nivet, C., & Frazier, S. (2004). A review of European wetland inventory information. *Collaborative Report by Wetlands International and Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment*.
- NRC. (1995). *National Research Council. Wetlands. Characteristics and boundaries*. Washington (USA): National Academic Press.
- Pearce, F., & Crivelli, A. J. (1994). Characteristics of Mediterranean wetlands. *Conservation of Mediterranean wetlands*(1).
- Stehman, S. V. (1997). Basic structures of a statistically rigorous thematic accuracy assessment. *American Congress of Surveying and Mapping (ACSM); American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS)*.
- Steven, D., & Toner, M. (2004). Vegetation of upper coastal plain depression wetlands: environmental templates and wetland dynamics within a landscape framework. *Wetlands*(24), 23- 42.
- Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G. M., Friedl, M. A., Hansen, M. C., Herold, M., & Woodcock, C. E. (2006). Global land cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of global land cover maps. *European Communities*, 51.
- Strijbos, J. W., Martens, R. L., Prins, F. J., & Jochems, W. M. (2006). Content analysis: What are they talking about? *Computers and Education*, 46, 29-48.

Tiner, R. W. (1999). *Wetland Indicators. A Guide to wetland identification, Definition, Classification and Mapping*. CRC Press.

Watkins, D., & Parish, F. (1999). Review of wetland inventory information in Asia. *Preface iv Summary Report, 201*.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Capas de HR representadas en el visor de Copeérnico. ....	5
<b>Figura 2.</b> Marismas de Doñana (Huelva) .....	8
<b>Figura 3.</b> Esquema Básico de un humedal .....	9
<b>Figura 4.</b> Criptohumedal de la Dehesa de Arriba (Torrejón del Rey, Guadalajara).....	10
<b>Figura 5.</b> Laguna Dulce de Zorrilla (Espera, Cádiz) .....	11
<b>Figura 6.</b> Visor WebGis de los resultados del proyecto GlobWetland .....	18
<b>Figura 7.</b> Laguna de Fuente de piedra seca durante la época estival. ....	20
<b>Figura 8.</b> Humedales españoles inscritos en la lista del Convenio Ramsar .....	21
<b>Figura 9.</b> Humedales incluidos en el Inventario Español de Zonas Húmedas .....	22
<b>Figura 10.</b> Humedales incluidos en el Inventario Andaluz de Humedales y en la Convención Ramsar .....	23
<b>Figura 11.</b> Proceso metodológico para la producción de las capas de HR de humedales .....	32
<b>Figura 12.</b> Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Martos .....	40
<b>Figura 13.</b> Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Campillos ....	41
<b>Figura 14.</b> Localización y visualización en Google Earth del complejo lagunar de Puerto Real..	41
<b>Figura 15.</b> Metodología utilizada en el análisis comparativo de superficie total de humedales pixel a pixel.....	43
<b>Figura 16.</b> Ejemplo ilustrativo de errores A y B calculados en el análisis comparativo de superficie pixel a pixel .....	44
<b>Figura 17.</b> Errores de clasificación (comisión y omisión) detectados en la laguna Dulce de Campillos (Málaga).....	45
<b>Figura 18.</b> Esquema de la metodología utilizada para la validación espacial basada en píxeles utilizando como capa de referencia el CLC.....	49
<b>Figura 19.</b> Esquema de la metodología utilizada para la validación espacial basada en humedales utilizando como referencia las imágenes satelitales de Google Earth.....	50
<b>Figura 20.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales y el CLC.....	57
<b>Figura 21.</b> Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación cualitativa .....	59
<b>Figura 22.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales y el IHA .....	70

<b>Figura 23.</b> Capa resultante de la comparativa la capa de HR de humedales y el inventario SubBCN25.....	71
<b>Figura 24.</b> Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en píxeles.....	74
<b>Figura 25.</b> Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en humedales .....	75
<b>Figura 26.</b> Representación de la capa resultante de la unión de la capa HR de humedales y HR de cuerpos de agua permanente ("capa de HR de masas de agua superficial ") .....	82
<b>Figura 27.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de MAS y el IHA .....	87
<b>Figura 28.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de MAS y el inventario SubBCN25.....	87
<b>Figura 29.</b> Distribución de los puntos de muestreo en el proceso de validación espacial basado en píxeles.....	90
<b>Figura 30.</b> Metodología seguida para la creación de una capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal adoptada por el PHA .....	98
<b>Figura 31.</b> Zona seleccionada para la realización de un ejemplo ilustrativo de las unidades geográficas cartografiadas en la capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal .....	99
<b>Figura 32.</b> Comparativa de las unidades geográficas cartografiadas en las capas que intervienen en el proceso metodológico así como la capa resultante de la aplicación de dicho proceso. ....	100
<b>Figura 33.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y el IHA .....	102
<b>Figura 34.</b> Capa resultante de la comparativa entre la capa de HR de humedales basada en la definición científica y el inventario subBCN25 .....	103
<b>Figura 35.</b> Error A detectado en el análisis de superficie pixel a pixel en el embalse de la Viñuela. A) la Capa de HR de humedales; B) "Capa de HR de humedales conjunta .....	113
<b>Figura 36.</b> Error B detectado en el análisis de superficie pixel a pixel en la laguna Salada de Campillos (Málaga) .....	113
<b>Figura 37.</b> Comparativa de las superficies de humedales detectadas en las capas de HR analizadas respecto a las del IHA.....	117



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Especificaciones de la capa de HR de Humedales.....	31
<b>Tabla 2.</b> Definiciones usadas en la metodología de producción de las capas de HR de humedales y cuerpos de agua permanente.....	33
<b>Tabla 3.</b> Ejemplos de coberturas detectadas por las capas de HR de humedales y cuerpos de agua permanente.....	34
<b>Tabla 4.</b> Clases de usos y coberturas del suelo del CLC seleccionadas para el proceso de validación mediante fotointerpretación .....	39
<b>Tabla 5.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial .....	51
<b>Tabla 6.</b> Escala de valoración del coeficiente Kappa .....	55
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal a escala nacional .....	56
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala nacional.....	58
<b>Tabla 9.</b> Errores detectados en el proceso de validación cualitativa de la capa de HR de humedales. Las imágenes muestran en magenta la capa de HR de humedales .....	63
<b>Tabla 10.</b> Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Martos.....	65
<b>Tabla 11.</b> Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Campillos.....	66
<b>Tabla 12.</b> Análisis visual comparativo de las capas de referencia potenciales en el complejo lagunar de Puerto Real .....	67
<b>Tabla 13.</b> Cantidad de humedales cartografiados por cada una de las capas de referencia potenciales en las zonas de estudio seleccionadas .....	68
<b>Tabla 14.</b> Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal a escala regional .....	70
<b>Tabla 15.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala regional utilizando como capa de referencia el IHA .....	72
<b>Tabla 16.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel a escala regional utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25 .....	73

<b>Tabla 17.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en pixeles	76
<b>Tabla 18.</b> Errores de clasificación detectados en el proceso de fotointerpretación de la validación espacial .....	78
<b>Tabla 19.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales .....	79
<b>Tabla 20.</b> Ejemplos más significativos de los errores de detectados en el proceso de validación cualitativa .....	85
<b>Tabla 21.</b> Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal .....	86
<b>Tabla 22.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el IHA.....	88
<b>Tabla 23.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25.....	88
<b>Tabla 24.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en pixeles de la capa de HR de MAS para estimar el grado de detección de las MAS .....	91
<b>Tabla 25.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en pixeles de la capa de HR de MAS para estimar el grado de detección de humedales .....	92
<b>Tabla 26.</b> Ejemplos más significativos de los errores de clasificación detectados en proceso de validación espacial de la capa de HR de MAS.....	95
<b>Tabla 27.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales de la capa de HR de MAS .....	96
<b>Tabla 28.</b> Errores detectados en el proceso de validación cualitativa de la capa de HR basada en la definición científica .....	101
<b>Tabla 29.</b> Resultados del análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal .....	102
<b>Tabla 30.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el IHA.....	103
<b>Tabla 31.</b> Resultados obtenidos en el análisis de superficie de humedales pixel a pixel utilizando como capa de referencia el inventario SubBCN25.....	104

<b>Tabla 32.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles de la capa de HR de humedales basada en la definición científica, utilizando los mismos puntos de muestreo que los utilizados en la capa de HR de humedales.....	106
<b>Tabla 33.</b> Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales de la “capa de HR de humedales conjunta” .....	107
<b>Tabla 34.</b> Análisis comparativo de la superficie de humedal detectada en cada una de las capas de HR estudiadas .....	111
<b>Tabla 35.</b> Comparativa de los resultados obtenidos en el análisis detallado de superficie total de humedales pixel a pixel de las capas de HR .....	112
<b>Tabla 36.</b> Análisis comparativo de los estadísticos obtenidos a partir de la matriz de confusión de las capas de HR.....	114
<b>Tabla 37.</b> Análisis comparativo de los resultados obtenidos en el proceso de validación espacial basado en humedales de las capas de HR.....	116

