



# SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA AMBIENTAL DEL SALADAR DE AGUA AMARGA Y SU ENTORNO. FLORA Y VEGETACIÓN



## Informe y Mapa Anual de los Límites de las Teselas de las Diferentes Formaciones Vegetales/Ambientales del Saladar

Abril 2025



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
3.1. Tecnologías .....	3
3.2. Análisis de indicadores específicos .....	4
3.3. Rangos obtenidos .....	5
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>6</b>
4.1. NDVI .....	7
4.1.1 Suelo desnudo .....	8
4.1.2 <i>Phragmites australis</i> .....	10
4.1.3 <i>Tamarix canariensis</i> .....	12
4.1.4 Tomillares de <i>Limonium sp.</i> .....	14
4.1.5 <i>Suaeda vera</i> .....	16
4.2. DATOS DE CAMPO.....	17
4.3. CARTOGRAFÍA .....	18
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>ANEXO I. IMÁGENES SATELITALES SIN TRATAR .....</b>	<b>20</b>
<b>ANEXO II. INVENTARIOS DE VEGETACIÓN COMPARATIVOS JUNIO-OCTUBRE 2024 .....</b>	<b>21</b>



## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Situación geográfica del Saladar de Agua Amarga.....	1
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de proceso de selección del área de <i>Phragmites australis</i> para la determinación de su rango, en función de la muestra I83.....	5
<b>Figura 3.</b> Mapa del saladar con análisis de NDVI del día 04/05/2024 .....	7
<b>Figura 4.</b> Mapa del saladar con análisis de NDVI del día 26/10/2024 .....	7
<b>Figura 5.</b> Mapas del área de suelo desnudo. <b>(A)</b> Correspondiente al mes de mayo. <b>(B)</b> Correspondiente al mes de octubre.....	10
<b>Figura 6.</b> Mapas del área de <i>Phragmites australis</i> . <b>(A)</b> Correspondiente al mes de mayo. <b>(B)</b> Correspondiente al mes de octubre.....	11
<b>Figura 7.</b> Punto I-83 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar <i>Phragmites australis</i> .....	12
<b>Figura 8.</b> Mapas del área de <i>Tamarix canariensis</i> . <b>(A)</b> Correspondiente al mes de mayo. <b>(B)</b> Correspondiente al mes de octubre.....	13
<b>Figura 9.</b> Punto I-95 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar <i>Tamarix canariensis</i> .....	14
<b>Figura 10.</b> Mapas del área de <i>Tomillares de Limonium sp.</i> <b>(A)</b> Correspondiente al mes de mayo. <b>(B)</b> Correspondiente al mes de octubre.....	15
<b>Figura 11.</b> Punto I-72 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar Tomillares de <i>Limonium sp.</i> .....	16
<b>Figura 12.</b> Mapas del área de <i>Suaeda vera</i> . <b>(A)</b> Correspondiente al mes de mayo. <b>(B)</b> Correspondiente al mes de octubre.....	16
<b>Figura 13.</b> Cartografía de las unidades de vegetación del Saladar de Agua Amarga basada en la integración de datos de campo y análisis NDVI para el período 2024. ....	18
<b>Figura 14.</b> Imagen satelital del día 26/10/2024 .....	20
<b>Figura 15.</b> Imagen satelital del día 04/05/2024 .....	20

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Rangos de NDVI para cada una de las unidades indicadas. ....	6
--	---

## 1. INTRODUCCIÓN

El Saladar de Agua Amarga (**Figura 1**), es un humedal costero de 208,04 ha, ubicado entre los términos municipales de Alicante y Elche. Delimitado al norte por el Polígono Industrial de Agua Amarga, al oeste por el aeropuerto de Alicante-Elche, al sur por la población del Altet y al este por la urbanización Urbanova y la playa del Saladar, situándose la línea de costa a menos de 100 m de distancia. El saladar se encuentra transecto por la carretera nacional N-338 con una traza en dirección NE-SW.



*Figura 1. Situación geográfica del Saladar de Agua Amarga.*

Se localiza en el sector norte de la Cuenca del Bajo Segura, cuenca “Elche-Bajo Segura” enmarcada en el contexto geológico de las Cordilleras Béticas, al final de una pequeña cuenca endorreica sobre el acuífero costero multicapa con el mismo nombre, que como zona húmeda, se encuentra estrechamente relacionado con las dinámicas hídricas y procesos que transcurren el humedal (Alhama 2011).

El origen de este lugar es una antigua albufera que, durante más de 50 años, hasta 1976, fue utilizada como explotación salinera, por lo que la mayor parte de su superficie está ocupada por estanques salineros abandonados. Esta actividad se llevó a cabo

favorecida por las condiciones topográficas (Alhama 2012), que permitían la entrada de agua de mar y su retención en los estanques.

Tras el abandono de la explotación, el paso del tiempo y la no intervención antrópica permitieron que el espacio, sometido a periodos de encharcamiento-deseccación debido a la influencia climática y los periodos de lluvia-sequía estacionales, fuese colonizado por comunidades vegetales singulares propias de un saladar que, por su cercanía a otras zonas húmedas, algunas de gran tamaño, como el espacio protegido Clot de Galvany, pasó a ser área de campeo o alimentación de avifauna.

En 2002 el Saladar fue incluido en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana y posteriormente en el Inventario Español de Zonas Húmedas debido a su importancia patrimonial, cultural y ecológica; importancia avalada por la presencia de especies protegidas con distinto grado de amenaza entre las que se encuentra la Cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*) un ave catalogada como especie “en peligro de extinción” en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, o distintos endemismos del género *Limonium sp.* como *L. cossonianum*, *L. santapolense* y *L. angustebracteatum*). Además, alberga hábitats y especies de interés comunitario recogidos en la Directiva 97/62/CEE 1997 (Alhama, 2011).

En los primeros años del S.XXI, debido a la creciente demanda de agua dulce, se construyen y se ponen en marcha las desalinizadoras del Canal de Alicante I y II, bajo la concesión de la Mancomunidad de Canales del Taibilla. Los pozos de extracción de agua de ambas desaladoras se encuentran en las inmediaciones del humedal y toman agua del acuífero de Agua Amarga. Parte de ésta (1-12%), proviene del flujo continental, lo que implica un descenso del nivel freático y por tanto una alteración de los ciclos hidrodinámicos naturales que sostienen el humedal (Alhama et al, 2013).

Por esta razón, tal y como se indica en el Pliego de Prescripciones Técnicas, la explotación de las instalaciones requiere del cumplimiento de una serie de condiciones expuestos en las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) de ambas desaladoras. Entre las medidas que se implementan se encuentra el programa de riegos con agua del mar en el Saladar de Agua Amarga de los antiguos esteros salineros, que se pone en marcha en 2009 y cuyo fin es el de preservar la humedad del medio, fundamentalmente evitando el descenso de los niveles freáticos provocados por las extracciones de agua que pueden llevar a la excesiva desecación del suelo y por tanto al deterioro del ecosistema.

Para controlar los posibles impactos de la actividad de las desalinizadoras sobre el humedal y el efecto de las medidas correctoras que se llevan a cabo, se crea un



Programa de Vigilancia Ambiental para asegurar el control de los niveles piezométricos del acuífero del Saladar de Agua Amarga y su entorno, que viene realizándose desde 2008 y desde 2010 en el marco de un convenio de colaboración entre la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) y la MCT. Este seguimiento y vigilancia ambiental, hasta el primer trimestre del año 2024, han sido ejecutados por la UPCT, a partir de esta fecha y en adelante son ejecutados por Aquatec, Soluciones Medioambientales, S.A.U (en adelante Aquatec).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente informe es realizar un análisis exhaustivo de la evolución y estado actual de la cubierta vegetal del Saladar de Agua Amarga durante el período comprendido entre mayo de 2024 y mayo de 2025, así como documentar los cambios históricos en los esteros inundados del saladar.

Objetivos específicos:

- Identificar y cartografiar las formaciones vegetales presentes en el área del Saladar, incluyendo la estimación de coberturas de las diferentes especies.
- Evaluar y documentar los cambios observados en la distribución de la vegetación del saladar durante el período de estudio (mayo 2024 - mayo 2025).
- Generar una cartografía actualizada de las formaciones vegetales identificadas en el área de estudio.

## 3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este informe, se van a utilizar diferentes tecnologías de la información basadas en el uso de imágenes satelitales obtenidas por un sensor satelital, en este caso *AIRBUS Defence & Space Pleiades-1A*; las cuales serán tratadas y estudiadas a través del uso de Sistemas de Información Geográfica.

Se recopila información de las dos fechas en las que se realizaron las campañas de análisis para así contrastar la información y poder obtener un análisis de la evolución de la vegetación en el área de estudio.

### 3.1. Tecnologías

Las imágenes satelitales utilizadas en este estudio han sido capturadas por el sensor satelital *AIRBUS Defence & Space Pleiades-1A*. Este sensor, lanzado con éxito el 16 de



diciembre de 2011, proporciona datos de imágenes satelitales de alta resolución de 0,5 m y ofrece una cobertura global sobre la superficie de la Tierra con un ciclo repetido de 26 días. Sus imágenes cuentan con cuatro bandas espectrales (B0 azul, B1 verde, B2 rojo y B3 NIR).

Para el desarrollo del presente estudio se han seleccionado imágenes satelitales que coincidan temporalmente, en la medida de lo posible, con las campañas de muestreo realizadas en campo. Las imágenes analizadas corresponden a las siguientes fechas:

- Campaña de primavera:
  - Fecha de imagen satelital: 4 de mayo de 2024 (10:50h)
  - Período de muestreo en campo: 19-21 de mayo de 2024
- Campaña de otoño:
  - Fecha de imagen satelital: 26 de octubre de 2024 (10:55h)
  - Período de muestreo en campo: 14-16 de octubre de 2024

La selección de estas imágenes se ha realizado priorizando la proximidad temporal con las campañas de campo y la calidad de estas, buscando minimizar la presencia de nubes y otros factores que pudieran afectar al análisis. En **ANEXO I.** se muestran las dos imágenes para las diferentes fechas.

### 3.2. Análisis de indicadores específicos

Mediante el análisis de las imágenes satelitales se elabora un mapa de distribución vegetal. Para ello, se realiza un análisis de la vegetación existente en el área de estudio a través del uso de técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Este estudio se ha llevado a cabo analizando el índice espectral *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de las imágenes satelitales descritas anteriormente. El índice NDVI muestra el índice de biomasa fotosintéticamente activa, es decir, el comportamiento espectral de las distintas cubiertas vegetales. Se calcula mediante la diferencia entre la alta absorción para las longitudes de onda del rojo (debido a los pigmentos de clorofila) y la alta reflectividad para el infrarrojo cercano (debido a la estructura celular de la hoja). La fórmula para su cálculo es:

$$NDVI = (NIR-Red) / (NIR + Red)$$

donde NIR es la banda del infrarrojo cercano (B4 para el satélite Pleiades) y Red es la banda roja (B3 para el satélite Pleiades). Los resultados normalizados derivados de este cálculo se distribuyen entre -1 y +1; donde los valores más próximos a -1 representan elementos con fuerte absorción en el infrarrojo cercano (como superficies de agua), los

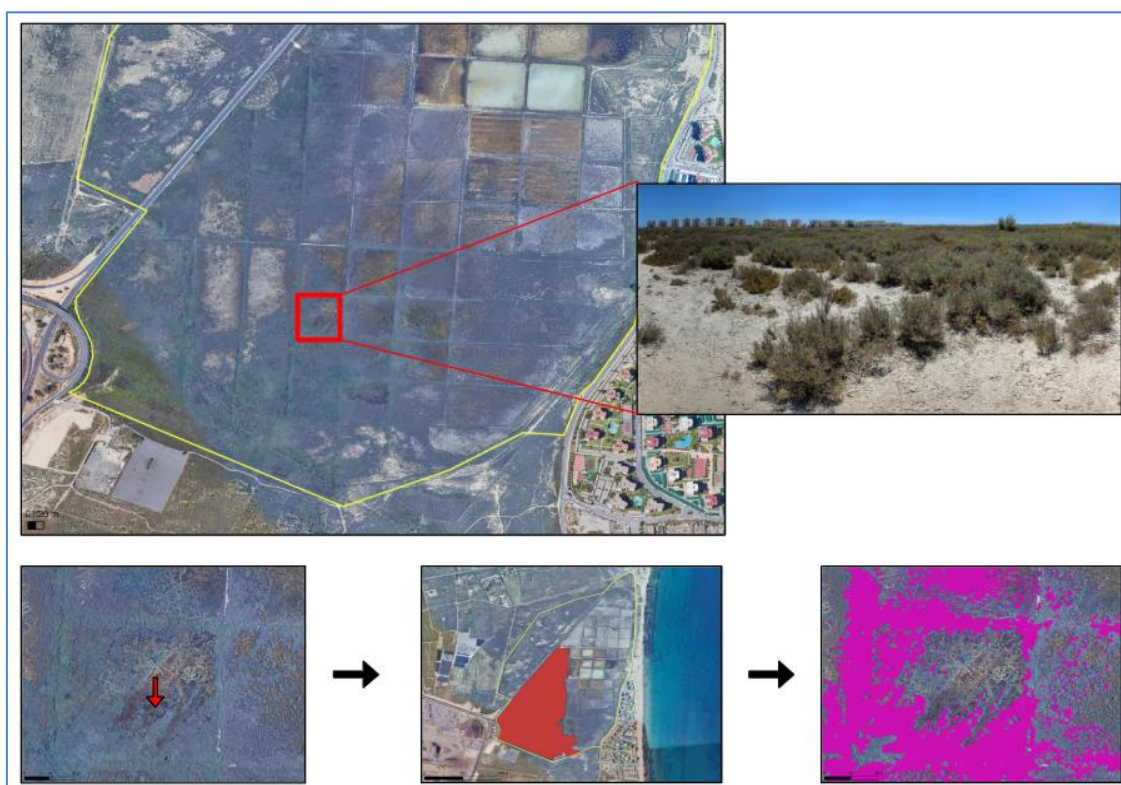
valores positivos pero bajos representan superficies como el suelo, y los valores próximos a +1 representan elementos con alta actividad fotosintética (Carreño 2015).

De esta forma se posibilita el análisis comparado de las distintas comunidades vegetales del área de estudio, donde se refleja las variaciones observadas en el saladar.

### 3.3. Rangos obtenidos

Para la caracterización y distribución espacial de las comunidades vegetales, se implementa un proceso que integra el análisis de los mapas de NDVI con los datos obtenidos durante las campañas de campo.

La metodología se basa en la generación inicial de un mapa de NDVI para el área de estudio, seguida de una segmentación del territorio en zonas de vegetación específicas, tomando como referencia las observaciones realizadas durante los muestreos in situ. A continuación, se definen los rangos de NDVI característicos para cada comunidad vegetal mediante el análisis de los valores del índice en las áreas donde se ha verificado la presencia de especies específicas durante el trabajo de campo. Esta metodología integrada permite establecer una correlación fiable entre los valores de NDVI y las diferentes comunidades vegetales presentes en el Saladar (**Figura 2**).



**Figura 2.** Ejemplo de proceso de selección del área de *Phragmites australis* para la determinación de su rango, en función de la muestra 183.

El análisis de los valores del NDVI ha permitido identificar y caracterizar los rangos específicos correspondientes a las siguientes especies y zonas del área de estudio (**Tabla 1**):

*Tabla 1. Rangos de NDVI para cada una de las unidades indicadas.*

Área	Rango NDVI
Suelo desnudo	-1 a 0.145
<i>Suaeda vera</i>	0.15 a 0.20
Tomillares de <i>Limonium</i>	0.16 a 0.18
<i>Phragmites australis</i>	0.25 a 0.45
<i>Tamarix canariensis</i>	0.27 a 0.5

A partir de las imágenes satelitales seleccionadas, se ha llevado a cabo un análisis cuantitativo de la cobertura vegetal, determinando los porcentajes de ocupación de las distintas comunidades vegetales presentes en el área de estudio para cada período temporal analizado. Este análisis permite establecer la distribución espacial y la abundancia relativa de cada formación vegetal en las diferentes fechas de muestreo.

## 4. RESULTADOS

La vegetación del Saladar de Agua Amarga presenta diferentes grados de dinamismo según las unidades vegetales presentes. Los almarjales constituyen una de las formaciones más estables del saladar, como se ha venido confirmando a través de los informes semestrales de seguimiento, mostrando una gran resistencia y adaptación a las condiciones ambientales del área. Las condiciones extremas del saladar, caracterizadas por una elevada salinidad edáfica, escasas precipitaciones, altas temperaturas y una intensa radiación solar, provocan que las especies vegetales activen rutas del metabolismo secundario como mecanismo de defensa frente a estas adversidades ambientales. Esta respuesta fisiológica resulta en una reducción del vigor y del crecimiento vegetativo, lo que debe ser considerado en la interpretación de los valores del NDVI. Por este motivo, el análisis mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se ha centrado principalmente en dos aspectos contrastantes: por un lado, las unidades vegetales que presentan mayor dinamismo y variabilidad temporal, y por otro, las zonas de suelo desnudo. Esta metodología permite optimizar el seguimiento de los cambios más significativos en la distribución y estado de la vegetación del saladar, prestando especial atención a aquellas áreas donde se producen las variaciones más notables en la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos mediante teledetección han sido contrastados mediante trabajo de campo específico en las zonas más complejas, como las áreas de transición entre diferentes unidades

vegetales y los bordes difusos entre comunidades, garantizando así la fiabilidad de la cartografía generada.

#### 4.1. NDVI

A continuación, se presentan los mapas de NDVI obtenidos para el área de estudio del Saladar, correspondientes a los diferentes períodos de análisis establecidos.



Figura 3. Mapa del saladar con análisis de NDVI del día 04/05/2024

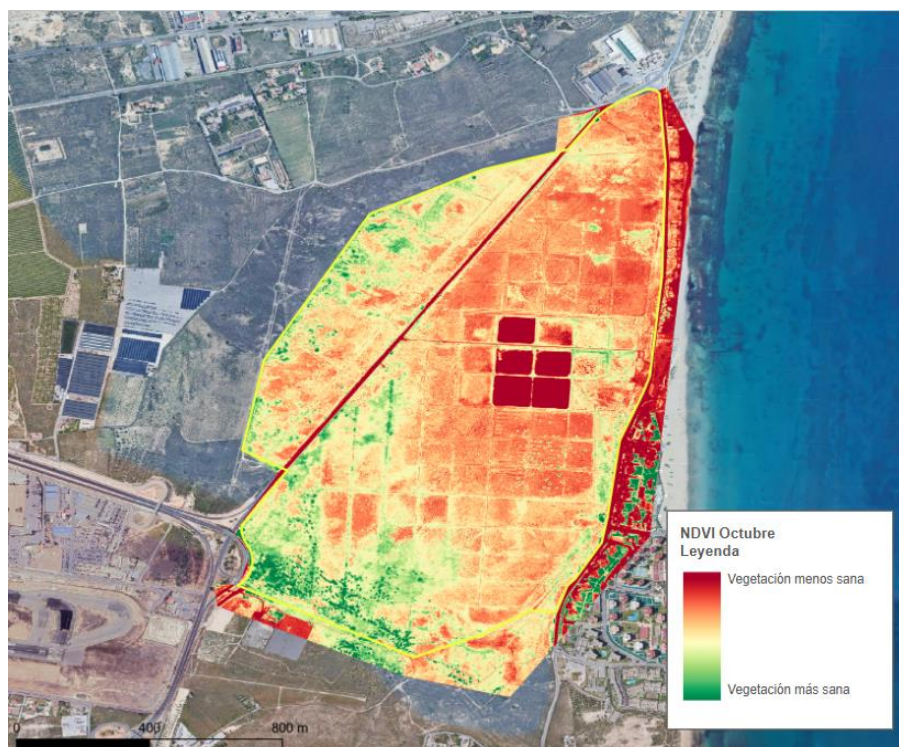


Figura 4. Mapa del saladar con análisis de NDVI del día 26/10/2024



Como se puede observar en las imágenes anteriores, las zonas con mayor vigorosidad vegetal, es decir, con vegetación más sana, se representan con los colores más verdes. Estas zonas destacan en el suroeste y noroeste del Saladar. Por el contrario, las zonas de menor rigurosidad o de presencia de vegetación menos sana se ubican sobre todo en la zona central y norte del Saladar. Respecto a algunos valores de un color rojo intenso en el centro y este del saladar, *a priori* identificados como "Vegetación menos sana" de acuerdo con la leyenda, cabe destacar que estos resultados deben interpretarse con cautela. El índice NDVI presenta limitaciones para distinguir entre formaciones artificiales y masas de agua debido a que ambas superficies pueden presentar valores similares en el rango negativo del índice. Esto ocurre porque tanto las superficies de agua como las estructuras artificiales (como edificios, carreteras o tejados) presentan una fuerte absorción en el infrarrojo cercano y una baja reflectividad en la banda del rojo, lo que resulta en valores NDVI negativos que pueden solaparse. Por este motivo, es necesario complementar el análisis con otros índices como el NDWI, que permite discriminar específicamente las masas de agua.

#### 4.1.1 Suelo desnudo

El análisis de las áreas cartografiadas como suelo desnudo (**Figura 5**) se ha realizado considerando los valores de NDVI comprendidos entre -1 y 0.145. Este rango de valores representa zonas sin presencia de vegetación o con vegetación en estado muy degradado.

La distribución espacial de estas áreas se concentra principalmente en la zona norte del Saladar, coincidiendo con el gradiente del nivel freático observado en los muestreos semestrales, que se incrementa en dirección suroeste-nordeste. Durante el muestreo de mayo, el suelo desnudo ocupaba aproximadamente 51 hectáreas, representando un 25% de la superficie total del Saladar. Esta proporción se incrementó notablemente en el muestreo de octubre, alcanzando las 76 hectáreas, lo que supone un 36% del área total.

Este aumento del 11% en la superficie de suelo desnudo entre ambos períodos puede atribuirse a las condiciones meteorológicas adversas durante la primavera y el verano, caracterizadas por temperaturas elevadas y escasez de precipitaciones, que afectaron negativamente al estado de la vegetación. Además, es importante considerar que, al tratarse de vegetación xerófila, caracterizada por bajos índices de clorofila y adaptaciones específicas a condiciones extremas, algunas de estas plantas pueden reducir drásticamente su tejido fotosintéticamente activo durante los períodos más desfavorables, aparentando estar secas, aunque mantienen la capacidad de rebrotar. Esta estrategia adaptativa puede llevar a que algunas áreas sean interpretadas como

suelo desnudo en el análisis NDVI, cuando en realidad albergan vegetación en estado de latencia. Sin embargo, la posterior bajada de temperaturas en otoño, junto con el aumento de las precipitaciones, favoreció una recuperación parcial de la cobertura vegetal total.

Cabe destacar que, tanto en las imágenes satelitales como en las observaciones de campo, se aprecia un patrón característico en la mitad norte y en el área inmediatamente al sur de los esteros inundados. En estas zonas, la vegetación se distribuye principalmente en los bordes de los esteros, mientras que en las zonas centrales aparece de forma más dispersa y con menor vigor. Este patrón, que genera una disposición en cuadros de suelo desnudo observable en la **Figura 5**, está directamente relacionado con la extremadamente alta concentración de sal en el suelo, evidenciada por la cristalización visible en la superficie del terreno.

Es importante señalar que las áreas con valores negativos de NDVI que se observan en los márgenes del saladar corresponden a elementos artificiales: al oeste con las carreteras circundantes y al este con la playa y las urbanizaciones contiguas, y no deben interpretarse como zonas de suelo desnudo, a excepción de la playa.





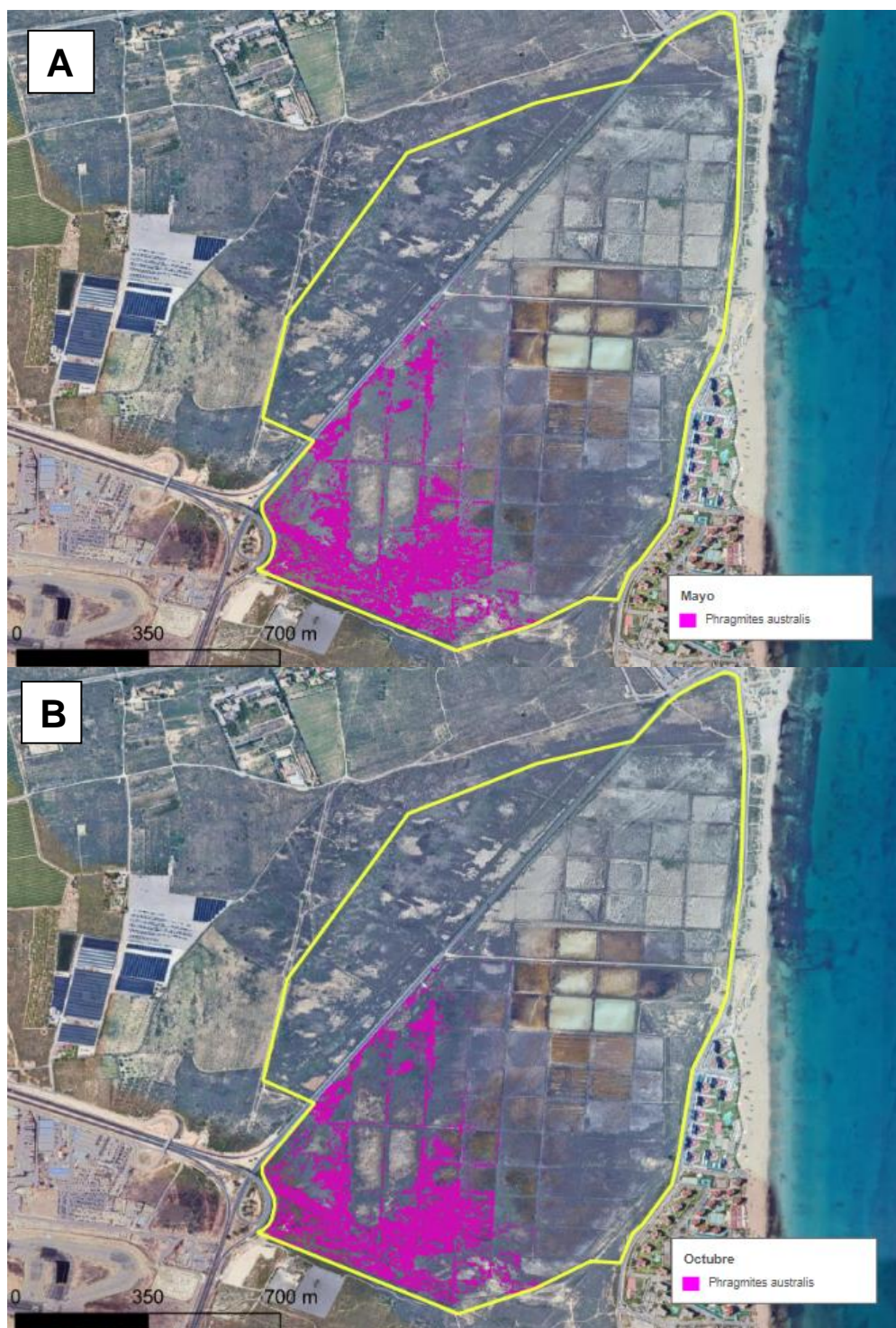
**Figura 5.** Mapas del área de suelo desnudo. (A) Correspondiente al mes de mayo. (B) Correspondiente al mes de octubre.

#### 4.1.2 *Phragmites australis*

El análisis de las áreas cartografiadas correspondientes a la comunidad vegetal de *Phragmites australis* (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) revela una distribución concentrada principalmente en la zona suroeste del Saladar, con presencia adicional de manchas aisladas en la zona oeste del área quemada, estas últimas identificadas durante los trabajos de campo, pero no detectables en la imagen satelital debido a su reducido tamaño. Esta formación, caracterizada por su elevada densidad y porte alto, presenta valores de NDVI entre 0.25 y 0.45, lo que indica una intensa actividad fotosintética y un estado vegetativo vigoroso. Estos valores, que son los más elevados registrados en el saladar, reflejan la capacidad de esta especie para mantener una alta productividad incluso en condiciones ambientales adversas, diferenciándose claramente del resto de comunidades vegetales presentes en el área de estudio.

En mayo, la superficie de *Phragmites australis* era de aproximadamente 16.5 ha, lo que supone un 8% del total del área del Saladar. En octubre, esta especie ocupaba 16.6 ha, lo que supone un 8% del área total del Saladar. La superficie de cobertura de los *Phragmites australis* en mayo y octubre es prácticamente la misma, superior en octubre por decimales. Basándonos en las observaciones de campo realizadas durante 2024, no se considera que haya habido un cambio significativo en el área cubierta entre los distintos muestreos del mismo año, aunque sí se evidencia un avance notable respecto

a años anteriores. La ligera variación detectada entre los muestreos podría explicarse por la fenología de la especie, específicamente por su período de floración que ocurre entre mayo y junio, cuando desarrolla característicos penachos a modo de plumero en la parte apical de la planta. Estas estructuras florales podrían generar un efecto de apantallamiento que interfiere en la detección de las zonas fotosintéticamente activas mediante teledetección, introduciendo cierto grado de distorsión en las mediciones.



**Figura 6.** Mapas del área de *Phragmites australis*. (A) Correspondiente al mes de mayo. (B) Correspondiente al mes de octubre.

Dado el rápido crecimiento y potencial invasivo de esta especie, incluso bajo condiciones dispersas, se ha establecido una vigilancia especial en los puntos de muestreo circundantes a la mancha principal, como es el caso del punto I-87, que se muestra en la **Figura 7**. Esta atención particular cobra especial relevancia considerando que la especie se encuentra en la zona del saladar donde el nivel freático es más superficial y recibe aportes adicionales de agua dulce procedentes de la escorrentía de las carreteras y el aeropuerto de Alicante, condiciones que favorecen significativamente su expansión.



**Figura 7.** Punto I-83 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar *Phragmites australis*.

Los análisis realizados, tal y como muestran las **Figura 3** y **Figura 4**, indican que estamos ante la unidad más dinámica del saladar, presentando, junto con *Tamarix canariensis* la mayor masa fotosintéticamente activa y el mayor potencial de desarrollo de todas las comunidades vegetales presentes en el área de estudio.

#### 4.1.3 *Tamarix canariensis*

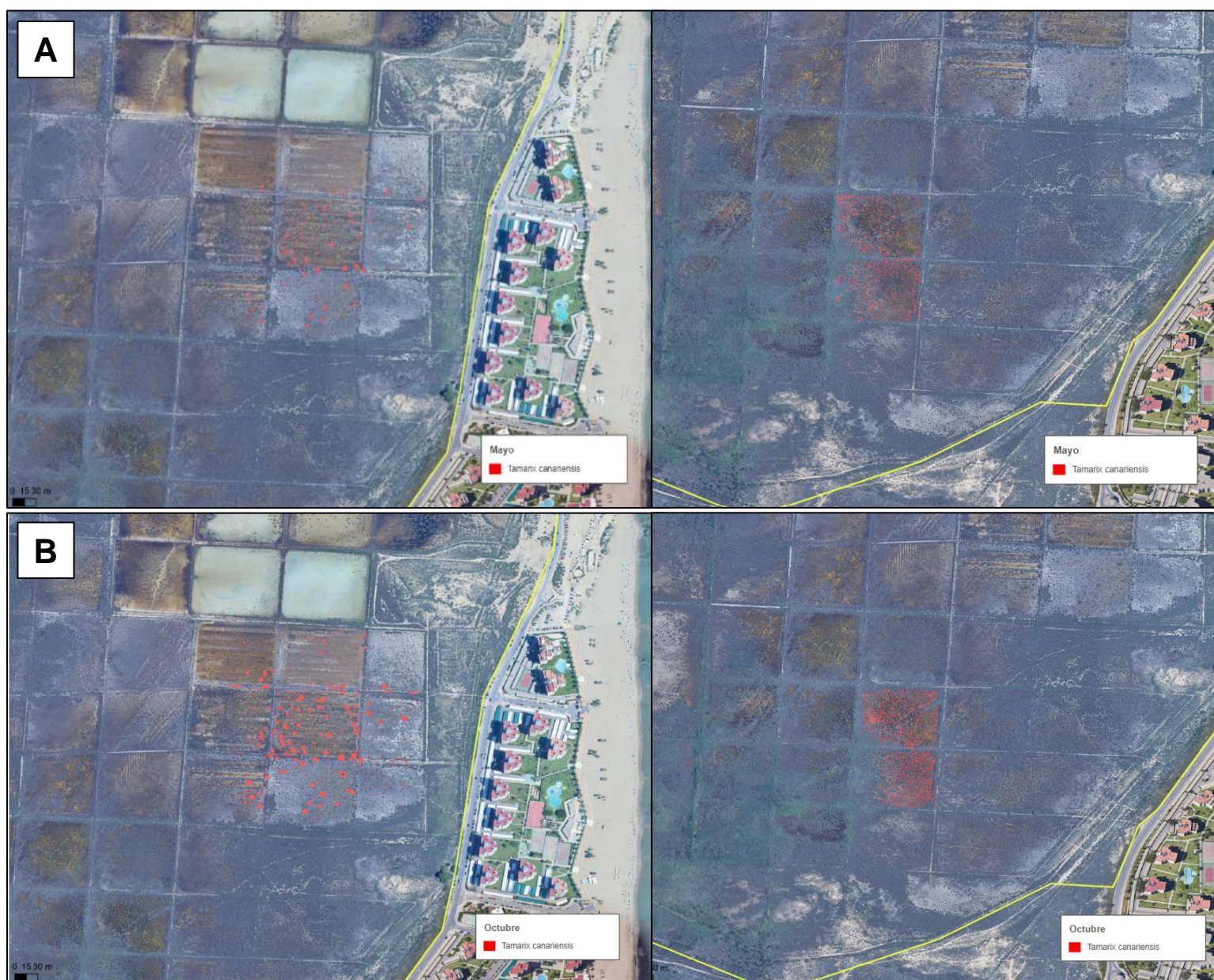
El análisis de la distribución espacial de *Tamarix canariensis* (**Figura 8**) muestra que esta especie presenta valores de NDVI entre 0.27 y 0.5, indicativos de una elevada actividad fotosintética.

Su presencia se concentra principalmente en la zona sur de los esteros, donde se ha observado una variación temporal significativa en su cobertura. Durante el muestreo de mayo, la superficie ocupada por esta especie era aproximadamente de 0.25 hectáreas, representando un 0.29% del área total del Saladar. Esta cobertura se incrementó notablemente en el muestreo de octubre, alcanzando las 0.4 hectáreas, lo que supone un 0.47% de la superficie total.

Sin embargo, esta variación en los valores de NDVI probablemente no refleja tanto un aumento real en la superficie ocupada por la especie, sino más bien responde a su fenología como árbol caducifolio. Al ser el taray una especie que pierde sus hojas en invierno (generalmente de noviembre a febrero) y las recupera en primavera (entre febrero y mayo), los valores detectados se relacionan con su ciclo vegetativo anual. La extensión del verano y el retraso en la llegada del invierno en 2024 explicarían los

mayores valores de NDVI en octubre, cuando la especie mantenía aún toda su masa fotosintética antes de entrar en el período de reposo vegetativo.

Esta interpretación se ve respaldada por las observaciones realizadas durante los muestreos de campo, donde no se detectó un incremento significativo en la superficie ocupada por la especie, pero sí se evidenciaron diferencias notables en el estado vegetativo de los ejemplares entre ambos períodos de muestreo. Tal como se observa en el punto I-95 (**Figura 9**), documentado en la nueva unidad propuesta de “Almarjales con *Tamarix canariensis*”, estos frondosos árboles aparecen de manera dispersa rodeando todo el punto de muestreo.



**Figura 8.** Mapas del área de *Tamarix canariensis*. (A) Correspondiente al mes de mayo. (B) Correspondiente al mes de octubre.



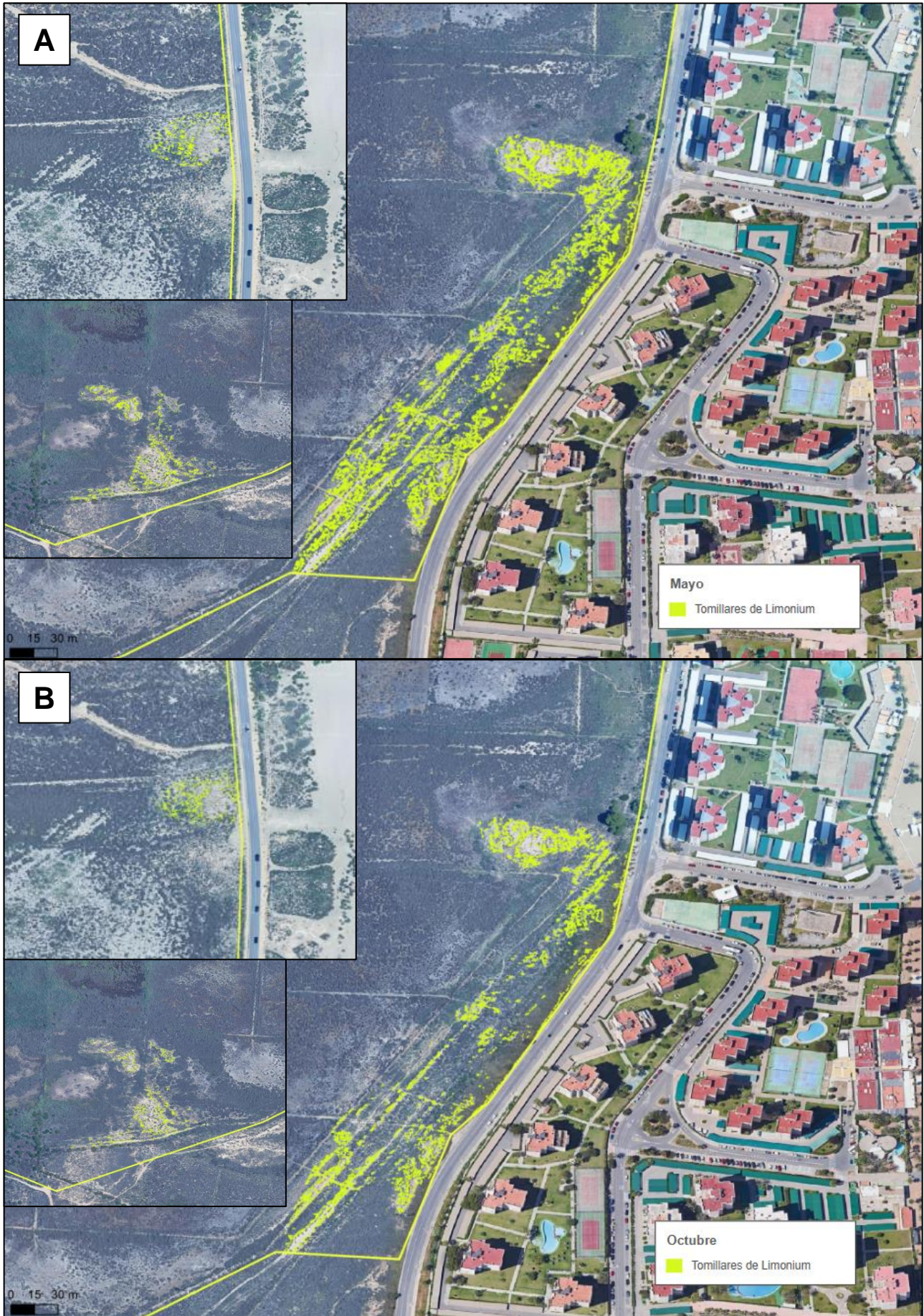
**Figura 9.** Punto I-95 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar *Tamarix canariensis*.

#### 4.1.4 Tomillares de *Limonium sp.*

El análisis espacial de los Tomillares de *Limonium sp.* (**Figura 10**) revela una distribución principalmente concentrada a lo largo del lateral este del Saladar. Esta comunidad presenta valores de NDVI entre 0.6 y 0.18, indicativos de una actividad fotosintética moderada, inferior a la registrada en las formaciones de *Phragmites australis*, pero suficiente para evidenciar la presencia de vegetación en estado saludable. podrían estar influenciados por el efecto de apantallamiento que generan las flores secas de la primavera anterior que permanecen sobre la planta, interfiriendo en la detección de la actividad fotosintética actual.

La superficie ocupada por esta comunidad muestra una variación temporal significativa: durante el muestreo de mayo, cuando las flores nuevas estaban activas fotosintéticamente, la superficie detectada era de aproximadamente 1.23 hectáreas (1.46% del total del Saladar), mientras que en octubre se redujo a 0.17 hectáreas (0.99% del área total). Esta disminución en la superficie detectada mediante NDVI podría explicarse tanto por la respuesta adaptativa de estas especies a las condiciones estivales extremas, característica de las plantas halófilas que reducen su actividad fotosintética como estrategia de supervivencia, como por el efecto del apantallamiento que generan las flores secas de la primavera anterior que permanecen sobre la planta, reduciendo la superficie fotosintéticamente activa visible en la imagen aérea. Esta nube de flores secas se encuentra perfectamente identificada en el punto de muestreo I-72, marcado en rojo en la **Figura 11**, durante los muestreos del mes de octubre de 2024.

Esta interpretación se ve respaldada por los trabajos de campo realizados, donde no se han observado cambios significativos ni apreciables en la distribución o extensión de esta unidad vegetal durante el período de estudio.



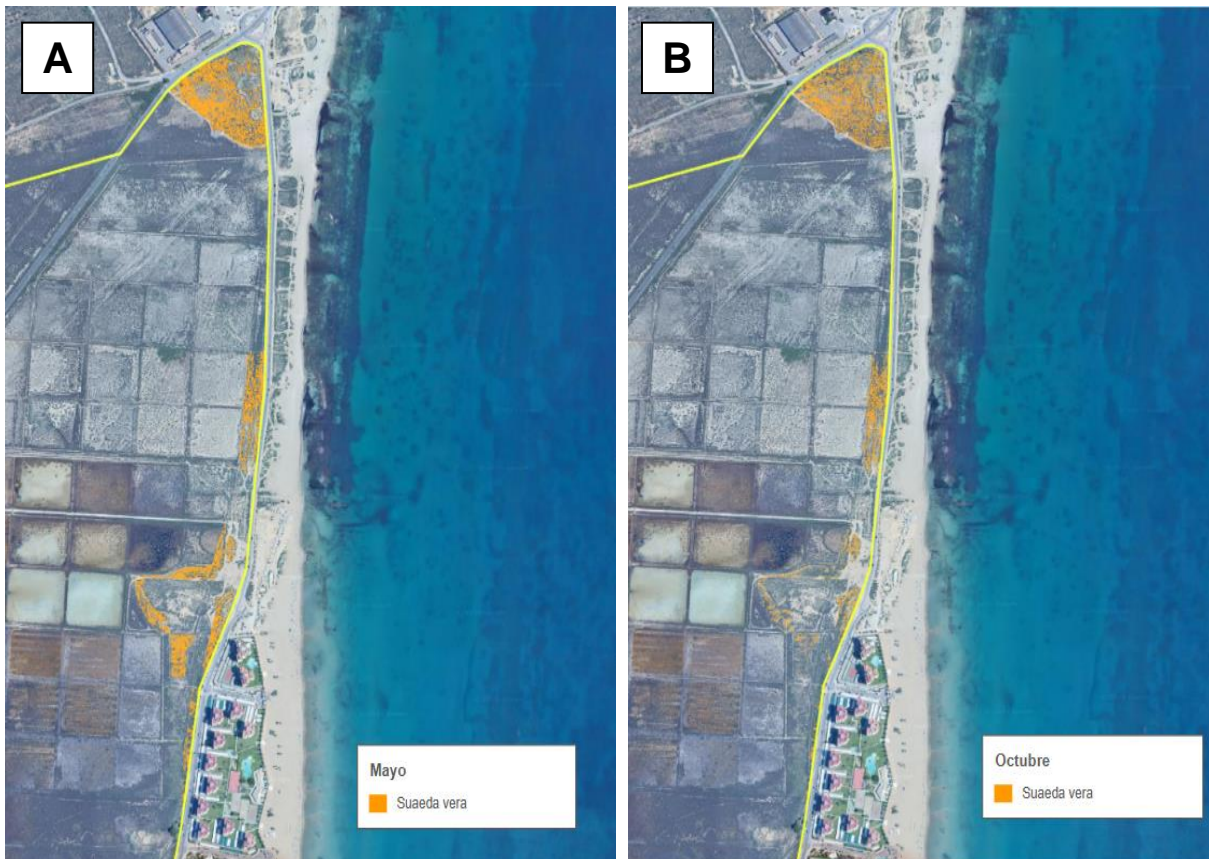
**Figura 10.** Mapas del área de Tomillares de Limonium sp. (A) Correspondiente al mes de mayo. (B) Correspondiente al mes de octubre.



**Figura 11.** Punto I-72 fotografiado en el muestreo de octubre 2024. Punto caracterizado por presentar Tomillares de *Limonium sp.*

#### 4.1.5 *Suaeda vera*

El análisis espacial de las áreas dominadas por *Suaeda vera* (**Figura 12**) revela que esta especie presenta valores de NDVI entre 0.15 y 0.20. Estos valores, aunque inferiores a los registrados en las formaciones de *Phragmites australis* o *Tamarix canariensis*, indican la presencia de vegetación con una actividad fotosintética moderada y en estado saludable, característico de especies adaptadas a las condiciones extremas del saladar.



**Figura 12.** Mapas del área de *Suaeda vera*. (A) Correspondiente al mes de mayo. (B) Correspondiente al mes de octubre.

La distribución de *Suaeda vera* se concentra principalmente en el lateral este y la zona septentrional del Saladar. El análisis temporal muestra una ligera variación en su cobertura: durante el muestreo de mayo ocupaba aproximadamente 6.2 hectáreas (7.38% del total del Saladar), mientras que en octubre se observó una leve reducción hasta las 6.0 hectáreas (6.14% del área total). Esta disminución en la superficie detectada, aunque modesta al tratarse de un arbusto perenne, podría estar relacionada

con la respuesta de la especie a las condiciones estivales extremas del verano de 2024, caracterizadas por temperaturas muy elevadas y ausencia de precipitaciones, que podrían haber provocado una reducción del tejido fotosintéticamente activo desarrollado durante las condiciones más favorables de primavera.

Las observaciones realizadas durante los trabajos de campo permiten contrastar esta información, descartando que se haya producido una pérdida significativa y detectable de esta unidad vegetal. Por tanto, la reducción detectada mediante el análisis NDVI no se considera alarmante, sino que probablemente refleja ajustes temporales en la actividad fotosintética de la especie.

## 4.2. DATOS DE CAMPO

Los datos de campo recopilados durante el año 2024 han sido detalladamente documentados y analizados en los informes semestrales del saladar correspondientes a primavera y otoño. Estos informes incluyen información exhaustiva sobre la composición, estructura y estado de las diferentes comunidades vegetales, así como los cambios observados en cada punto de muestreo. Por tanto, en el presente informe no se realizará un análisis pormenorizado de estos datos, sino que se utilizarán como base fundamental para, en combinación con los análisis de NDVI, generar una cartografía actualizada y precisa de la vegetación del saladar.

Las observaciones de campo han permitido identificar y proponer una nueva unidad vegetal no definida en estudios anteriores: "Almarjales con *Tamarix canariensis*". Esta nueva unidad, caracterizada por la presencia significativa de *Tamarix canariensis* en zonas tradicionalmente dominadas por almarjales, ha sido incluida en la cartografía actual y será objeto de seguimiento específico en los muestreos semestrales futuros para evaluar su evolución y dinámica.

Asimismo, durante los trabajos de campo se ha detectado la presencia de la especie invasora *Nicotiana glauca* en diversos puntos del saladar. Aunque actualmente su presencia no alcanza niveles alarmantes que justifiquen su definición como unidad independiente, se mantiene bajo vigilancia especial, contemplando la posibilidad de establecer una nueva unidad específica en el futuro si se observa una expansión significativa de sus poblaciones.

Para facilitar la consulta y el análisis de los datos de campo más recientes, en el **ANEXO II** se incluyen las tablas de datos correspondientes exclusivamente a los muestreos realizados durante 2024, prescindiendo de los registros históricos que pueden consultarse en informes anteriores. Esta organización permite una evaluación más directa de la situación actual del saladar y sus cambios más recientes

### 4.3. CARTOGRAFÍA

La cartografía generada para el Saladar de Agua Amarga (**Figura 13**) representa la distribución espacial de las diferentes unidades de vegetación identificadas durante el período de estudio de 2024. Este mapa integra la información obtenida mediante el análisis de imágenes satelitales (NDVI) con los datos recopilados durante los muestreos de campo, permitiendo una delimitación precisa de las distintas comunidades vegetales presentes en el saladar. La cartografía incluye la nueva unidad de "Almarjales con *Tamarix canariensis*" y refleja la distribución actual de las diferentes formaciones vegetales, desde los carrizales puros hasta las zonas sin vegetación o con presencia de *Ruppia maritima*, mostrando el complejo mosaico de hábitats que caracteriza este espacio natural.

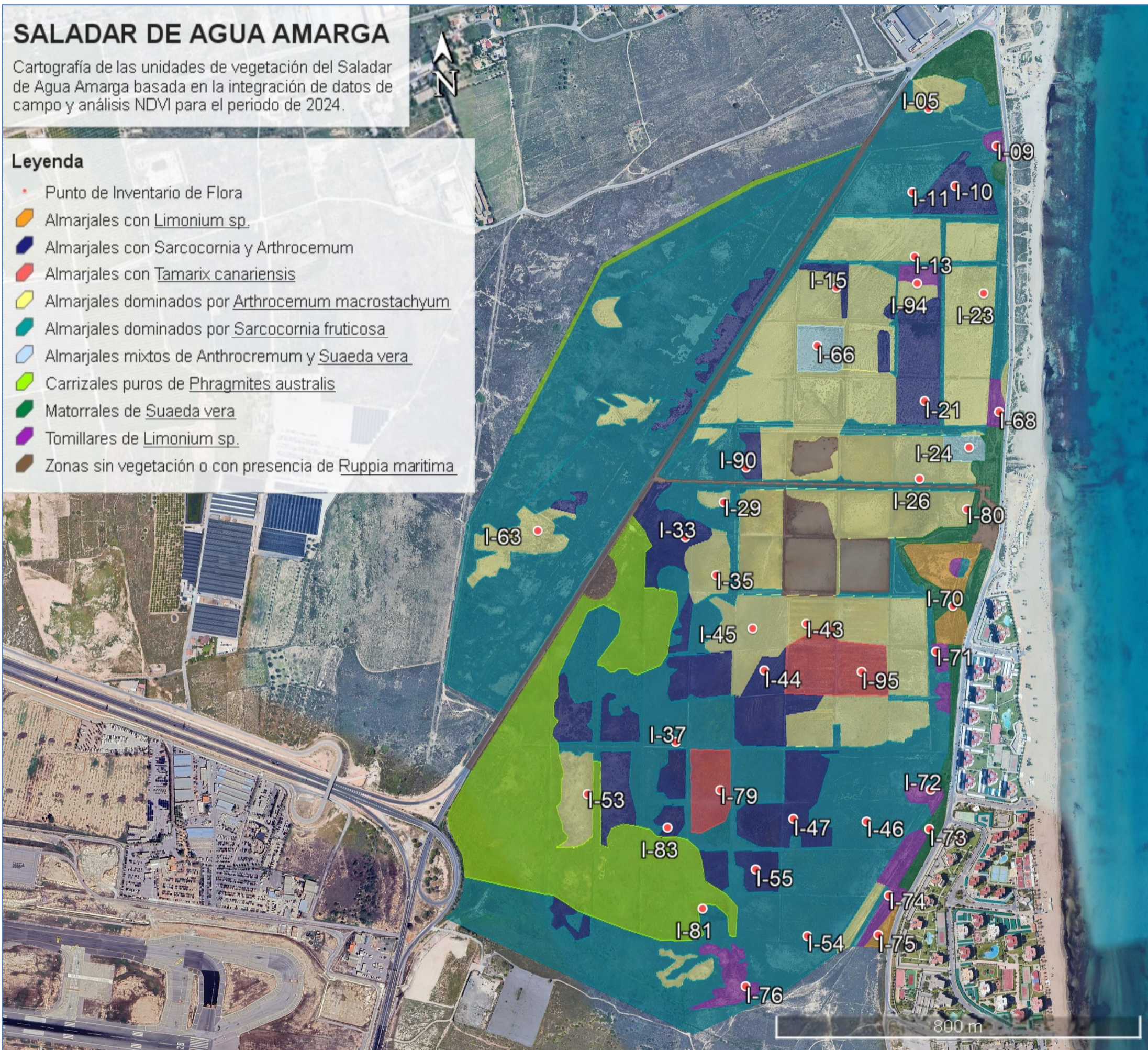


Figura 13. Cartografía de las unidades de vegetación del Saladar de Agua Amarga basada en la integración de datos de campo y análisis NDVI para el período 2024.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis mediante imágenes satelitales ha permitido estudiar la cobertura de las especies vegetales y su evolución temporal en el Saladar de Agua Amarga durante las dos campañas de muestreo realizadas en 2024. El índice NDVI ha demostrado ser una herramienta eficaz para distinguir diferentes estados de vigor vegetal, permitiendo, mediante la determinación de rangos específicos para cada especie y el apoyo de los datos de campo, cartografiar la distribución de: suelo desnudo, *Phragmites australis*, *Tamarix canariensis*, *Suaeda vera* y Tomillares de *Limonium sp.*

Como resultado del análisis, se han determinado los siguientes porcentajes de cobertura y sus variaciones:

- El suelo desnudo aumentó de un 25% a un 36% entre mayo y octubre de 2024, principalmente debido a la respuesta adaptativa de la vegetación ante las condiciones estivales extremas, que reduce su tejido fotosintéticamente activo.
- Los *Phragmites australis* mantuvieron una cobertura estable del 8% del área total, mostrando la mayor actividad fotosintética del saladar y evidenciando su capacidad de resistencia a las condiciones adversas.
- Los *Tamarix canariensis* mostraron un incremento del 0.29% al 0.47%, aunque esta variación responde más a su ciclo fenológico y estado vegetativo que a una expansión real de la especie.
- Los Tomillares de *Limonium sp.* redujeron su cobertura detectada del 1.46% al 0.99%, posiblemente debido al efecto combinado de su respuesta a las condiciones estivales y el apantallamiento producido por las estructuras florales secas.
- *Suaeda vera* mostró una ligera reducción del 7.38% al 6.14%, probablemente relacionada con la respuesta de la especie a las condiciones estivales extremas de 2024, que provocaron una reducción temporal del tejido fotosintéticamente activo.

Estos cambios, aunque significativos en términos porcentuales, deben interpretarse con cautela, ya que las observaciones de campo sugieren variaciones menos pronunciadas, siendo más indicativos de tendencias que de cambios drásticos en la vegetación del saladar.

## ANEXO I. IMÁGENES SATELITALES SIN TRATAR



Figura 14. Imagen satelital del día 26/10/2024

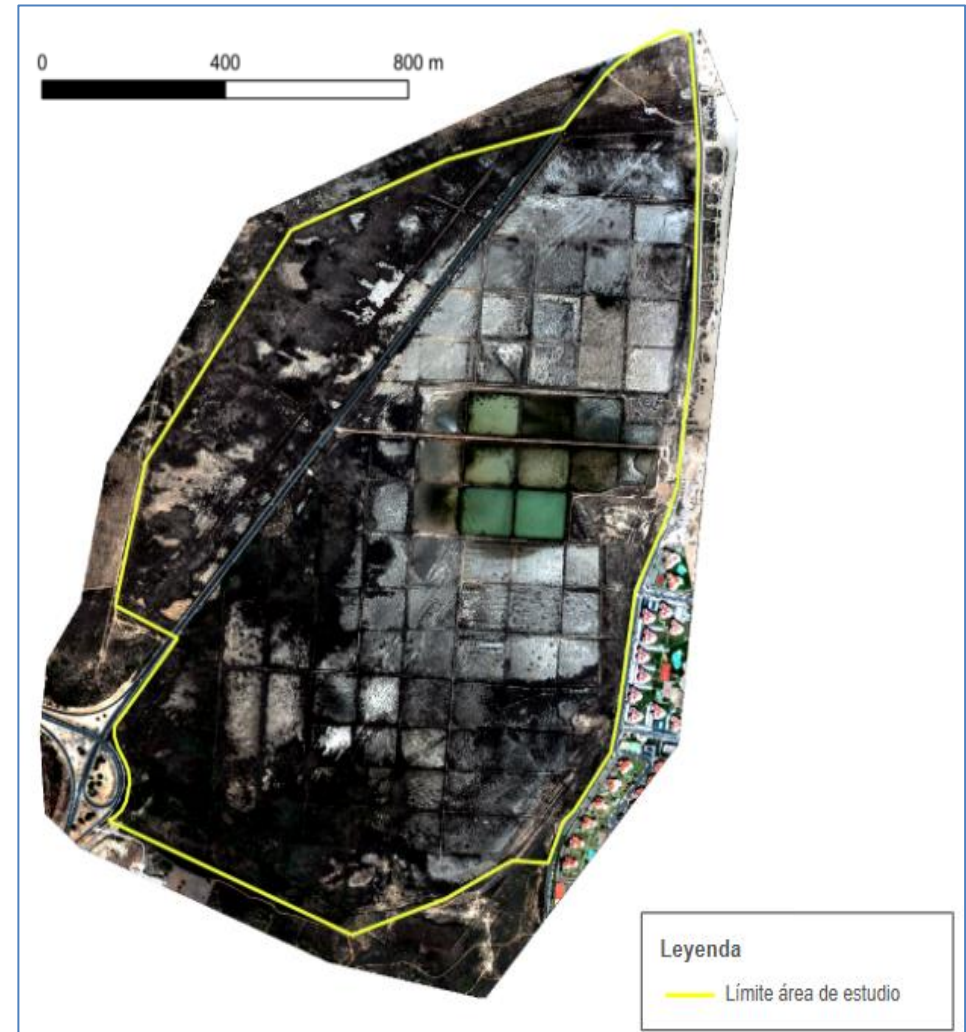


Figura 15. Imagen satelital del día 04/05/2024

## ANEXO II. INVENTARIOS DE VEGETACIÓN COMPARATIVOS JUNIO-OCTUBRE 2024

### Tabla 1.1. INVENTARIO DE FLORA JUNIO DE 2024

Punto de muestreo	I-05	I-09	I-10	I-11	I-13	I-15	I-21	I-23	I-24	I-26	I-29	I-33	I-35	I-37	I-43	I-44	I-45	I-46	I-47	I-53
<b>Cobertura total (%)</b>	40	25	35	65	15	60	40	50	30	50	30	90	60	80	30	60	80	90	60	75
<b>Nº de especies</b>	4	5	4	3	3	2	3	2	3	1	2	5	3	2	3	3	1	1	3	3
<b>Fecha</b>	19/06	19/06	19/06	19/06	19/06	19/06	21/06	21/06	21/06	21/06	21/06	21/06	21/06	20/06	21/06	21/06	21/06	20/06	20/06	20/06
<b>Cobertura de especies (%):</b>																				
<i>Aeluropus littoralis</i>																				
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>						50	18		10	50	5	1	59	40	30	15	80			25
<i>Asparragus horridus</i>																				
<i>Aster squamatus</i>												<1								25
<i>Centaurea aspera</i>																				
<i>Cynomorium coccineum</i>																				
<i>Ditrichia viscosa</i>																				
<i>Euphorbia terracina</i>																				
<i>Halimione portulacoides</i>																				
<i>Juncus maritimus</i>																				
<i>Limonium cossonianum</i>	<1	17	5																	
<i>Limonium echioides</i>	20		10																	
<i>Limonium santapolense</i>		1	17	5				48												
<i>Lycium intricatum</i>																				
<i>Lygeum spartum</i>		2																		
<i>Nicotiana glauca</i>							4													
<i>Phagnalon saxatile</i>		<1		<1	<1															
<i>Phragmites australis</i>												1	<1		<1	<1			<1	
<i>Pistacia lentiscus</i>																				
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	10		3	60	14	10	18	2	5		25	88	1	40		45		90	60	25
<i>Suaeda vera</i>	10	5			1				15			<1								
<i>Tamarix canariensis</i>															<1				<1	

**Tabla 1.2. INVENTARIO DE FLORA JUNIO DE 2024**

Punto de muestreo	I-54	I-55	I-63	I-66	I-68	I-70	I-71	I-72	I-73	I-74	I-75	I-76	I-79	I-80	I-81	I-83	I-90	I-94	I-95
<b>Cobertura total (%)</b>	90	75	40	25	75	75	80	45	80	70	100	70	80	60	95	25	30	15	50
<b>Nº de especies</b>	2	4	4	3	4	4	5	4	5	10	8	4	3	3	4	2	3	4	1
<b>Fecha</b>	20/06	20/06	21/06	19/06	21/06	21/06	21/06	20/06	20/06	20/06	20/06	20/06	20/06	21/06	20/06	20/06	21/06	19/06	21/06
<b>Cobertura de especies (%):</b>																			
<i>Aeluropus littoralis</i>								2											
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>		25	30	18					5		10	5	35		12	15	<1	50	
<i>Asparragus horridus</i>							<1		<1	<1									
<i>Aster squamatus</i>																			
<i>Centaurea aspera</i>										<1									
<i>Cynomorium coccineum</i>									<1										
<i>Ditrichia viscosa</i>								10	5										
<i>Euphorbia terracina</i>										<1									
<i>Halimione portulacoides</i>				50		<1		2											
<i>Juncus maritimus</i>											5			6					
<i>Limonium cossonianum</i>				5	5	63	20	7	50	<1	50								
<i>Limonium echioides</i>																			
<i>Limonium santapolense</i>			7	15						<1								7	
<i>Lycium intricatum</i>					10			30	<1										
<i>Lygeum spartum</i>					25				5	100									
<i>Nicotiana glauca</i>							20												
<i>Phagnalon saxatile</i>									<1										
<i>Phragmites australis</i>	<1	5													4		<1		
<i>Pistacia lentiscus</i>							3												
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	90	25	2	6	5		15		3	<1		5	75	20	85	13	15	7	
<i>Suaeda vera</i>			1	1		35	2		30	3	<1			5				1	
<i>Tamarix canariensis</i>		20											<1		<1				

**Tabla 2.1. INVENTARIO DE FLORA OCTUBRE DE 2024**

Punto de muestreo	I-05	I-09	I-10	I-11	I-13	I-15	I-21	I-23	I-24	I-26	I-29	I-33	I-35
<b>Cobertura total (%)</b>	40	30	50	55	15	55	15	40	30	60	15	85	40
<b>Nº de especies</b>	4	8	4	3	6	2	3	2	3	1	2	3	2
<b>Fecha</b>	14/10	14/10	14/10	14/10	14/10	14/10	14/10	14/10	16/10	14/10	14/10	16/10	16/10
<b>Cobertura de especies (%):</b>													
<i>Aeluropus littoralis</i>													
<i>Ajuga iva</i>													
<i>Anagallis arvensis</i>		<1											
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>					1	45	6		10	60	6	2	40
<i>Asparragus horridus</i>													
<i>Aster squamatus</i>													
<i>Atriplex halimus</i>													
<i>Centaurea aspera</i>													
<i>Cynomorium coccineum</i>													
<i>Ditrichia viscosa</i>		<1											
<i>Euphorbia terracina</i>													
<i>Frankenia corymbosa</i>		12											
<i>Halimione portulacoides</i>													
<i>Heliotropium europaeum</i>		<1											
<i>Hyparrhenia sinaica</i>													
<i>Juncus maritimus</i>													
<i>Lantana camara</i>													
<i>Limonium cossonianum</i>	<1	13	20		1								
<i>Limonium insigne</i>	20		15										
<i>Limonium santapolense</i>		3	10	10				38					
<i>Lycium intricatum</i>													
<i>Lygeum spartum</i>		2											
<i>Linaria sp.</i>													
<i>Mercurialis annua</i>													
<i>Nicotiana glauca</i>					1		<1						
<i>Phagnalon saxatile</i>		<1		<1	<1								
<i>Phragmites australis</i>													<1
<i>Pistacia lentiscus</i>													
<i>Piptatherum miliaceum</i>												<1	
<i>Salsola oppositifolia</i>													
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	5		5	45	11	10	9	2	<1		9	83	
<i>Sonchus tenerrimus</i>													
<i>Suaeda vera</i>	15				1				20				
<i>Tamarix canariensis</i>													
<i>Thymelaea hirsuta</i>													

**Tabla 2.2. INVENTARIO DE FLORA OCTUBRE DE 2024**

Punto de muestreo	I-37	I-43	I-44	I-45	I-46	I-47	I-53	I-54	I-55	I-63	I-66	I-68	I-70
<b>Cobertura total (%)</b>	80	20	50	75	90	60	75	90	70	30	30	20	70
<b>Nº de especies</b>	2	2	2	2	1	3	3	2	4	3	3	9	6
<b>Fecha</b>	15/10	16/10	16/10	16/10	15/10	15/10	15/10	15/10	15/10	16/10	16/10	14/10	16/10
<b>Cobertura de especies (%):</b>													
<i>Aeluropus littoralis</i>													
<i>Ajuga iva</i>													
<i>Anagallis arvensis</i>												<1	
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	35	19	30	73			25		25	25	15		
<i>Asparragus horridus</i>													<1
<i>Aster squamatus</i>						25							
<i>Atriplex halimus</i>													
<i>Centaurea aspera</i>													
<i>Cynomorium coccineum</i>													
<i>Ditrichia viscosa</i>													
<i>Euphorbia terracina</i>												<1	
<i>Frankenia corymbosa</i>													25
<i>Halimione portulacoides</i>												1	
<i>Heliotropium europaeum</i>													
<i>Hyparrhenia sinaica</i>													
<i>Juncus maritimus</i>													
<i>Lantana camara</i>													
<i>Limonium cossonianum</i>												3	6
<i>Limonium insigne</i>												2	
<i>Limonium santapolense</i>									5			<1	
<i>Lycium intricatum</i>													10
<i>Lygeum spartum</i>													25
<i>Linaria sp.</i>													
<i>Mercurialis annua</i>													
<i>Nicotiana glauca</i>													
<i>Phagnalon saxatile</i>													
<i>Phragmites australis</i>		<1							<1			2	
<i>Pistacia lentiscus</i>													
<i>Piptatherum miliaceum</i>				2		1							
<i>Salsola oppositifolia</i>													
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	45		20		90	58	25	90	25		6	4	
<i>Sonchus tenerrimus</i>													
<i>Suaeda vera</i>											9	8	4
<i>Tamarix canariensis</i>		1				1		<1	20	<1			
<i>Thymelaea hirsuta</i>													

**Tabla 2.3. INVENTARIO DE FLORA OCTUBRE DE 2024**

Punto de muestreo	I-71	I-72	I-73	I-74	I-75	I-76	I-79	I-80	I-81	I-83	I-90	I-94	I-95
<b>Cobertura total (%)</b>	75	45	70	60	95	70	60	60	95	30	30	15	40
<b>Nº de especies</b>	5	4	10	8	9	4	4	3	4	2	2	4	2
<b>Fecha</b>	16/10	15/10	16/10	15/10	15/10	15/10	15/10	14/10	15/10	15/10	14/10	14/10	16/10
<b>Cobertura de especies (%):</b>													
<i>Aeluropus littoralis</i>		2											
<i>Ajuga iva</i>					<1								
<i>Anagallis arvensis</i>			<1										
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	<1					10	23	37	5	17	13		40
<i>Asparragus horridus</i>	<1			<1	<1								
<i>Aster squamatus</i>													
<i>Atriplex halimus</i>												<1	
<i>Centaurea aspera</i>			<1										
<i>Cynomorium coccineum</i>													
<i>Ditrichia viscosa</i>			20	3									
<i>Euphorbia terracina</i>													
<i>Frankenia corymbosa</i>	10			2									
<i>Halimione portulacoides</i>				15									
<i>Heliotropium europaeum</i>													
<i>Hyparrhenia sinaica</i>					<1								
<i>Juncus maritimus</i>						5			15				
<i>Lantana camara</i>					<1								
<i>Limonium cossonianum</i>	50	30	7	35	<1	50							
<i>Limonium insigne</i>													
<i>Limonium santapolense</i>													
<i>Lycium intricatum</i>			20									10	
<i>Lygeum spartum</i>				5	93								
<i>Linaria sp.</i>													
<i>Mercurialis annua</i>			<1										
<i>Nicotiana glauca</i>		10											
<i>Phagnalon saxatile</i>					<1								
<i>Phragmites australis</i>							2		10				
<i>Pistacia lentiscus</i>		3			<1								
<i>Piptatherum miliaceum</i>			<1										
<i>Salsola oppositifolia</i>												<1	
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	15		3	<1		5	35	20	65	13	17	5	<1
<i>Sonchus tenerrimus</i>					<1								
<i>Suaeda vera</i>			20	<1				3					
<i>Tamarix canariensis</i>							<1						
<i>Thymelaea hirsuta</i>					2								