

SERVICIOS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN- Zonas Verdes

Otoño 2025



Cliente:

Área de Gobierno de
Urbanismo, Medio Ambiente y
Movilidad de Madrid.

Ubicación:

**C/ Ribera del Sena, 21 -
28042 MADRID
T. 91 588 36 27 – E.**

HOJA DE CONTROL

Título	SERVICIO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN- Zonas Verdes		
Autor	Bruno Henrique Migues Moreira		
	Jesus Pavón		
	Luciana Tozzini		
	Miguel Ángel García		
	Oscar Muños		
	Silvia Rovira Garrigos		
Clasificación de seguridad	No Aplicable		
Referencia			
Versión	0.0	Fecha	17/04/2026
Revisado por	Luciana Tozzini	Fecha de Revisión	16/04/2026
Aprobado por	Jesus Pavón	Fecha de Aprobación	16/04/2026
		Número de Páginas	

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN4

2. OBJETIVOS5

3. METODOLOGÍA.....6

3.1. Cálculo de índices espectrales.....6

3.2. Selección de áreas de referencia y definición del umbral de vegetación .7

3.3. 3.3. Clasificación de la vegetación8

4. RESULTADOS.....10

4.1. Discusión de los resultados en contexto estacional y climático10

5. ENTREGABLES.....12

1. Introducción

El presente informe documenta el proceso técnico y los resultados obtenidos en el marco de la clasificación de zonas verdes del municipio de Madrid a partir de imágenes multiespectrales de alta resolución. El trabajo se enmarca en el contrato suscrito con el Ayuntamiento de Madrid y da respuesta a los requerimientos técnicos establecidos en el pliego de condiciones.

La fuente de datos principal es la campaña de adquisición de imágenes de otoño de 2025, correspondiente a imágenes multiespectrales de 8 bandas capturadas por sensores Maxar (WorldView-2/3). Estas imágenes fueron previamente ortorrectificadas y provistas con sus coeficientes de calibración, por lo que el procesamiento se inició directamente desde reflectancia de superficie, sin necesidad de aplicar correcciones topológicas adicionales.

La clasificación de la vegetación urbana y periurbana tiene como finalidad generar información geoespacial actualizada sobre la distribución, densidad y estructura vertical de las coberturas vegetales del municipio. Esta información resulta de utilidad para la planificación y gestión del arbolado urbano, el seguimiento de la infraestructura verde y la evaluación de los servicios ecosistémicos asociados.

2. Objetivos

El objetivo general del trabajo es producir una cartografía detallada y actualizada de las zonas verdes del municipio de Madrid, diferenciando tipologías de cobertura vegetal según su estructura vertical, a partir del análisis de imágenes multiespectrales de alta resolución.

Los objetivos específicos son:

- Determinar un umbral de NDVI mínimo para la discriminación entre zonas vegetadas y no vegetadas, validado mediante áreas de referencia y verificación visual.
- Clasificar la vegetación detectada en tres estratos: vegetación baja (herbácea), vegetación media (arbustiva) y vegetación alta (arbolada).
- Integrar índices espectrales y datos altimétricos (MDH) para mejorar la precisión de la clasificación estratificada.
- Generar los entregables cartográficos y documentales establecidos en el pliego de condiciones para la campaña de otoño 2025.

3. Metodología

3.1. Cálculo de índices espectrales

A partir de las imágenes multiespectrales de 8 bandas de la campaña de otoño 2025, se calcularon cinco índices espectrales conforme a lo especificado en la sección 4.5 del pliego de condiciones. Cada índice fue calculado pixel a pixel sobre la imagen en reflectancia de superficie y almacenado en formato Cloud-Optimized GeoTIFF (COG) con compresión LZW. Los archivos de índices que superaron los 4 GB fueron generados en formato BigTIFF para garantizar la compatibilidad con el estándar GeoTIFF.

Tabla 1. Índices espectrales calculados y su función en la clasificación

Índice	Nombre completo	Función en la clasificación
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	Umbral de vegetación / vitalidad
NDWI	Normalized Difference Water Index	Contenido hídrico foliar
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	Corrección efecto suelo en zonas de baja cobertura
EVI	Enhanced Vegetation Index	Discriminación en zonas de alta densidad
LAI	Leaf Area Index	Estimación de biomasa y densidad foliar

Adicionalmente, se generó un stack multibanda de 5 canales (NDVI, NDWI, SAVI, EVI y LAI) en un único archivo COG, que fue utilizado como insumo directo para el modelo de clasificación.

3.2. Selección de áreas de referencia y definición del umbral de vegetación

La distinción entre zonas vegetadas y no vegetadas se basó en la definición de un umbral mínimo de NDVI. Para establecer este umbral, se seleccionaron 30 áreas de referencia distribuidas por el área de estudio, representativas de superficies con diferente grado de cobertura vegetal, suelo desnudo y superficies urbanas impermeables.

Para cada área de referencia se extrajeron los valores estadísticos de NDVI (mínimo, percentil 10, mediana y percentil 90), y se identificó el valor mínimo por debajo del cual la presencia de vegetación activa podía descartarse de manera consistente. Los resultados fueron verificados visualmente superponiendo el umbral derivado sobre las imágenes en color verdadero y composiciones de falso color infrarrojo, confirmando que la separación entre suelo desnudo, superficies impermeables y vegetación era correcta y geográficamente coherente.

Para la clasificación estratificada de la vegetación en tres clases, se seleccionaron áreas de referencia adicionales distribuidas por tipología:

Tabla 2. Áreas de referencia utilizadas por etapa y clase

Etapas	Clase objetivo	Áreas de referencia	Tipo de cobertura
Definición de umbral NDVI	Vegetación / No vegetación	30	Mixto (vegetado y no vegetado)
Clasificación — Vegetación baja	Herbácea / Pasto raso	10	Céspedes y praderas
Clasificación — Vegetación media	Arbustiva	10	Arbustos y setos
Clasificación — Vegetación alta	Arbolada	10	Arbolado urbano y masas forestales
TOTAL	4 clases	60	

Las áreas de referencia para la clasificación de estratos fueron seleccionadas de forma que representaran condiciones puras y espectralmente homogéneas de cada tipología, evitando zonas de ecotono o con mezcla de coberturas.

3.3. 3.3. Clasificación de la vegetación

La clasificación se realizó en dos etapas: en primer lugar se enmascaró la cobertura no vegetal utilizando el umbral de NDVI definido en la etapa anterior; sobre los píxeles clasificados como vegetados se aplicó a continuación el modelo de estratificación vertical.

El modelo de clasificación integró el comportamiento de los cinco índices espectrales calculados y la información altimétrica proveniente del Modelo Digital de Heights (MDH). Dado que no se disponía de un MDH correspondiente a la campaña de otoño 2025, se utilizó el MDH de 2024, por lo que los resultados de estratificación deben considerarse de referencia y pueden presentar desviaciones puntuales en zonas con cambios en la estructura vertical de la vegetación entre ambas fechas.

Los límites de altura para la separación entre estratos se establecieron de la siguiente manera, con el objetivo de evitar la influencia de valores atípicos (outliers) y de reflejar los rangos de altura típicos de cada cobertura:

Tabla 3. Límites de altura para la clasificación estratificada (MDH 2024)

Estrato		Rango de altura (MDH 2024)	Cobertura típica
Vegetación baja		< 0,5 m	Céspedes, herbáceas, plantas tapizantes, Jardines
Vegetación (arbustiva)	media	0,5 – 2,0 m	Arbustos, setos, vegetación de ribera baja
Vegetación (arbolada)	alta	> 2,0 m	Arbolado urbano, masas forestales

Sobre la clasificación inicial se aplicaron una serie de correcciones de postprocesado orientadas a mejorar la coherencia cartográfica del resultado:

- Filtro de área mínima por polígono: se eliminaron unidades clasificadas por debajo de un umbral mínimo de superficie para reducir el ruido de clasificación y los artefactos de borde.
- Suavizado gaussiano: se aplicó un filtro gaussiano de radio mínimo para suavizar los contornos de los polígonos generados y ajustarlos a la forma real de las masas vegetales, evitando la apariencia pixelada característica de los clasificadores a nivel de píxel.

Al estar las imágenes de partida ya ortorrectificadas, no se realizaron correcciones geométricas ni de topología adicionales.

4. Resultados

Los resultados obtenidos son concordantes con lo esperado para la estación otoñal en la región de Madrid. La cobertura vegetal cartografiada asciende a un total de 7.243,11 Ha, distribuidos entre los tres estratos de vegetación definidos. La Tabla 5 resume las superficies obtenidas para cada clase.

Tabla 5. Superficie cartografiada por clase de vegetación (campaña otoño 2025)

Clase	Superficie (Ha)	% del total
Vegetación baja (herbácea)	2.802,98	38,7 %
Vegetación media (arbustiva)	1.238,06	17,1 %
Vegetación alta (arbolada)	3.202,07	44,2 %
TOTAL	7.243,11	100 %

El estrato de vegetación alta (arbolada) representa la mayor fracción de la cubierta vegetal detectado (44,2 %), seguido de la vegetación baja (38,7 %) y la vegetación media arbustiva (17,1 %). Esta distribución es consistente con la estructura típica del verde urbano madrileño, donde el arbolado de alineación y los parques y jardines con masas arbóreas dominan en superficie frente a los estratos intermedios.

4.1. Discusión de los resultados en contexto estacional y climático

Los valores de superficie obtenidos deben interpretarse en el contexto de las condiciones fenológicas y climáticas propias de la fecha de adquisición de la imagen. El otoño es la estación de menor vigor fotosintético en muchas de las especies presentes en el arbolado urbano madrileño: las especies de hoja caduca —que representan una parte significativa del arbolado de alineación— inician o tienen ya avanzada la senescencia foliar durante el período de adquisición, lo que se traduce en una reducción de los valores de NDVI y de los demás índices espectrales de verdor. Esto puede provocar que parte de la vegetación arbórea en fase de defoliación quede por debajo del umbral de NDVI definido y no sea cartografiada, reduciendo la superficie total detectada en comparación con una

adquisición de primavera o verano, cuando el dosel vegetal se encuentra en plena actividad.

De manera análoga, la vegetación herbácea y las comunidades pratenses registran en otoño un estado de menor actividad que en primavera. En las zonas de pradera y césped urbano, el estrés hídrico acumulado durante el verano y el inicio del letargo otoñal reducen el contenido hídrico foliar y la densidad de clorofila, lo que se refleja en valores de NDWI y LAI menores y en una mayor confusión espectral con suelo desnudo o superficies de baja cobertura.

El contexto climático del período previo a la campaña refuerza esta interpretación. Según los datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el verano de 2025 fue el más cálido de la serie histórica en España, con una temperatura media de 24,2 °C en la Península, 2,1 °C por encima de la media del período de referencia 1991–2020. En la estación de Madrid/Getafe se registró la temperatura mínima nocturna más elevada desde el inicio de las observaciones. El período estival fue además seco en su conjunto, con precipitaciones muy por debajo de lo habitual. Este verano excepcional supone que la vegetación, especialmente la de porte herbáceo y arbustivo, llegó al otoño con un déficit hídrico acumulado más severo de lo habitual y con un estado fisiológico ya deteriorado antes del inicio de la senescencia estacional.

El propio otoño de 2025 fue a su vez muy cálido y seco en el conjunto de España. Octubre fue el sexto más cálido desde 1961, con una anomalía térmica de +2,1 °C sobre la normal en la España peninsular, y la precipitación total otoñal representó solo el 83 % del valor normal, situándose como el vigésimo segundo otoño más seco desde 1961. En el área de Madrid, las anomalías térmicas no fueron especialmente marcadas respecto al conjunto peninsular, aunque los episodios cálidos prolongados de septiembre y octubre contribuyeron a adelantar y acentuar la senescencia en las especies caducas y a prolongar el estrés hídrico en la vegetación herbácea. En conjunto, estas condiciones son coherentes con los valores de área detectada y justifican que los resultados se consideren representativos de un otoño térmicamente anómalo y de escasa pluviometría, por lo que podrían ser ligeramente inferiores a los esperables en una campaña otoñal de condiciones medias.

Por todo lo anterior, y tal como se indicó en la sección metodológica, los resultados obtenidos tienen carácter de referencia estacional. Una comparación con campañas de primavera o de inicio de verano permitiría cuantificar la variación estacional de la cobertura vegetal y obtener una estimación más representativa de la superficie verde máxima del municipio.

5. Entregables

En el marco de la campaña de otoño 2025, se generan los siguientes entregables cartográficos y documentales:

Tabla 4. Entregables de la campaña de otoño 2025

Entregable	Formato	Descripción
Raster de clasificación	GeoTIFF (COG)	Clasificación pixel a pixel de la cobertura vegetal
Capa vectorial de polígonos	Shapefile (.shp)	Polígonos con clase, estrato y superficie (m ²) en tabla de atributos
Metadatos	.xml	Sistema de referencia, fecha, fuente de imagen, parámetros del modelo
Informe técnico	.pdf	Descripción del proceso, metodología y resultados (este documento)

La capa vectorial de polígonos incluye en su tabla de atributos, para cada unidad cartografiada: la clase de cobertura asignada, el estrato de vegetación (baja, media o alta) y la superficie en metros cuadrados del polígono. La nomenclatura de clases y estratos es consistente con la establecida en el pliego de condiciones y con la leyenda definida para la campaña.

Los metadatos documentan el sistema de referencia espacial, la fecha de la imagen utilizada, el sensor y resolución espacial, la versión del MDH empleado, los parámetros principales del modelo de clasificación y la fecha de generación del producto.