

Apéndice A. Procedimientos complementarios de captura y conformación del dataset

A.1 Adquisición de imágenes RGB

La construcción del conjunto de datos RGB se inició a partir de una revisión del estado del arte y de la búsqueda de bases de datos públicas relacionadas con la clasificación de frutas. Como resultado, se identificó el conjunto de datos *Fruits-360*, disponible en la plataforma Kaggle, el cual contiene imágenes de diferentes tipos de frutas capturadas bajo condiciones controladas. A partir de este conjunto se seleccionaron las muestras correspondientes a mandarinas, conformadas por aproximadamente 166 imágenes de frutos en buen estado capturados desde diferentes ángulos y con una resolución de 100×100 píxeles.

Figura A.1 *Ejemplo de una imagen de mandarina perteneciente al conjunto de datos Fruits-360.*

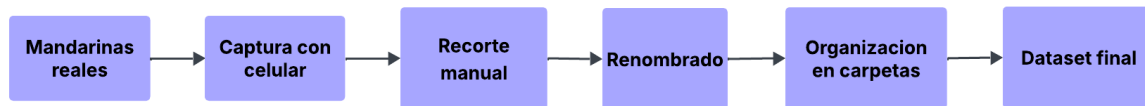


Debido al reducido número de muestras disponibles y a la ausencia de imágenes correspondientes a frutos con defectos, se realizó una campaña de adquisición propia mediante salidas de campo, obteniendo imágenes de mandarinas clasificadas visualmente como aptas y no aptas. Las capturas fueron realizadas procurando utilizar un fondo oscuro, con el fin de mantener una apariencia similar a las condiciones de operación de la banda transportadora empleada posteriormente en el sistema de clasificación.

Posteriormente, las imágenes adquiridas fueron sometidas a un proceso de recorte y segmentación manual con el propósito de reducir la presencia del fondo y centrar la atención sobre

el fruto. Una vez procesadas, las muestras fueron organizadas en una estructura de carpetas correspondiente a las categorías *Buenas* y *Malas*, contenidas dentro del directorio principal denominado *Mandarinas*.

Figura A.2 Diagrama del proceso de conformación del dataset.



Adicionalmente, se implementó un procedimiento automático de renombrado utilizando scripts desarrollados en Python, permitiendo asignar nombres consecutivos a las imágenes y facilitar la trazabilidad y organización del conjunto de datos.

Código A.1. Fragmento del script desarrollado en Python para la asignación automática de nombres a las imágenes.

```
1     ext = os.path.splitext(filename)[1] # extensión original
2     new_name = f"{contador} (mala){ext}"
3     .
```

Finalmente, el conjunto de datos conformado estuvo compuesto por 2237 imágenes correspondientes a mandarinas aptas y 1860 imágenes de mandarinas no aptas. Una vez estructurado y verificado, el dataset fue almacenado y posteriormente cargado en la plataforma Kaggle para ser utilizado durante las etapas de entrenamiento y validación de los modelos de inteligencia artificial desarrollados en el presente trabajo.

Figura A.3 Ejemplos de imágenes pertenecientes a las clases Good y Bad del conjunto de datos construido.

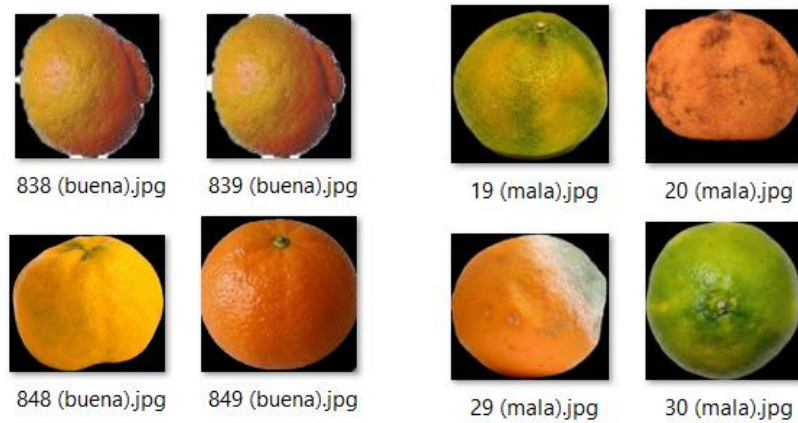


Tabla A.1 Distribución del conjunto de datos RGB.

Clase	Numero de imágenes
Good (Apta)	2237
Bad (No apta)	1860
Total	4097

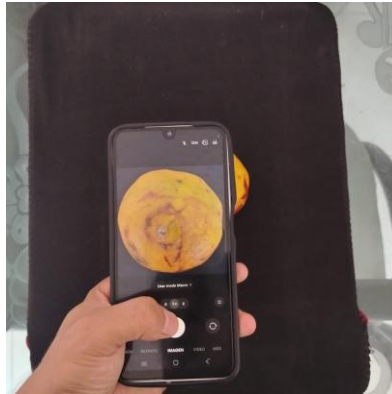
A.1.1 Condiciones de captura

La adquisición de las imágenes RGB fue realizada utilizando un teléfono inteligente Huawei Y9s, empleando el mismo dispositivo durante todo el proceso con el fin de mantener condiciones homogéneas de captura. Las fotografías fueron obtenidas en ambientes interiores, conservando condiciones de iluminación similares entre las diferentes sesiones de adquisición.

Con el propósito de aproximar las condiciones de operación del sistema de clasificación desarrollado, se utilizó un fondo oscuro mediante el empleo de una cartulina negra, permitiendo aumentar el contraste entre el fruto y el entorno. Adicionalmente, se mantuvo una distancia de

captura aproximadamente constante entre la cámara y las muestras, favoreciendo una apariencia uniforme en las imágenes obtenidas.

Figura A.4 *Dispositivo y condiciones generales de captura de las imágenes RGB.*



Durante la adquisición se realizaron variaciones en la orientación de las mandarinas, registrando diferentes vistas del fruto mediante rotaciones superiores, inferiores y laterales. Esta estrategia permitió incorporar variabilidad geométrica dentro del conjunto de datos y obtener representaciones más diversas de cada muestra.

Figura A.5 *Variaciones de orientación empleadas durante la captura de las muestras.*



A.2 Adquisición de imágenes espectrales

A.2.1 Configuración de la cámara SWIR

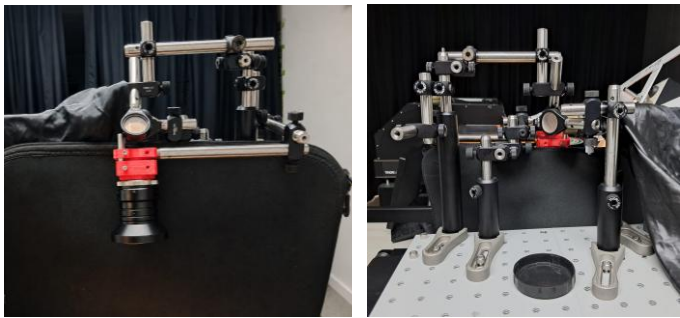
La adquisición de información espectral fue realizada mediante una cámara espectral Daheng Imaging MER3-138-136G3M-P-SWIR con sensor InGaAs, instalada previamente sobre la banda transportadora del laboratorio HDSP. El sistema de adquisición se encontraba calibrado y configurado antes del inicio del proyecto, por lo que no se realizaron ajustes mecánicos ni modificaciones sobre la óptica, lentes o parámetros internos de la cámara durante el desarrollo experimental.

Figura A.6. Cámara espectral Daheng Imaging MER3-138-136G3M-P-SWIR con sensor InGaAs empleada durante la adquisición de datos.



La cámara fue montada a una altura aproximada de 30 cm respecto a la superficie de la banda transportadora, permitiendo capturar la información espectral de las muestras mientras estas se desplazaban por la línea de adquisición. El software Galaxy Viewer fue empleado únicamente para verificar el correcto funcionamiento y la detección de la cámara durante las sesiones experimentales.

Figura A.7. Sistema de adquisición espectral instalado sobre la banda transportadora del laboratorio HDSP.



Los cubos espectrales obtenidos durante las sesiones experimentales fueron almacenados inicialmente en formato .npy como datos crudos, preservando la información espectral completa capturada por el sensor. Estos cubos constituyeron la entrada para las etapas posteriores de segmentación, selección de bandas y construcción de los conjuntos de datos empleados durante el entrenamiento de los modelos de inteligencia artificial.

Tabla A.2 Características generales del sistema de adquisición espectral.

Parámetro	Valor
Cámara	Daheng Imaging MER3-138-136G3M-P-SWIR
Sensor	InGaAs
Distancia aproximada a la banda	30 cm
Número de mandarinas por captura	5
Formato de almacenamiento	.npy
Software de visualización	Galaxy Viewer

A.2.2 Condiciones de iluminación

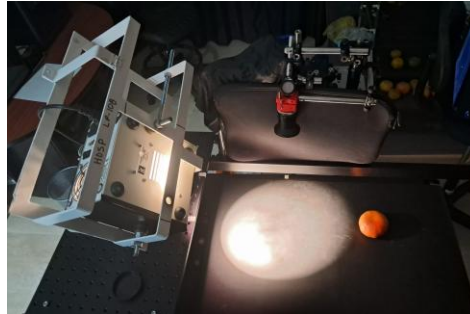
Con el fin de garantizar condiciones de adquisición reproducibles y minimizar la influencia de fuentes externas de radiación, las capturas espectrales fueron realizadas en un cuarto oscuro, empleando exclusivamente una fuente de iluminación halógena Illumination Technologies 3900E, instalada de forma fija sobre el sistema de adquisición.

Figura A.8. Fuente de iluminación halógena Illumination Technologies 3900E empleada durante la adquisición de imágenes espectrales.



La disposición geométrica entre la cámara, la fuente de iluminación y la banda transportadora permaneció constante durante todo el proceso experimental, permitiendo mantener condiciones homogéneas de captura entre las diferentes sesiones de adquisición. La iluminación proporcionada por el sistema halógeno constituyó la única fuente de radiación incidente sobre las muestras, reduciendo la influencia de variaciones ambientales y favoreciendo la obtención de cubos espectrales con características consistentes.

Figura A.9. Configuración del sistema de adquisición espectral utilizado en el laboratorio HDSP, compuesto por cámara SWIR, fuente de iluminación y banda transportadora.



Debido a que el sistema de adquisición ya se encontraba previamente instalado y configurado en el laboratorio HDSP, no fue necesario realizar ajustes mecánicos sobre la posición de la fuente de iluminación ni sobre la geometría del montaje experimental.

Tabla A.3 Condiciones de iluminación empleadas durante la adquisición de imágenes espectrales.

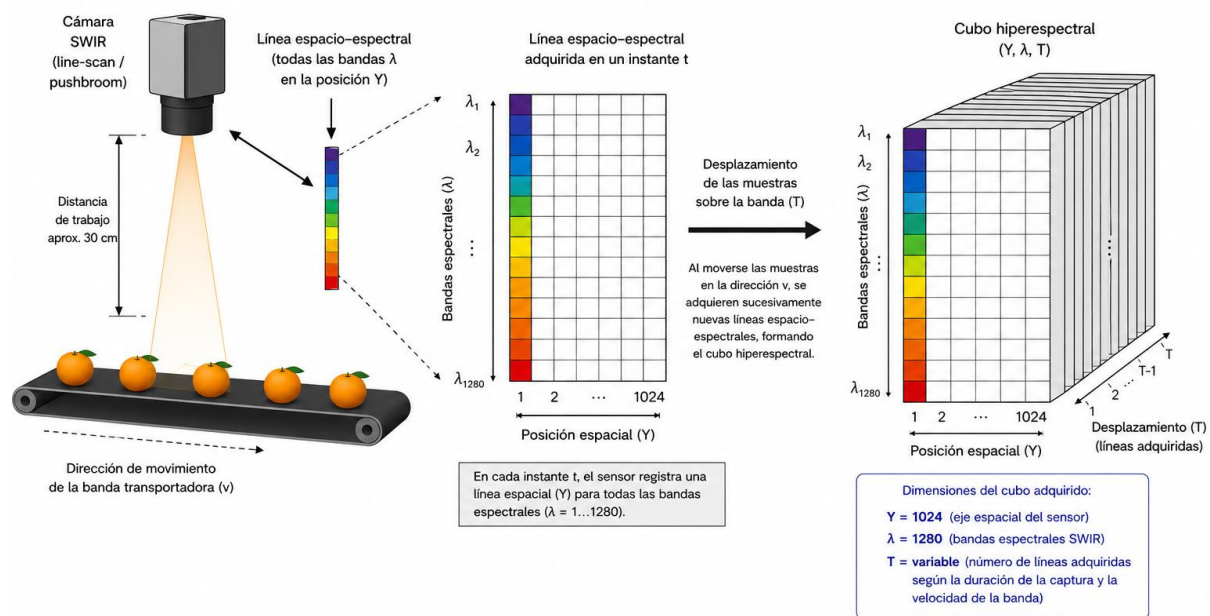
Parámetro	Descripción
Fuente de iluminación	Illumination Technologies 3900E
Tipo de iluminación	Halógena
Entorno de captura	Cuarto oscuro
Posición de la fuente	Fija
Relación con la cámara	Configuración constante

A.2.3 Protocolo de captura

La adquisición de los cubos espectrales se realizó mediante scripts desarrollados en Python utilizando la librería gxipy, encargada de establecer la comunicación con la cámara SWIR y controlar el proceso de captura. Debido a que el sistema de adquisición opera bajo una arquitectura

de barrido lineal (pushbroom), la formación de cada cubo espectral se produce a partir del desplazamiento de las muestras sobre la banda transportadora, registrando sucesivamente líneas espectrales de la escena. Como resultado, la información adquirida se organiza en una estructura tridimensional de dimensiones (Y, λ, T) , donde Y corresponde a la dimensión espacial asociada a la línea capturada por el sensor, λ representa las diferentes bandas espectrales y T corresponde a la dimensión temporal asociada al desplazamiento de las muestras sobre la banda transportadora.

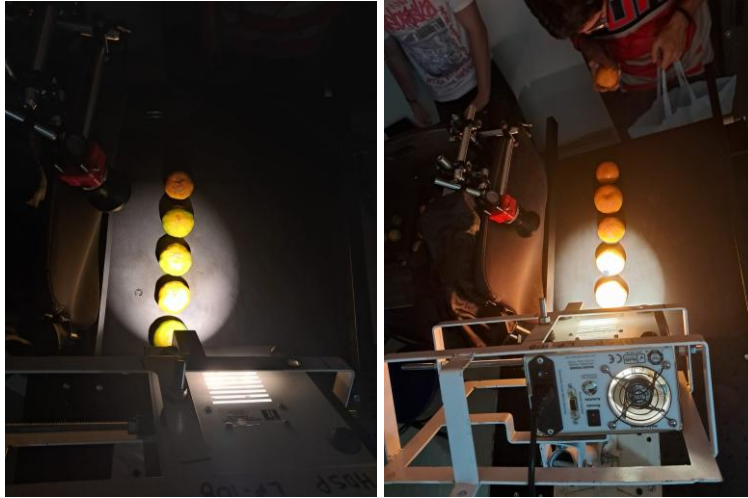
Figura A.10. Principio de adquisición hiperspectral mediante un sistema pushbroom (esquema conceptual).



Durante las sesiones experimentales, las mandarinas se desplazaron continuamente sobre la banda transportadora, manteniendo una velocidad de operación constante de 120 [rpm]. En cada adquisición se ubicaron aproximadamente cinco frutos dentro del campo de visión de la cámara, permitiendo registrar múltiples muestras en un mismo cubo espectral. Asimismo, se utilizó el

fondo negro de la banda transportadora con el propósito de aumentar el contraste entre los frutos y el entorno.

Figura A.11. *Captura de muestras durante el proceso de adquisición espectral.*



El procedimiento de captura consistió en iniciar la adquisición continua de imágenes y detenerla manualmente una vez las muestras habían atravesado completamente la región de observación de la cámara. Para ello, se configuró un tiempo de exposición de 4000 [μs], registrando secuencialmente la información espectral generada durante el desplazamiento de los frutos.

Código A.2 *Fragmento del script desarrollado para la adquisición de cubos espectrales.*

```
1 capture_until_key(  
2     output_dir="cubos_prueba",  
3     exposure_time_us=4000,  
4     camera_index=1,  
5     stop_key="q",  
6 )
```

Finalmente, los cubos espectrales obtenidos fueron almacenados en formato .npy, preservando la estructura tridimensional de los datos espectrales y permitiendo su utilización en las etapas posteriores de segmentación, selección de bandas y construcción de los conjuntos de datos empleados por los modelos de inteligencia artificial.

Figura A.14. Ejemplo de una escena obtenida a partir de un cubo espectral adquirido

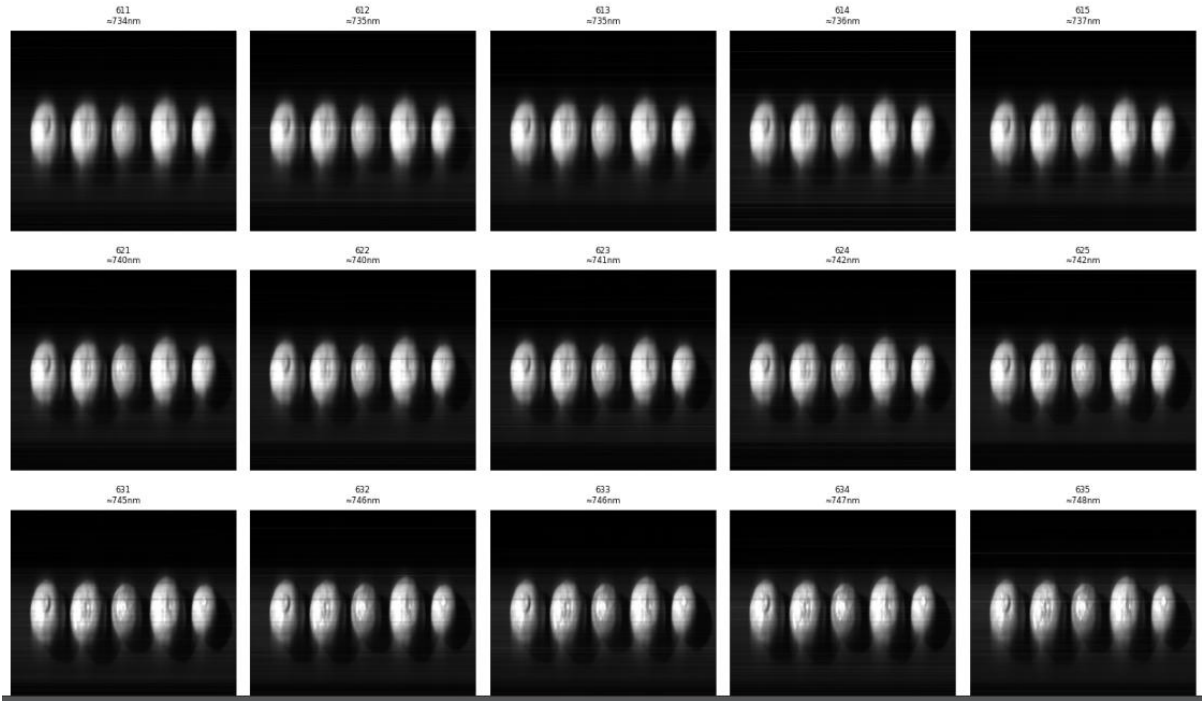


Tabla A.4. Parámetros de adquisición empleados durante la captura de cubos espectrales.

Parámetro	Valor
Tipo de adquisición	Pushbroom
Número aproximado de frutos por captura	5
Velocidad de la banda	120 rpm
Tiempo de exposición	4000 μ s
Formato de almacenamiento	.npy
Entorno de captura	Cuarto oscuro

A.3 Organización y almacenamiento de los datos

Con el fin de facilitar las etapas posteriores de procesamiento, entrenamiento e inferencia, las imágenes RGB y los cubos espectrales adquiridos fueron organizados y almacenados en diferentes estructuras de directorios. Esta organización permitió mantener la trazabilidad de las muestras y simplificar la construcción de los conjuntos de datos empleados durante el desarrollo del sistema propuesto.

A.3.1 Estructura del dataset RGB

Las imágenes RGB obtenidas a partir del dataset Fruits-360 y de las sesiones de captura realizadas durante las salidas de campo fueron almacenadas en formato JPG y organizadas en una estructura de directorios compuesta por dos categorías: “Buenas” y “Malas”. Esta organización permitió agrupar las muestras de acuerdo con la clasificación establecida durante el proceso de inspección visual.

Posteriormente, el conjunto de datos completo fue almacenado dentro de una carpeta principal denominada "mandarinas", conservando la estructura de clases utilizada durante el proceso de entrenamiento. La resolución original de las imágenes se mantuvo durante esta etapa de almacenamiento, mientras que las operaciones de redimensionamiento y normalización fueron realizadas posteriormente durante el preprocesamiento de las muestras.

Finalmente, el dataset fue publicado en la plataforma Kaggle, permitiendo disponer de una estructura organizada y fácilmente accesible para las etapas posteriores de entrenamiento y validación de los modelos implementados.

Figura A.13. Organización del conjunto de datos RGB en la plataforma Kaggle, compuesto por las categorías Buenas y Malas.

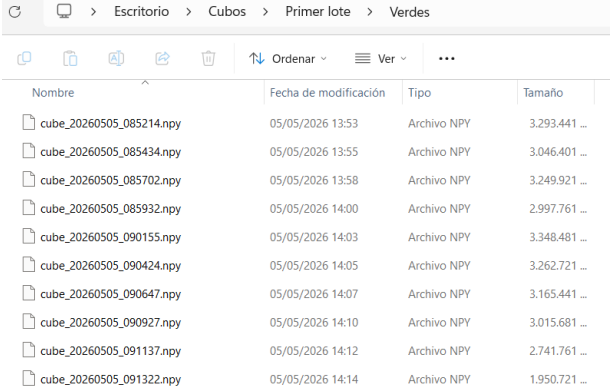


A.3.2 Almacenamiento de cubos espectrales crudos

Los datos espectrales adquiridos mediante la cámara SWIR fueron almacenados inicialmente como cubos crudos en formato .npy, conservando la información espectral completa registrada por el sensor. Los nombres de los archivos fueron generados automáticamente a partir de la fecha y hora de adquisición, permitiendo mantener la trazabilidad de las sesiones experimentales.

Con el fin de facilitar la administración, los cubos fueron organizados dentro de una carpeta principal denominada "cubos_crudos", la cual contenía diferentes subdirectorios asociados a los lotes de adquisición realizados durante el proyecto. Esta organización permitió separar las muestras correspondientes a diferentes campañas experimentales y mantener una clasificación entre mandarinas “aptas” y “no aptas”.

Figura A.14. Ejemplo de archivos correspondientes a cubos espectrales crudos almacenados en formato .npy.

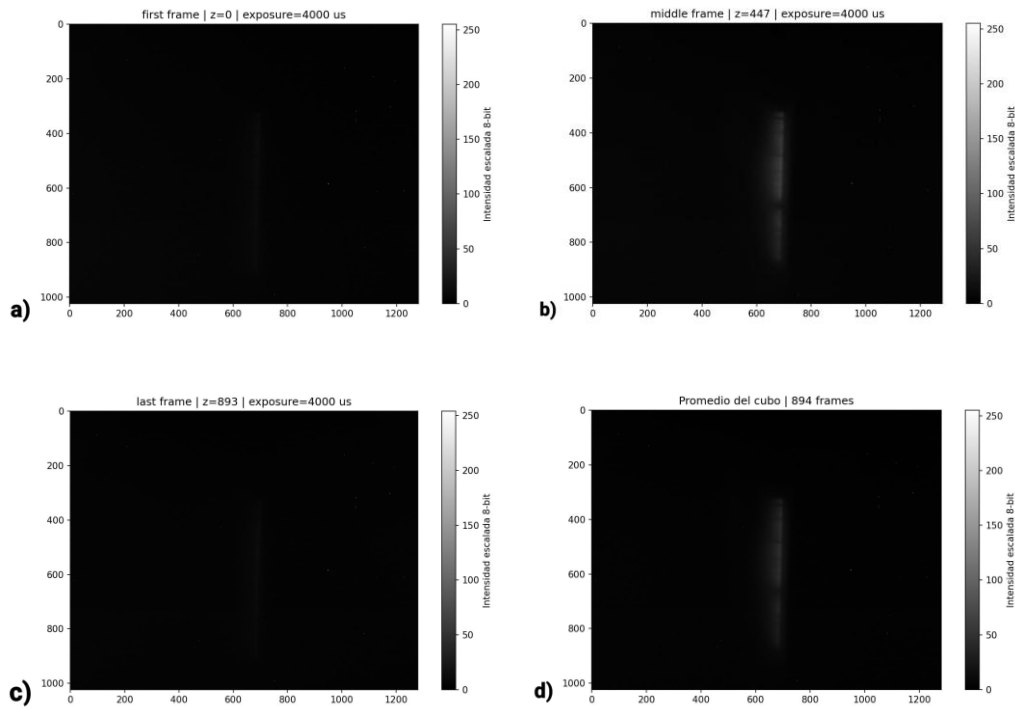


The screenshot shows a Windows File Explorer window with the address bar indicating the path: Escritorio > Cubos > Primer lote > Verdes. The toolbar includes icons for file operations and a menu with 'Ordenar', 'Ver', and a three-dot menu. The file list is as follows:

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
cube_20260505_085214.npy	05/05/2026 13:53	Archivo NPY	3.293.441 ...
cube_20260505_085434.npy	05/05/2026 13:55	Archivo NPY	3.046.401 ...
cube_20260505_085702.npy	05/05/2026 13:58	Archivo NPY	3.249.921 ...
cube_20260505_085932.npy	05/05/2026 14:00	Archivo NPY	2.997.761 ...
cube_20260505_090155.npy	05/05/2026 14:03	Archivo NPY	3.348.481 ...
cube_20260505_090424.npy	05/05/2026 14:05	Archivo NPY	3.262.721 ...
cube_20260505_090647.npy	05/05/2026 14:07	Archivo NPY	3.165.441 ...
cube_20260505_090927.npy	05/05/2026 14:10	Archivo NPY	3.015.681 ...
cube_20260505_091137.npy	05/05/2026 14:12	Archivo NPY	2.741.761 ...
cube_20260505_091322.npy	05/05/2026 14:14	Archivo NPY	1.950.721 ...

Además del archivo principal en formato .npy, durante cada adquisición se almacenaron archivos auxiliares en formato PNG, correspondientes al primer frame capturado (a), un frame intermedio (b), el último frame (c) y la imagen promedio del cubo completo (d) situadas en la figura A.15. Estas imágenes permitieron verificar la calidad de la adquisición y el comportamiento general de la escena registrada.

Figura A.15. *Imágenes auxiliares generadas automáticamente durante cada adquisición espectral, correspondientes al primer frame, frame intermedio, último frame y promedio del cubo completo.*



Asimismo, para cada cubo se generó un archivo de metadatos en formato JSON, en el cual se almacenaron parámetros asociados al proceso de captura, tales como dimensiones del cubo, número de frames, tiempo de exposición y velocidad promedio de adquisición. Esta información auxiliar facilitó la inspección preliminar de las capturas y permitió mantener la trazabilidad de los parámetros empleados durante las diferentes sesiones experimentales.

Tabla A.5. *Archivos generados durante cada adquisición espectral.*

Archivo generado	Descripción
.npy	Cubo espectral crudo
.json	Metadatos asociados a la adquisición
first_frame.png	Primer frame capturado
middle_frame.png	Frame intermedio
last_frame.png	Último frame capturado
mean_frame.png	Promedio del cubo