
Indicadores ópticos y morfológicos para caracterización oscilatoria de especies vegetales mediante teledetección

Indicadores ópticos e morfológicos para caracterização oscilatória
de espécies vegetais mediante teledetecção

Optical and morphological indicators for oscillatory characterization
of plant species using remote sensing

Rafael Ángel Rebolledo Wueffer

Universidad Militar Nueva Granada
Campus Nueva Granada
Cajicá, Zipaquirá, Colombia
rafael.rebolledo@unimilitar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-6631-2910>

Resumen

Esta investigación caracteriza modos de oscilación en especies vegetales ante corrientes turbulentas y evalúa su consistencia según su especie, con la finalidad de proponer indicadores alternativos basados en esta característica. La estrategia diseñada plantea el uso de técnicas de procesamiento óptico-espectral y morfológico en imágenes capturadas en video con el fin de identificar objetos que representen especies vegetales, definir trayectorias y oscilaciones, para finalmente analizar posibles relaciones entre la oscilación y la especie. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios en la identificación de patrones de oscilación consistentes con la especie en algunos de los casos. La complejidad morfológica, y la perspectiva de toma, pueden haber influido en casos no exitosos. Futuras investigaciones desarrollarán estrategias para atender estos factores.

PALABRAS CLAVE: identificación de objetos; oscilaciones; vegetación; dron; vehículo aéreo no tripulado.

Resumo

Esta investigação caracteriza os modos de oscilação em espécies vegetais diante de correntes turbulentas e avalia sua consistência de acordo com a espécie, com o objetivo de propor indicadores alternativos baseados nessa característica. A estratégia projetada propõe o uso de técnicas de processamento óptico-espectral e morfológico em imagens capturadas em vídeo com o objetivo de identificar objetos que representam espécies vegetais, definir trajetórias e oscilações, para finalmente analisar possíveis relações entre a oscilação e a espécie. Os resultados obtidos foram satisfatórios na identificação de padrões de oscilação consistentes com a espécie em alguns dos casos. A complexidade morfológica e a perspectiva da captura podem ter influenciado nos casos malsucedidos. Pesquisas futuras desenvolverão estratégias para atender a esses fatores.

PALAVRAS-CHAVE: identificação de objetos; oscilações; vegetação; drone; veículo aéreo não tripulado.

Abstract

This research aims to characterize plant oscillations caused by turbulent flight in order to evaluate their consistency across different species. The developed strategy applies optical-spectral and morphological processing techniques to images captured from video. This allows for the identification of objects representing plant species, as well as the definition of trajectories and oscillations based on their relative position in each image. Finally, the potential relationship between oscillation and species is analyzed. The results obtained were satisfactory for identifying oscillation patterns in one of the three selected objects. The complexity of the morphological patterns and the shooting perspective (diving angle) may have influenced the unsuccessful cases. Future research will focus on developing more appropriate strategies to address these factors.

KEYWORD: feature extraction; oscillations; drone; unmanned aerial vehicle; vegetation.

1. Introducción

La observación metódica no solo se enfoca en ampliar las fronteras del conocimiento al producir ciencia, por lo general surge como respuesta a problemas de la sociedad. De este modo, la aplicación de la ciencia constituye un cuerpo de conocimientos en el que la investigación y el descubrimiento tienen una orientación directa a la práctica, instrumental o metodológica, proporcionando el desarrollo de nuevas tecnologías (López-Nicolas, 2021).

En el caso de la teledetección como ciencia, mucho se ha avanzado en el desarrollo de técnicas de detección automática de características dentro de las imágenes. Propuestas como la simple detección dinámica de cambios en estudios multitemporales (Rebolledo y Albarrán, 2013), hasta técnicas más sofisticadas como redes neuronales convolucionales (Kaamyakpant, 2020). Sin embargo, estas técnicas se fundamentan en analizar las imágenes como un todo sin orientarse a objetos. La segmentación de imágenes por su lado se orienta al objeto, a lo específico, pues subdivide una imagen en sus partes constituyentes u objetos, con el fin de separar las partes de interés del resto de la imagen (La Serna-Palomino y Román-Concha, 2009). Ambas perspectivas se han desarrollado y evolucionado de manera independiente como opciones de *computer vision*, sus algoritmos están entre los más antiguos testimonios de inteligencia artificial tipo *machine learning* (clasificación supervisada). Ahora bien, estudiar la oscilación en objetos previamente identificados por segmentación, implica ir más allá de lo que estas técnicas ofrecen, desarrollando algoritmos para el seguimiento dinámico de los objetos en imágenes secuenciales derivadas de un video. Este es el reto que se aborda en este estudio.

¿Por qué estudiar la oscilación? Porque es una manera positiva de abordar un problema que surge en las aplicaciones de tecnologías de teledetección en imágenes digitales base dron. Y es que, por lo general, en vuelos a baja altura, la turbulencia en la corriente de sustentación puede afectar la nitidez de los objetos observados (Zhou *et al.*, 2021), produciendo distorsiones o bien en

la respuesta espectral capturada, o bien afectando la calidad de los productos fotogramétricos obtenidos. Ahora bien, conociendo la potencial influencia de este efecto, ¿Sería posible caracterizar y analizar las oscilaciones producidas por efecto de la corriente de sustentación? ¿Se podría evaluar además si dichos modos de oscilación son consistentes con la naturaleza fito-estructural de cada planta, según su especie?

Ciertamente, en términos generales, el uso de drones a baja altura para fotogrametría es limitado, de allí que la oscilación no sea un problema común en este tipo de uso, pero no es el caso del uso de este tipo plataformas en gestión y monitoreo agrícola. En todo caso, dada la extrema sensibilidad de los datos de alta resolución, muchos especialistas ven necesarios los estudios complementarios (integrar distintos sensores orientados a un mismo tema). (Plesoianu *et al.*, 2020).

En este estudio se hicieron videos terrestres de prados silvestres de talle bajo sometidos al vaivén del viento vespertino, donde se pudo observar claramente ese movimiento en algunos objetos representativos de algunas plantas (flores, espigas, vainas, etc.), con la finalidad de caracterizar su trayectoria durante todo el video; verificando posteriormente si la trayectoria descrita fue oscilatoria y evaluando finalmente si dicha oscilación planteaba un patrón consistente según el tipo de planta observada.

Con este trabajo se intenta explorar la extrema sensibilidad de datos de alta resolución obtenidos desde una plataforma dron, y aprovechar en este caso la oscilación de plantas, como indicador alternativo, partiendo de una primera aproximación con videos tomados en tierra.

La caracterización de oscilaciones en plantas no es algo nuevo. Desde hace casi tres siglos es conocida la relación entre el movimiento de las hojas de una planta y los efectos que los cambios ambientales tienen en él (Bours *et al.*, 2012); sin embargo, estos trabajos siempre se han concentrado en la exploración individualizada en condiciones de laboratorio, orientada

principalmente a evaluar los movimientos de las hojas en plantas fuera de su contexto natural (Wagner *et al.*, 2017). No obstante, tales estudios han dejado de lado las contribuciones que este comportamiento puede ofrecer a la teledetección base dron. Esta investigación usó videos tomados en tierra, enfocados en especies vegetales herbáceas, para el estudio de los patrones de oscilación observados.

2. Materiales y métodos

2.1 Datos (videos de prueba)

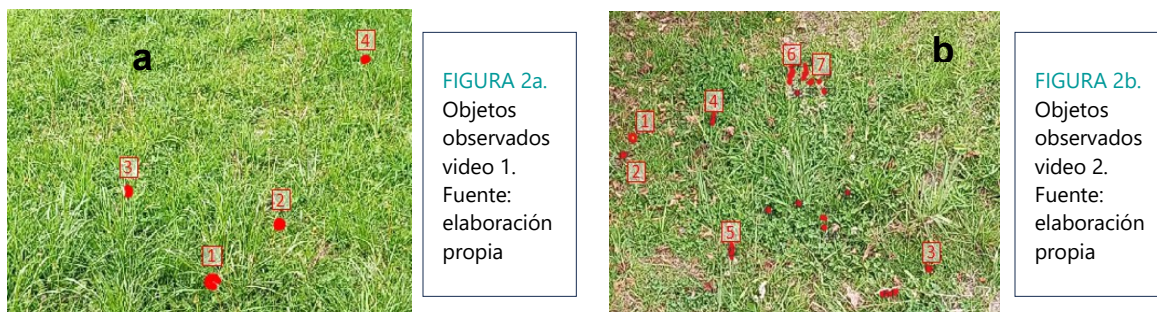
Los datos para esta investigación consisten en dos videos domésticos capturados por celular en sectores de las áreas verdes del campus de la Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá. El video 1 (VID_20231124_134306), tiene una duración de 7 segundos y fue tomado en ángulo picado desde una altura aproximada de 1,60 m, enfocando el pasto ubicado a 2 metros de distancia aproximadamente. Produjo fotogramas de 1.920 x 1.080 píxeles, capturados a una velocidad de 29,6 fotogramas por segundo. La fecha de captura fue el 24 de noviembre de 2023 a la 13:42 horas. El video 2 (VID_20231124_143444), dura 9 segundos y tam-

bién fue tomado en ángulo picado a una altura de 1,60 m, pero a 5 metros de distancia del campo de objetivos. Este video está compuesto por 266 fotogramas capturados a una velocidad de 29,6 fotogramas por segundo, fue tomado en la misma fecha, pero 30 minutos después del primer video. Ambos videos fueron tomados en condiciones domésticas de captura con la cámara de un celular Tecno Prova 4 de 50Mpx y con una calidad de grabación nominal de 1.440 x 30 fps, en formato MP4.

Las escenas en ambos videos muestran con claridad el movimiento oscilatorio que se produce en el pasto silvestre producto de la brisa vespertina. Este movimiento se aprecia con especial claridad en las flores blancas y amarillas de Diente de León (*Taraxacum officinale*), en las espigas de Toboso (*Hilaria mutica*) y Pasto Lanudo (*Hoculus lanatus*), elementos que constituirán los objetos de observación. La siguiente figura muestra ilustraciones de estas especies que constituyen los objetos de observación de este estudio (FIGURA 1). La figura 2 (a y b) presenta la perspectiva de observación y localización de muestras.



FIGURA 1. Especies que constituyen los objetos de observación de este estudio. Fuente: elaboración propia



2.2 Estrategia metodológica

De manera preliminar fue necesario evidenciar la presencia de los tres objetos de observación y sus muestras en todo el video para ambos casos (video 1 y video 2). A partir de allí, el planteamiento hipotético del estudio implicó, en primer lugar, identificar de manera sistemática estos objetos de observación usando para ello técnicas de segmentación basadas en características ópticas y morfométricas de dichos objetos. Posteriormente, se definieron las trayectorias que representan los modos de oscilación de cada objeto en los dos videos; finalmente, tras el análisis respectivo, se evaluó si estas trayectorias representan patrones de oscilación coherentes con las especies observadas.

La metodología desarrollada comprendió tres fases con once procesos. La primera fase es el preprocesamiento que implica desde la segmentación temporal de los dos videos hasta la obtención de los fotogramas secuenciales que hacen parte del estudio. La segunda fase es la segmentación de los objetos de observación, en la cual se identificaron manualmente los objetos desde el primer fotograma y luego, basado en un proceso de *machine learning* se recuperaron automáticamente los objetos de observación desde los fotogramas restantes. La última fase es la caracterización de trayectorias y evaluación de oscilaciones. Esta fase se inició con la vectorización (poligonización) de los objetos de observación en cada fotograma; seguidamente, se definieron los centroides de los polígonos que representan cada objeto; luego, a partir de los centroides, se definieron las trayectorias cuyo desplazamiento relativo fue evaluado en términos de reconocerles o no, como oscilaciones. El último proceso de esta fase consistió en caracterizar las oscilaciones definiendo parámetros como velocidades, desplazamientos y direcciones; en busca de patrones de comportamiento común en las muestras de la misma especie.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados fase 1: segmentación de videos en fotogramas

Para la segmentación del video en fotogramas se implementó una aplicación en línea llamada *Online Convert* que produjo 75 imágenes secuenciales del video 1 y 95 imágenes secuenciales del video 2, cada una con un tamaño de 1,080 x 1,920 píxeles. Para efectos de esta segmentación se tuvo en cuenta la velocidad de captura de la cámara (29 fps). A efectos de facilitar el análisis, se escogió uno de cada siete fotogramas, quedando 11 imágenes del primer video y 14 imágenes para el segundo.

3.2 Resultados fase 2: segmentación e identificación de objetos de observación

Desde el fotograma inicial de cada video se identificaron objetos de observación y sus muestras. A partir de una capa vectorial auxiliar se circunscribieron dichos objetos, para recuperar patrones óptico-cromáticos RGB de los objetos observados, aplicando el comando de estadísticas zonales en los píxeles de cada circunscripción (FIGURA 3).

A partir de las estadísticas zonales se ensayaron expresiones condicionales con el fin de automatizar la identificación de objetos de observación en los fotogramas. Se evaluaron estas expresiones, analizando cuál de ellas resalta mejor las muestras. Como resultado se obtuvieron 25 rásters binarios (0/1), el valor 1 corresponde a los píxeles que cumplen las expresiones del patrón cromático para cada objeto y valor "0" para los píxeles que no cumplen las condiciones. Algunos objetos 1 se identificaron con menor confusión que los objetos 2 y 3. Esto se debe a que, por un lado, el objeto 1 son flores compactas de color amarillo o blanco, mientras que los objetos 2 y 3 son marrones, más parecidos al entorno. En consecuencia, para complementar estos resultados, se implementó además una estrategia de filtraje morfológico para identificar los objetos 2 y 3 a partir de su forma (TABLAS 1 y 2).

					
Estadística muestral banda roja		Estadística muestral banda verde		Estadística muestral banda azul	
Count:195 y 95	Max: 255 y 255	Count:195 y 95	Max: 255 y 255	Count:195 y 95	Max: 158 y 143
Mean: 253.1 y 250.8	Minority:219 y 233	Mean: 250.5 y 249.3	Minority:223 y 224	Mean: 82.9 y 91.03	Minority:39 y 48
Median:255 y 244	Majority:255 y 255	Median:252 y 251	Majority:255 y 255	Median:76 y 91	Majority:58 y 82
Stdev: 4.12 y 5.49	Variety:17 y 18	Stdev: 5.83 y 6.36	Variety:24 y 21	Stdev: 26.68 y 20.6	Variety:83 y 57
Min: 219 y 233	Variance: 17.0 y 30.2	Min: 223 y 224	Variance: 34.1 y 40.5	Min: 39 y 48	Variance: 711.9 y 424.5

FIGURA 3. Estadísticos descriptores por canal RGB. Fuente: elaboración propia

TABLA 1. Valores, rangos y estadísticos de polígonos asociados al objeto 2, Toboso

POLIGONO	AREA (px ²)	PERIMETRO (px)	COMPACIDAD	A/P
4656	139	112	2,66	1,24
12389	396	310	4,36	1,28
MAX / MIN:	396 / 139	310 / 112	4,36 / 2,66	1,28 / 1,24
PROMEDIO:	267,50	211,00	3,51	1,26
DESV EST:	181,73	140,01	1,20	0,03

TABLA 2. Valores, rangos y estadísticos de polígonos en objeto 3, Pasto lanudo

POLIGONO	AREA (px ²)	PERIMETRO (px)	COMPACIDAD	A/P
2570	170	120	2,58	1,42
2260	195	188	3,77	1,37
2075	207	150	2,92	1,38
2891	329	294	4,54	1,12
2623	463	364	4,74	1,27
MAX / MIN:	463 / 170	364 / 120	4,74 / 2,58	1,42 / 1,12
PROMEDIO:	272,80	223,20	3,71	1,31
DESV EST:	122,76	102,57	0,96	0,12

Con base a esta información se hicieron varias pruebas con expresiones condicionales, basadas ahora en morfología, en procura de un patrón morfológico para los objetos 2 y 3; de ellos, los

mejores resultados se obtuvieron con la prueba que toma los extremos máximos y mínimos más o menos 5%. Sin embargo, aun cuando estos resultados identifican muy bien las muestras, no

son efectivos en la diferenciación de otros polígonos que aparecen formando parte de ambos criterios, lo que indica un 71% de falsos positivos en ambos casos (áreas encerradas en verde en la FIGURA 4), los cuales aparecieron formando parte de la identificación automática tanto del objeto 2 como del objeto 3.

Este comportamiento demostró que, a pesar de la identificación efectiva de las muestras de cada objeto por separado, persiste una elevada

probabilidad de confusión entre ambos objetos, en consecuencia, en la práctica, para este caso de estudio, no es factible diferenciar los objetos 2 y 3 basado en indicadores cromáticos ni morfológicos. Debido a esta limitación, a efectos de continuar el estudio, ambos objetos (objeto 2 y objeto 3) se manejaron en los sucesivos como uno solo.

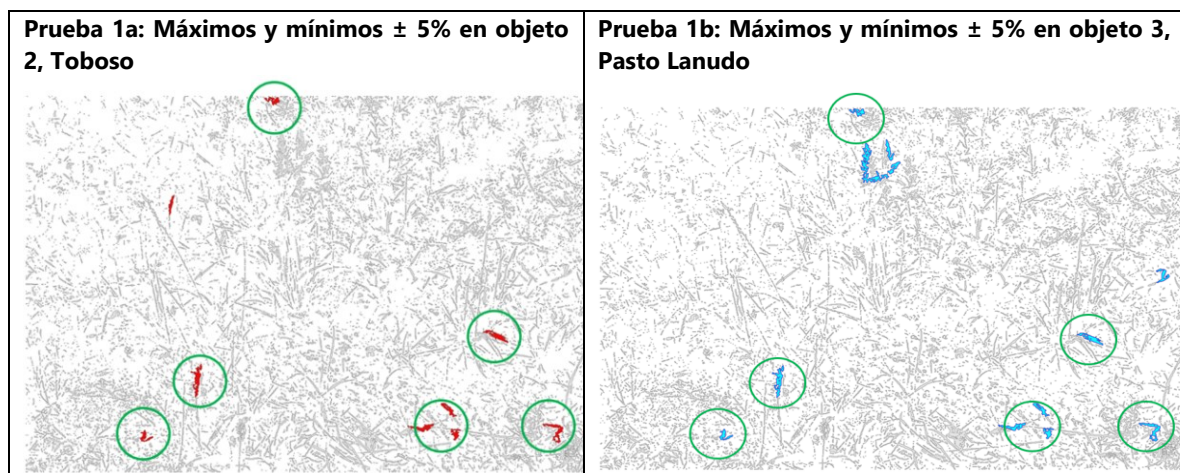


FIGURA 4. Polígonos que satisfacen la prueba 1 en objeto 2. Fuente: elaboración propia

3.3 Resultados fase 3: trayectorias y oscilaciones

3.3.1 Secuencias de posición

Las imágenes presentadas a continuación (FIGURAS 5, 6, 7 y 8), ilustran las secuencias de posición de cada muestra de los objetos representados en una escala color-temporal que va del rojo (tiempo inicial) pasando por el amarillo, verde y azul hasta llegar al violeta (tiempo final). Los resultados en términos de

orientación demuestran un comportamiento similar en las cuatro muestras del objeto 1; inicia con un desplazamiento hacia el 4to cuadrante del plano (de rojos a amarillos); posteriormente, se experimenta un desplazamiento regresivo hacia el 1er cuadrante (amarillos azules) y de allí un desplazamiento más prolongado y ondulante hacia el 3er cuadrante (azules a morados), describiendo un doble bucle.

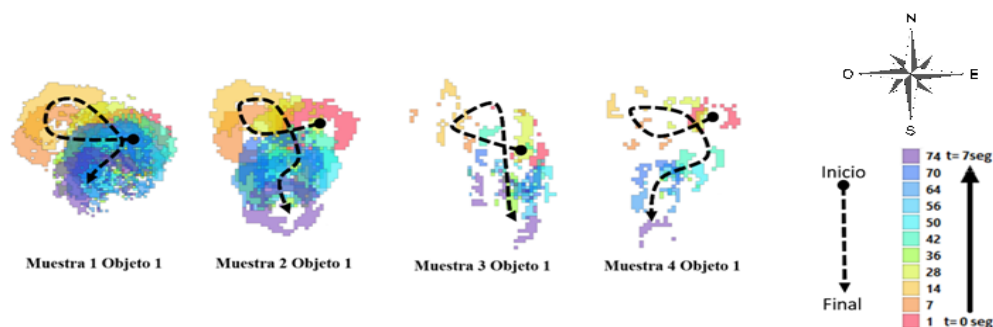


FIGURA 5. Secuencias de posición de muestras 1, 2, 3 y 4 de objeto 1 en video 1. Fuente: elaboración propia

En el caso del objeto 1 del video 2, la interpretación colorimétrica indica que las posiciones sucesivas describen un patrón único para todas las muestras. Se observa un desplazamiento desde el centro-origen hacia el cuarto cuadrante del plano. Posteriormente, se

describe un breve desplazamiento lateral hacia el oeste. A partir de tal posición, hay un desplazamiento más pausado y prolongado al sureste, hacia el segundo cuadrante; regresando finalmente al inicio (centro-origen).

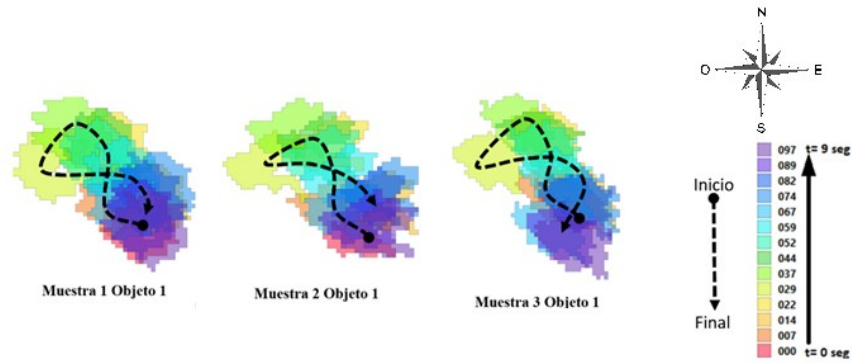


FIGURA 6. Secuencias de posición de muestras 1, 2 y 3 del objeto 1 en video 2. Fuente: elaboración propia

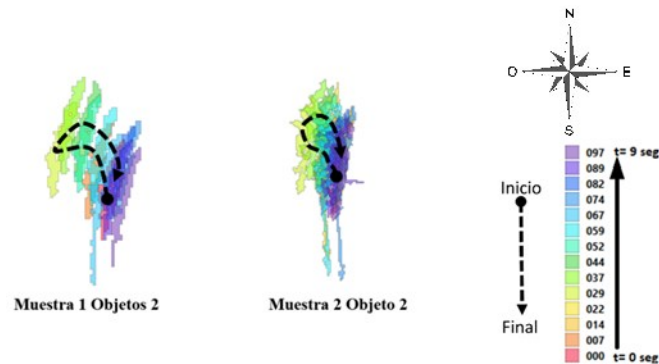


FIGURA 7. Secuencia de posiciones de muestras 1 y 2 de los objetos 2 del video 2. Fuente: elaboración propia

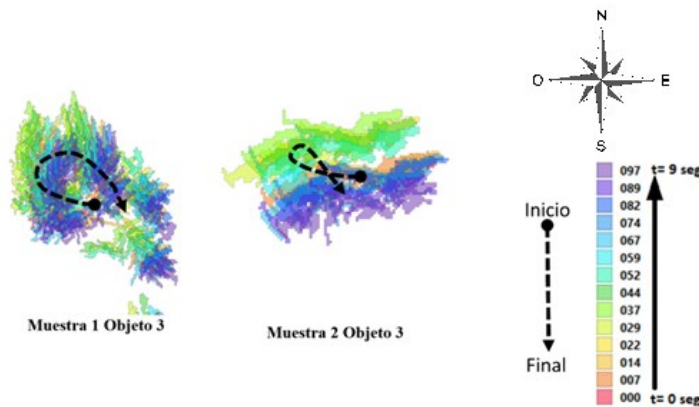


FIGURA 8. Secuencia de posiciones de muestras 1 y 2 del objeto 3 del video 2. Fuente: elaboración propia

Las muestras 1 y 2 de los objetos 2 y 3 del video 2 describen un desplazamiento lineal en dirección noroeste hacia el cuarto cuadrante regresando casi por la misma dirección en sentido opuesto hacia el centro del plano de observación. Los desplazamientos de las muestras 1 y 2 solo difieren en el ángulo de la dirección. En el caso de la tercera muestra de los objetos 2 y 3 del video 2, la interpretación colorimétrica no ofrece precisas, probablemente debido a la complejidad morfológica de la muestra observada en este caso (espigas ramificadas). Sin embargo, la tendencia de un

desplazamiento regresivo desde el centro hacia el cuarto cuadrante de ida y vuelta es evidente.

3.3.2 Trayectorias

De las secuencias de posiciones se definen los centroides y de allí las trayectorias, esto con la finalidad de analizar con mayor precisión el desplazamiento que describe cada objeto en los videos. A continuación, se muestra el resultado gráfico de este proceso para las cuatro muestras del objeto 1, desde el video 1, utilizando la misma escala color-temporal empleada anteriormente para denotar secuencia de posición (FIGURA 9).

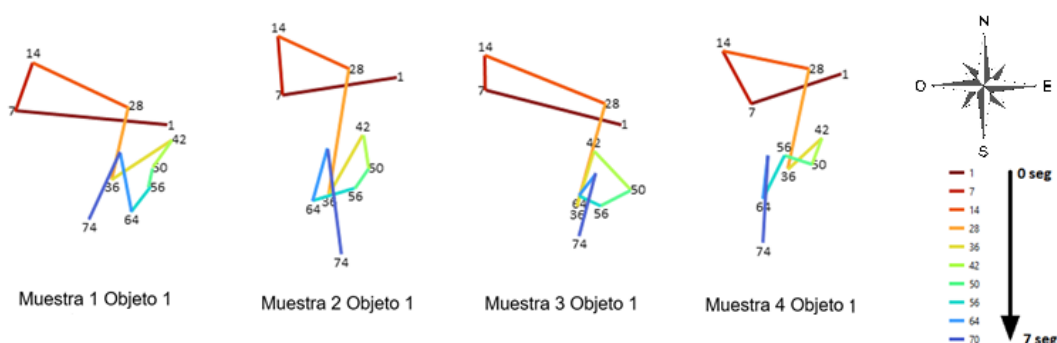


FIGURA 9. Trayectorias de las muestras 1, 2, 3 y 4 del objeto 1 del video 1. Fuente: elaboración propia

De igual forma, se puede hacer una representación gráfica de las trayectorias a partir de los centroides en los objetos identificados en

el video 2. A continuación, se muestra trayectorias de los objetos 1, 2 y 3 del video 2 (FIGURAS 10, 11 y 12).

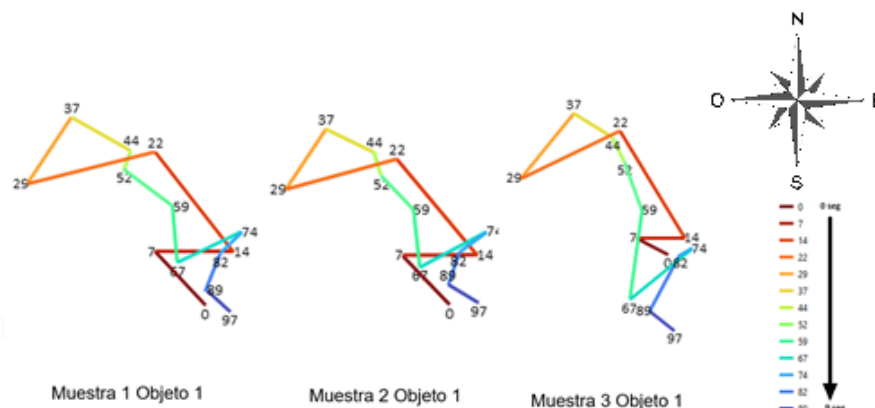


FIGURA 10. Trayectorias de las muestras 1, 2 y 3 del objeto 1 del video 2. Fuente: elaboración propia

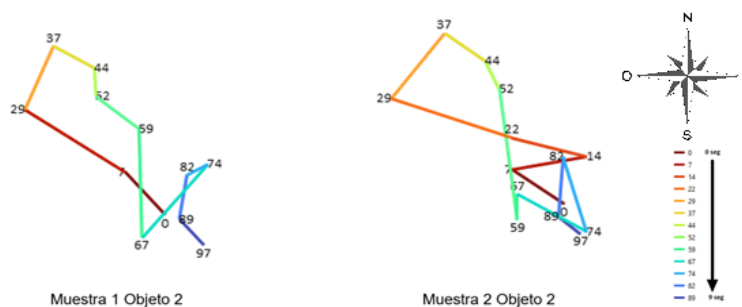


FIGURA 11. Trayectorias de las muestras 1 y 2 del objeto 2 del video 2. Fuente: elaboración propia

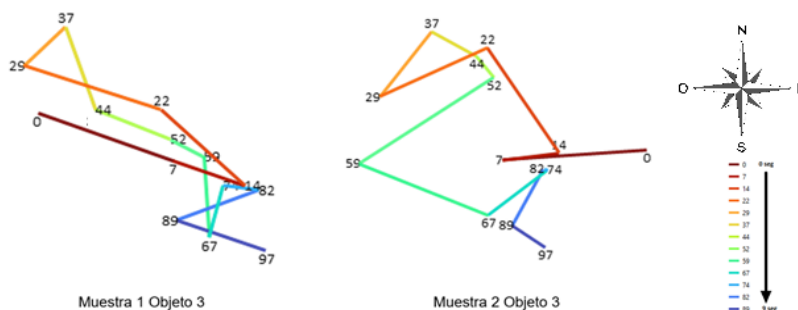


FIGURA 12. Trayectorias de las muestras 1 y 2 del objeto 3 del video 2. Fuente: elaboración propia

En las imágenes previas las trayectorias se definen de manera simplificada como una secuencia de tramos rectos entre las posiciones de los centroides de cada objeto en cada fotograma. De este modo, se estima la magnitud y orientación del desplazamiento parcial (en unidades gráficas) para cada tramo de trayectoria.

3.3.3 Oscilaciones

Se parte del concepto oscilatorio de un sistema armónico simple. En tal sentido, se define la oscilación como el balanceo o fluctuación en la posición de un objeto que supone un movimiento periódico o repetitivo en torno a una posición de equilibrio que se ubica entre los extremos del rango de oscilación (Zamora, 2023). Con base a esta definición, la fluctuación puede entenderse como el cambio de sentido periódico del objeto analizado. En este sentido, si las trayectorias demuestran cambios de dirección que suponen un cambio de sentido y la frecuencia en dicha dirección se mantiene, se tiene una oscilación.

Teniendo en cuenta que solo el objeto 1 mostró coherencia en las trayectorias descritas para todas las muestras de los dos videos, solo se tendrá en cuenta este objeto a efectos de la verificación de un comportamiento oscilatorio en su trayectoria. La TABLA 3 resume el resultado de este análisis para el objeto 1 en el video 1. Según los resultados observados en dicha tabla, para las cuatro muestras del objeto 1, se experimentan al menos dos patrones oscilatorios ortogonales. La dirección y secuencia de estos patrones es la misma para todos los casos, las velocidades experimentadas en estos ciclos difieren en magnitud, aunque son consistentes en términos relativos, pues para el primer ciclo el desplazamiento de ida es más rápido que el de regreso. La diferencia entre velocidades puede deberse a factores como cambios de dirección de viento o al efecto de la perspectiva de toma en picado. La TABLA 4 presenta las oscilaciones identificadas y parametrizadas del objeto 1 en el video 2.

TABLA 3. Parametrización de oscilaciones del Objeto 1 en video 1

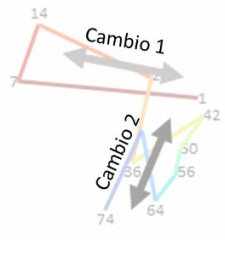
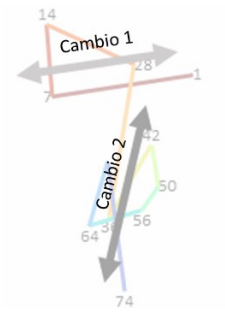
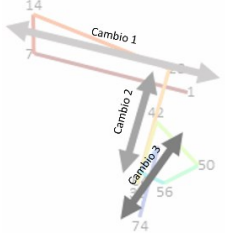
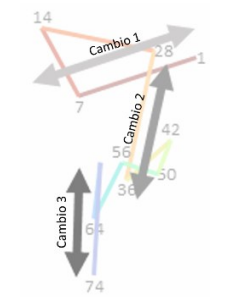
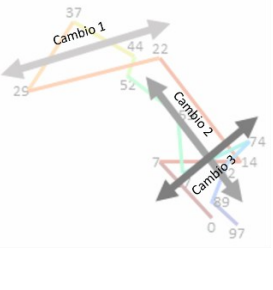
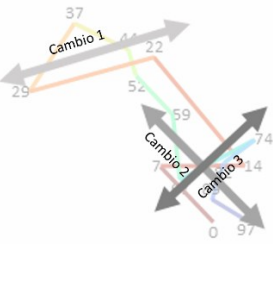
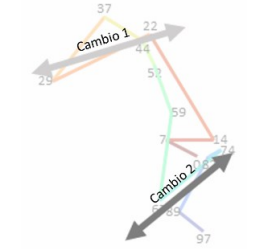
Trayectoria muestra 1	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	1-7	E→W	24,623u	0,568s	43,38u/s	1
		7-14-28	W→E	25,513u	1,986s	12,85u/s	
	Cambio 2	28-36	N→S	12,229u	0,757s	16,16u/s	1
		36-42	S→N	11,776u	0,568s	20,74u/s	
		42-50-56-64	N→S	13,733u	2,081s	6,60u/s	2
		64-70	S→N	9,718u	0,568s	17,12u/s	
		70-74	N→S	11,844u	0,378s	31,302u/s	3
Trayectoria muestra 2	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	1-7	E→W	16,389u	0,568s	28,88u/s	1
		7-14-28	W→E	19,294u	1,986s	9,72u/s	
	Cambio 2	28-36	N→S	18,038u	0,757s	23,86u/s	1
		36-42	S→N	9,671u	0,568s	17,04u/s	
		42-50-56-64	N→S	14,397u	2,081s	6,62u/s	2
		64-70	S→N	7,698u	0,568s	13,56u/s	
		70-74	N→S	14,832u	0,378s	39,20u/s	3
Trayectoria muestra 3	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	1-7	E→W	22,026u	0,568s	38,81u/s	1
		7-14-28	W→E	25,912u	1,986s	13,05u/s	
	Cambio 2	28-36	N→S	16,999u	0,757s	22,46u/s	1
		36-42	S→N	8,8121u	0,568s	15,51u/s	
	Cambio 3	64-70	S→N	4,462u	0,568s	7,86u/s	1
		70-74	N→S	9,728u	0,378s	25,71u/s	
Trayectoria muestra 4	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	1-7	E→W	17,380u	0,568s	30,62u/s	1
		7-14-28	W→E	27,987u	1,986s	14,09u/s	
	Cambio 2	28-36	N→S	19,655u	0,757s	25,97u/s	1
		36-42	S→N	8,431u	0,568s	14,85u/s	
		42-50	N→S	5,058u	2,081s	6,68u/s	2
	Cambio 3	56-64	N→S	8,729u	0,757s	11,53u/s	1
		64-70	S→N	7,940u	0,568s	13,99u/s	
		70-74	N→S	16,150u	0,378s	42,68u/s	2

TABLA 4. Parametrización de oscilaciones del objeto 1 en video 2

Trayectoria muestra 1	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	0-7	SE→NW	9,195u	0,757s	12,146u/s	1
		7-14	NW→SE	9,574u	0,662s	14,462u/s	
		14-22	SE→NW	15,784u	0,757s	20,851u/s	2
	Cambio 2	22-29	E→W	16,225u	0,662s	24,501u/s	1
		29-37-64	W→E	18,546u	1,419s	13,070u/s	
	Cambio 3	67-74	W→E	8,812u	0,568s	15,514u/s	1
		74-82-89	E→W	8,779u	1,419s	6,187u/s	
Trayectoria muestra 2	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	0-7	SE→NW	8,428u	0,757s	11,133u/s	1
		7-14	NW→SE	9,753u	0,662s	14,732u/s	
		14-22	SE→NW	16,504u	0,757s	21,802u/s	2
	Cambio 2	22-29	E→W	14,998u	0,662s	22,655u/s	1
		29-37-64	W→E	16,342u	1,419s	11,517u/s	
	Cambio 3	67-74	W→E	8,812u	0,568s	15,514 u/s	1
		74-82-89	E→W	8,917u	1,419s	6,284 u/s	
Trayectoria muestra 3	Cambio	Tramo (s)	Sentido	Longitud	Tiempo	Velocidad	Ciclos
	Cambio 1	22-29	E→W	15,790u	0,662s	23,852u/s	1
		29-37	W→E	12,379u	0,757s	16,353u/s	
	Cambio 2	67-74	W→E	11,229u	0,568s	19,769u/s	2
		74-82-89	E→W	10,628u	1,419s	7,490u/s	

En el caso de las tres muestras que, respecto al objeto 1, se observaron en el video 2, se puede decir lo siguiente: en dos de los tres casos hay claramente dos modos de oscilación que, aunque no tienen la misma dirección que las muestras del video 1, comparten con ella la ortogonalidad, entre patrones de oscilación. Las velocidades son más parecidas entre la muestra 1 y la muestra 2. El último patrón de oscilación (cambio 3) es prácticamente el mismo para las tres muestras. Estas diferencias respecto a la observación de las oscilaciones del mismo objeto en el video 1

pueden deberse a efecto de la perspectiva en picado, dado que las muestras de este objeto no están en el mismo plano en ambos videos.

4. Conclusiones y recomendaciones

El objeto de estudio de esta investigación tenía por finalidad evaluar la posibilidad de que la oscilación en especies vegetales sea característica y diferenciadora. Dicha tarea tuvo en principio un reto tecnológico que consistió en estructurar un proceso sistemático y semiautomatizado que permitiera identificar los objetos en cada sección

del video y luego a partir de esta identificación, definir las trayectorias. Los resultados en este sentido fueron satisfactorios, el proceso desarrollado resultó efectivo para efectos de la identificación autónoma de los objetos y sus trayectorias.

En cuanto a la caracterización de las trayectorias como patrones únicos de oscilación para cada especie, los resultados cumplieron parcialmente con lo esperado. En el caso de las trayectorias de los objetos de geometría simple se presentó un patrón oscilatorio consistente. En siete muestras distintas tomadas en dos videos con tomas en distintas perspectivas, los ciclos oscilatorios guardaban similitud, lo que supone una robusta base de experimentación. Sin embargo, en el caso de las muestras de geometría compleja (espigas y espigas

ramificadas), no se estableció una relación consistente.

En consecuencia, se reafirma la hipótesis de que la oscilación es característica para cada especie, siempre que sea digitalmente diferenciable. Si se tiene en cuenta que, en este estudio no se midió ni se tuvo control en la incidencia del viento en dichas oscilaciones, se esperarían mejores resultados bajo condiciones de viento medidas y controladas; y desde un ángulo de observación cenital para disminuir la influencia por efectos de la perspectiva en picado.

En este sentido, se recomienda continuar este tipo de estudios con imágenes cenitales adquiridas desde drones, para evitar efectos de perspectiva, y con mediciones de la velocidad y trayectoria del viento.

5. Agradecimientos

Este artículo ha sido elaborado en el marco de los lineamientos de productividad académica derivada de la investigación, como investigación preliminar del proyecto titulado: "Integración de datos convencionales y no convencionales de imágenes termográficas y ópticas obtenidas por UAV s para la caracterización de la morfología y conectividad Ecosistémica" (INV ING 3979), auspiciado por la Universidad Militar Nueva Granada, de Colombia.

6. Referencias citadas

- BOURS, R.; MANICKAM, M.; HARRO B. & A. VAN DER KROL. 2012. "OSCILLATOR: A system for analysis of diurnal leaf growth using infrared photography combined with wavelet transformation". *Plant Methods*, 8(29): 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1746-4811-8-29>
- KAAMYAKPANT. 2020. *Building a Crowd Counting model using Deep Learning*. Medium Nov 15.
- LA SERNA-PALOMINO, N. y U. ROMÁN-CONCHA. 2009. "Técnicas de segmentación en procesamiento digital de imágenes". *Revista de Investigación de Sistemas e Informática*, 6(2): 9-16.
- LÓPEZ NICOLAS, J. 2021. *La ciencia básica, la ciencia aplicada, y la transferencia de conocimientos*. Código F. España.
- PLESOIANU, A.; MIHAI-SORIN, S.; IONUT, S.; PĂTRU-STUPARIU, I. & L. DRĂGUT. 2020. "Individual Tree-Crown Detection and Species Classification in very high-resolution remote sensing imagery using a deep learning ensemble model". *Remote Sensing Journal MDPI*, 12(15). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs12152426>

- REBOLLEDO, R. y A. ALBARRÁN. 2013. "Cambios de la cobertura boscosa en Venezuela y su relación con cambios en el clima". *Acta Biológica Venezuelica*, 33(1-2): 125-144.
- WAGNER, L.; SCHMAL, C.; STAIGER, D. & D. SELAHATTIN. 2017. "The plant leaf movement analyzer (PALMA): A simple tool for the analysis of periodic cotyledon and leaf movement in *Arabidopsis thaliana*". *Plant Methods*, 13(2): 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13007-016-0153-3>
- ZAMORA RAMÍREZ, A. 2023. *Definición de Oscilación*. En: Blog Significado.com
- ZHOU, H.; LIYONG, F.; RAM P. S.; YUANCAI, L. & G. JINPING. 2021. "A hybrid approach of combining random forest with texture analysis and VDVI for desert vegetation mapping based on UAV RGB Data". *Remote Sensing Journal MDPI*, 13(10): 1891. Disponible en: : <https://doi.org/10.3390/rs13101891>

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Cajicá, Cundinamarca, Colombia; diciembre, 2024