

**INVESTIGACIÓN
EN MARCHA. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD
INVESTIGADORA.
TESIS DOCTORAL
CURSO 2025-26**

**DOCTORADO EN
MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



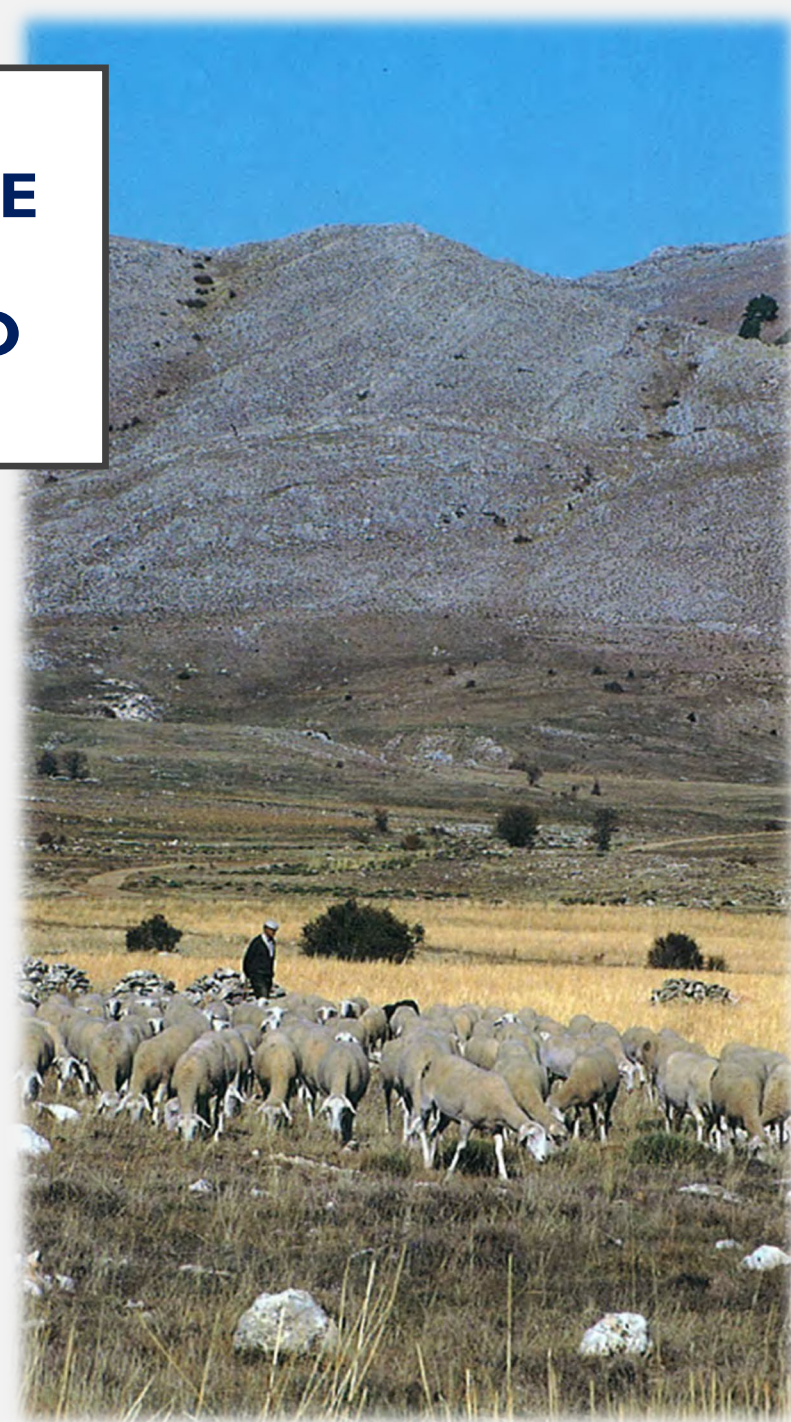
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN
MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD**



PAPEL DE LAS INTERACCIONES TRÓFICAS DE LOS SISTEMAS AGROGANADEROS EXTENSIVOS EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

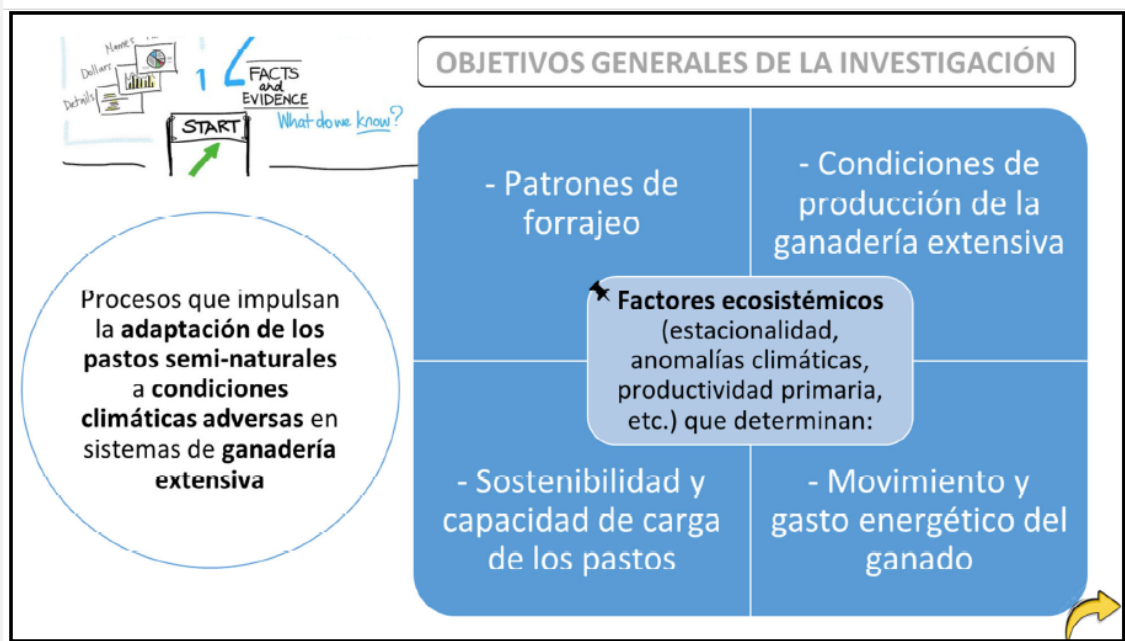
DOCTORANDO: MARÍA DOLORES VIDAL JIMÉNEZ

- Director: Manuel Jordán Vidal
- Codirector: Jomar Magalhaes Barbosa
- Tutora o tutor: María Fuensanta García Orenes



Resumen de **objetivos iniciales** establecidos durante el **curso 24-25**

Profundizar en el conocimiento ecológico de los procesos que impulsan la adaptación de las interacciones Clima+Herbivoros+Plantas+Suelo a condiciones climáticas adversas en sistemas Agroganaderos extensivos



¿que necesitamos entender sobre el funcionamiento de estos ecosistemas para poder ayudar a la sostenibilidad y resiliencia de los mismos?

1-QUE FACTORES DETERMINAN ECOSISTÉMICOS

- ESTACIONALIDAD
- ANOMALIAS CLIMÁTICAS
- PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

2-LAS RELACIONES ECOLÓGICAS ENTRE:

- SOSTENIBILIDAD Y CAPACIDAD DE CARGA DE LOS PASTOS
- PATRONES DE FORRAJE
- MOVIMIENTO Y GASTO ENERGÉTICO DEL GANADO

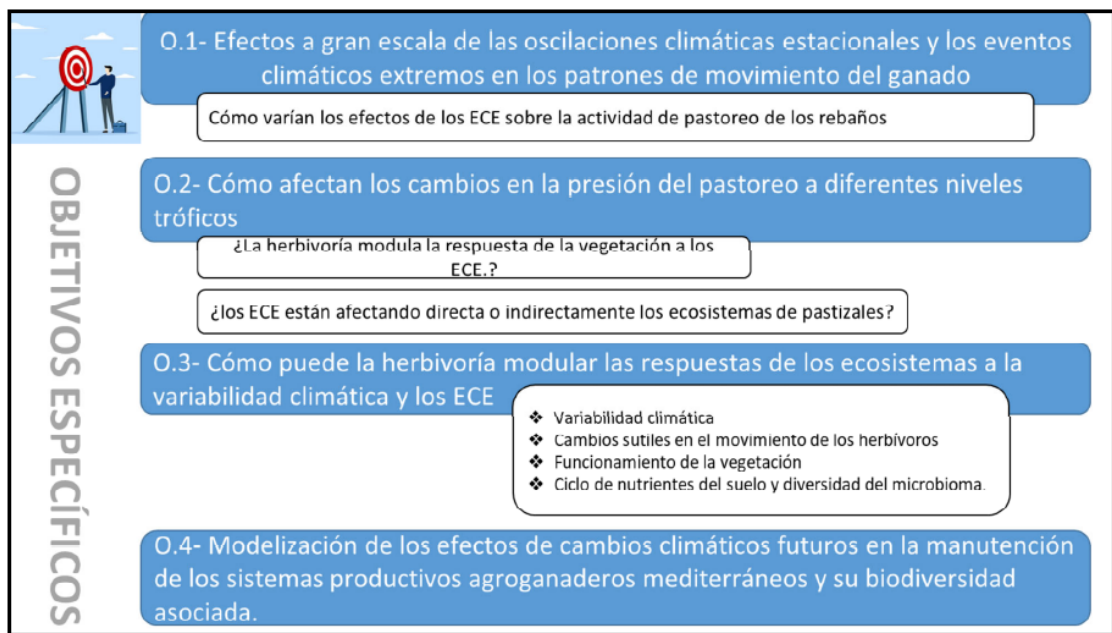
¿En que puntos se debe profundizar en la investigación?

PROCESOS QUE IMPULSAN LA ADAPTACIÓN DE LOS PASTOS SEMI-NATURALES A CONDICIONES CLIMÁTICAS ADVERSAS EN SISTEMAS DE GANADERIA EXTENSIVA

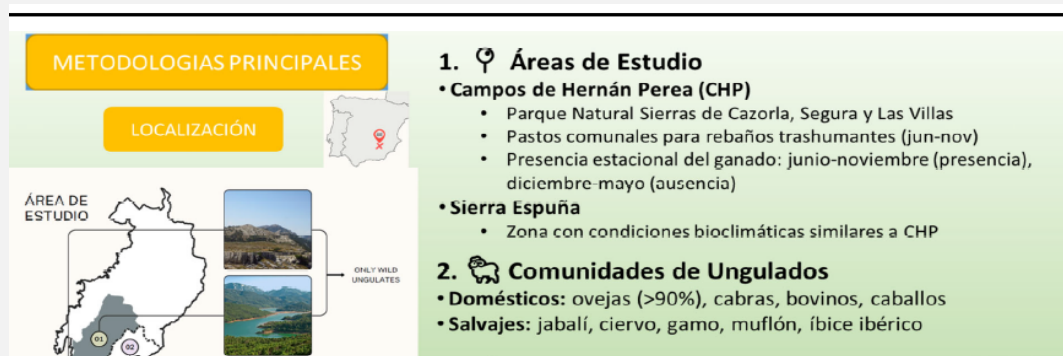
PARA

entender que factores ecosistémicos determinan:

- PATRONES FORRAJE
- MOVIMIENTO Y GASTO ENERGÉTICO DEL GANADO
- SOSTENIBILIDAD Y CAPACIDAD DE CARGA DE LOS PASTOS
- CONDICIONES DE PRODUCCIÓN DE LA GANADERIA EXTENSIVA



MOVIMIENTO DEL GANADO: Datos de movimiento se obtienen de los collares GPS colocados en diferentes rebaños.
RECOPILAN: Posición Geográfica de los animales con alta resolución temporal (15x15min) y Espacial (69 rebaños)



CURSO 25-26:

CENTRADO EN EL 1º OBJETIVO TRATAREMOS DE DAR RESPUESTA SOBRE LA VARIABLES ECOLÓGICAS QUE ESTAN AFECTANDO A LOS PATRONES DE MOVIMIENTO DEL GANADO

- Objetivo 1. Evaluar los efectos a gran escala de las oscilaciones climáticas estacionales y los eventos climáticos extremos en los patrones de movimiento a escala fina de ovejas, cabras, caballos y vacas, evaluando como varían los efectos de los ECE sobre la actividad de pastoreo de rebaños distribuidos en una amplia variedad de pastizales mediterráneos.

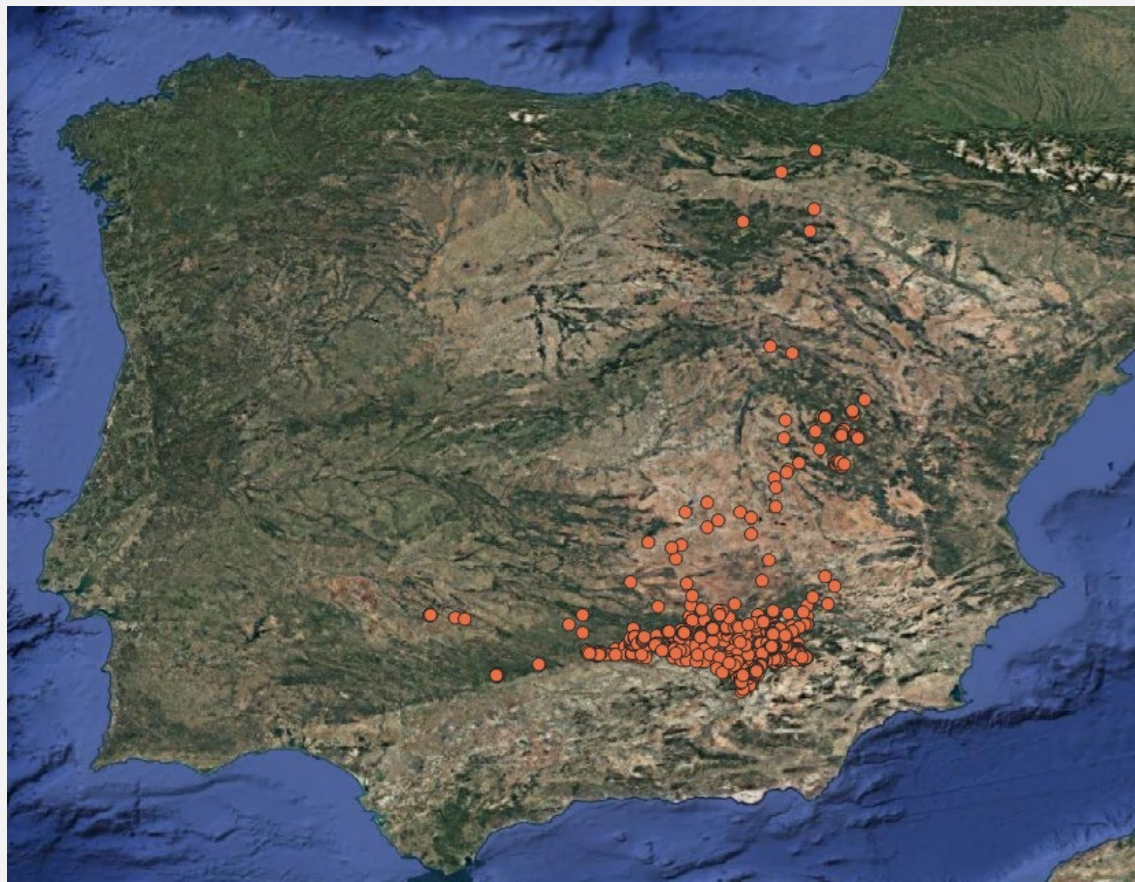
Elaboración de modelos y mapas de que identifiquen los procesos ecológicos relacionados con las interacciones herbívoros vegetación suelo y su adaptación a los ECE

Estudio de diferentes casos con el fin de entender las interacciones entre estos ECE, el movimiento de los herbívoros y sus efectos sobre la producción primaria de los pastos y el estado de los suelos, utilizando como vinculo los datos proporcionados por los collares GPS colocados en el ganado.

OBJETO DE ANÁLISIS:

Archivo csv. con datos GPS de rebaños que realizan trashumancia entre Sierra de Cazorla (Residencia estival)-Sierra Morena (Residencia Invernal)

- **69 rebaños**
- **2.402.735 localizaciones GPS**
- **Datos desde 2018 a 2024**



ÁREAS DE ESTUDIO PRINCIPALES:

SIERRA DE CAZORLA: Periodo estival

SIERRA MORENA: Periodo invernal

*Existen rebaños objeto de estudio realizan trashumancia desde el Sistema Ibérico.

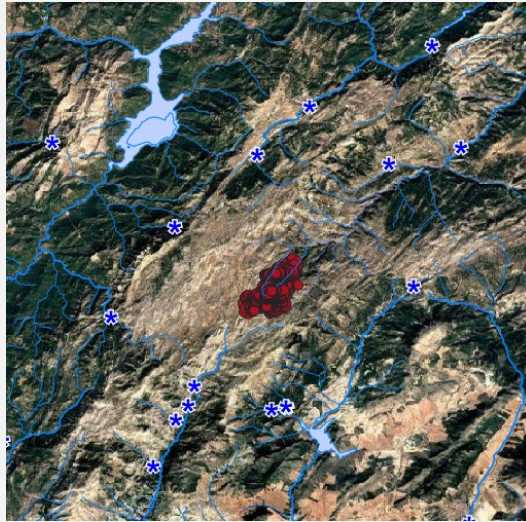
OBJETIVO DEL ANÁLISIS DE LOS DATOS GPS OBTENIDOS:

METODOLOGÍA PREVIA: Para el desarrollo del Motor se realiza una fase de ensayo del método sobre rebaños trashumantes (18033 y 20045) que realizan desplazamientos estacionales entre Sierra Morena (invernada)

Puntos GPS Rebaño 18033 AT21-24



Sierra Morena



Sierra de
Cazorla

Desarrollar un motor reproducible para reconstruir automáticamente eventos de rebaños trashumante trashumantes utilizando exclusivamente datos GPS GPS.

Resultados mínimos que debe obtener:

- detectar residencias
- detectar migraciones
- reconstruir Años Trashumantes de cada rebaño*
- asignar puntos GPS
- automatizar informes

*SE DEFINE EL TERMINO **AÑO TRASHUMANTE**, LOS ANÁLISIS ECOLÓGICOS DEBEN REALIZARSE SOBRE CICLOS BIOLÓGICOS COMPLETOS Y NO SOBRE AÑOS NATURALES PERMITIENDO ANALIZAR CICLOS BIOLÓGICAMENTE COHERENTES DESDE UNA BAJADA OTOÑAL HASTA LA SIGUIENTE

Un Año Trashumante (AT) se define como:

El intervalo temporal comprendido entre dos migraciones otoñales consecutivas hacia la residencia de invierno.

Este intervalo representa un ciclo biológico completo del rebaño e incluye la residencia invernal, la migración primaveral, la residencia estival y la migración otoñal siguiente.

BLOQUE 1. CONSTRUCCIÓN DE AÑOS TRASHUMANTES

- Clasificación espacial de todas las localizaciones GPS.
 - Delimitación de Sierra Morena.
 - Delimitación de Sierra de Cazorla.
- Identificación de zonas de transición trashumante.
- Cálculo de centroides diarios.
 - Detección de eventos de subida y bajada.
- Construcción de años trashumantes completos (AT2021–AT2024).

Se asignó cada **localización GPS** a una de tres **categorías espaciales**:

- | | |
|---------------------|--|
| • Sierra Morena | Tamaño muestral: |
| • Sierra de Cazorla | • Rebaño 18033: 5.228–6.359 puntos por zona y año. 138–176 días. |
| • Trashumancia | • Rebaño 20045: 4.524–7.706 puntos por zona y año. 118–193 días. |

*La fase de trashumancia no será incluida en los análisis de utilización del espacio ni de movimiento.

Se calcularon **centroides diarios y distancias entre centroides consecutivos** para identificar eventos de subida y bajada trashumante.

A partir de estas transiciones se definieron cuatro años trashumantes completos (AT2021–AT2024) para cada rebaño, considerados como unidades ecológicas de análisis.

Los análisis ecológicos posteriores se centrarán exclusivamente en las áreas de residencia estacional de Sierra Morena y Sierra de Cazorla, donde los animales desarrollan patrones espaciales estables y comparables



BLOQUE 2 UTILIZACIÓN ESPACIAL

Kernel Density Estimation (KDE).

Parámetros finales:

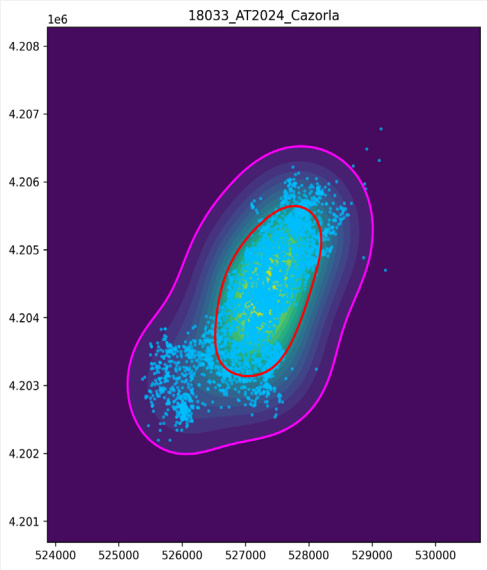
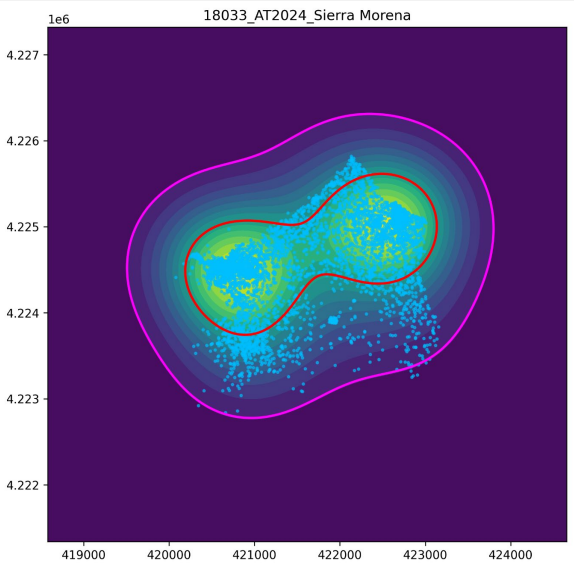
- bandwidth = 500 m
- buffer = 1500 m
- grid = 300 × 300

Variables obtenidas

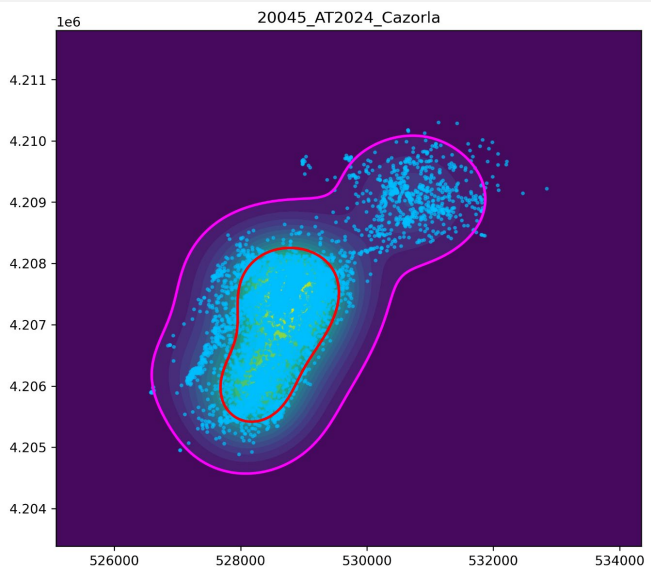
- KDE95
- KDE50
- Índice de concentración espacial (IC)

RESULTADOS CALCULO KDE95 Y KDE 50

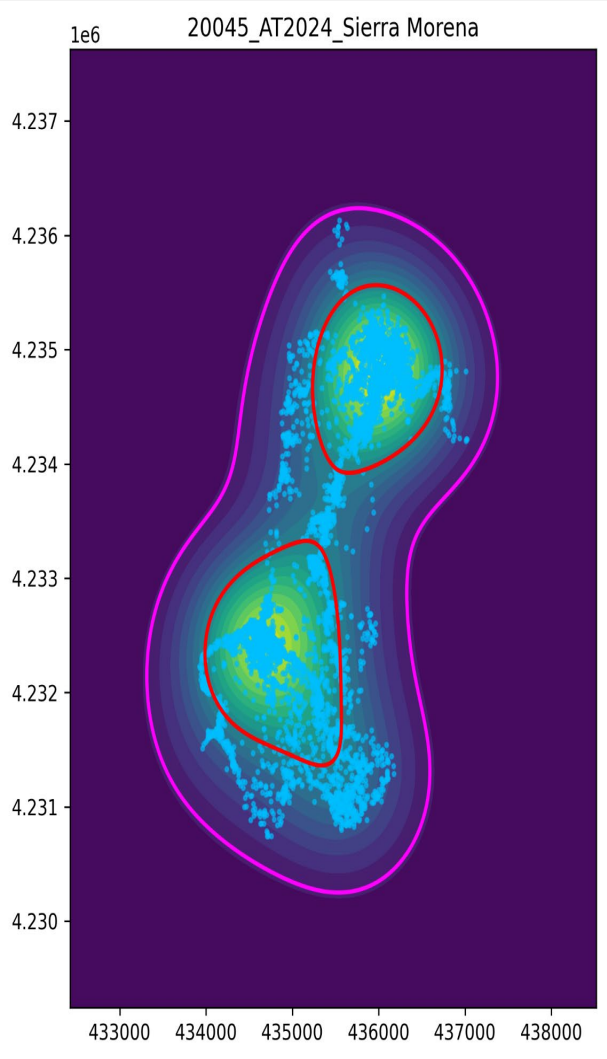
Ejemplos:



Rebaño 18033 ÁREAS DE RESIDENCIA CAZORLA y SIERRA MORENA AT2024

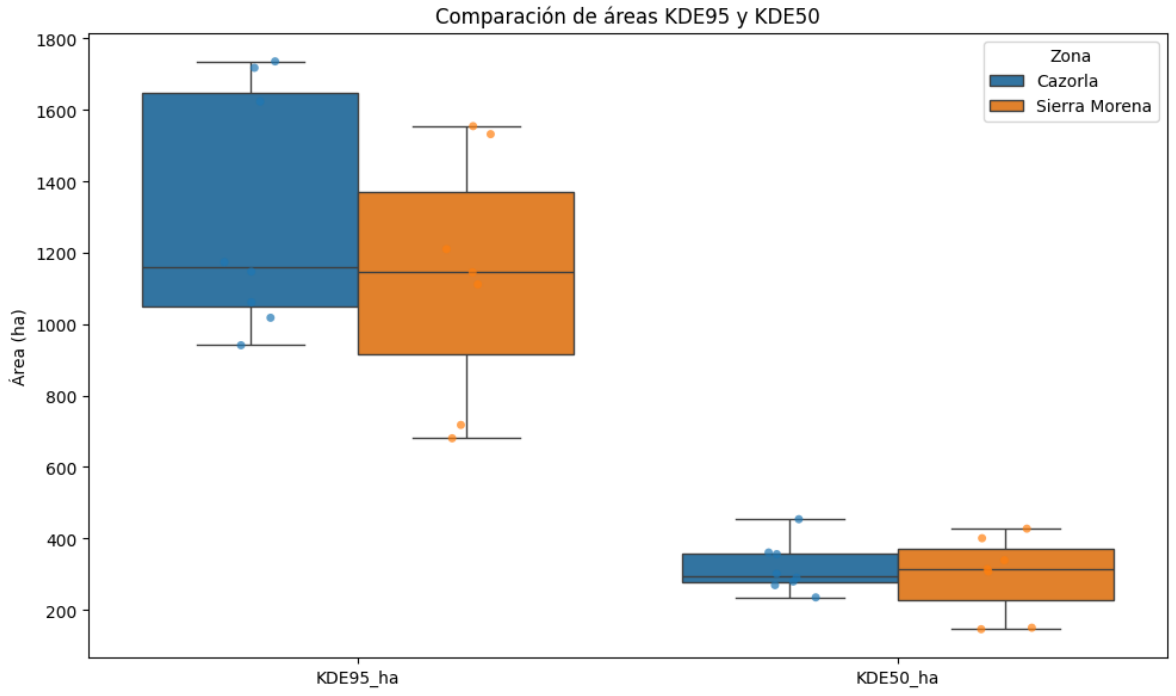


Rebaño 20045 ÁREAS DE RESIDENCIA CAZORLA y SIERRA MORENA AT2024



ÁREAS OBTENIDAS POR REBAÑO,
ZONA DE RESIDENCIA Y AÑO
TRASHUMANTE

	Rebaño	AT	Zona	KDE95_ha	KDE50_ha	IC
0	18033	AT2021	Cazorla	1061.262294	278.965166	0.262862
2	18033	AT2022	Cazorla	1017.873916	268.860204	0.264139
1	18033	AT2022	Sierra Morena	1210.168696	338.760648	0.279928
4	18033	AT2023	Cazorla	1147.268188	300.753847	0.262148
3	18033	AT2023	Sierra Morena	1145.136901	313.784042	0.274014
6	18033	AT2024	Cazorla	1173.896793	289.705913	0.246790
5	18033	AT2024	Sierra Morena	1111.248505	307.066978	0.276326
8	20045	AT2021	Cazorla	940.881576	234.512652	0.249248
7	20045	AT2021	Sierra Morena	717.586083	149.564855	0.208428
9	20045	AT2022	Cazorla	1736.056486	453.536506	0.261245
10	20045	AT2022	Sierra Morena	680.271951	145.437096	0.213793
12	20045	AT2023	Cazorla	1718.085519	360.321692	0.209723
11	20045	AT2023	Sierra Morena	1532.194774	400.314370	0.261269
14	20045	AT2024	Cazorla	1623.491515	355.700776	0.219096



Rebaño	Zona	KDE95_ha		KDE50_ha		IC	
		mean	std	mean	std	mean	std
18033	Cazorla	1100.075298	72.893298	284.571283	13.741741	0.258985	0.008171
	Sierra Morena	1155.518034	50.270538	319.870556	16.700492	0.276756	0.002980
20045	Cazorla	1504.628774	379.061043	351.017906	89.799828	0.234828	0.024383
	Sierra Morena	1121.171986	487.888121	280.589262	154.073182	0.239544	0.033359

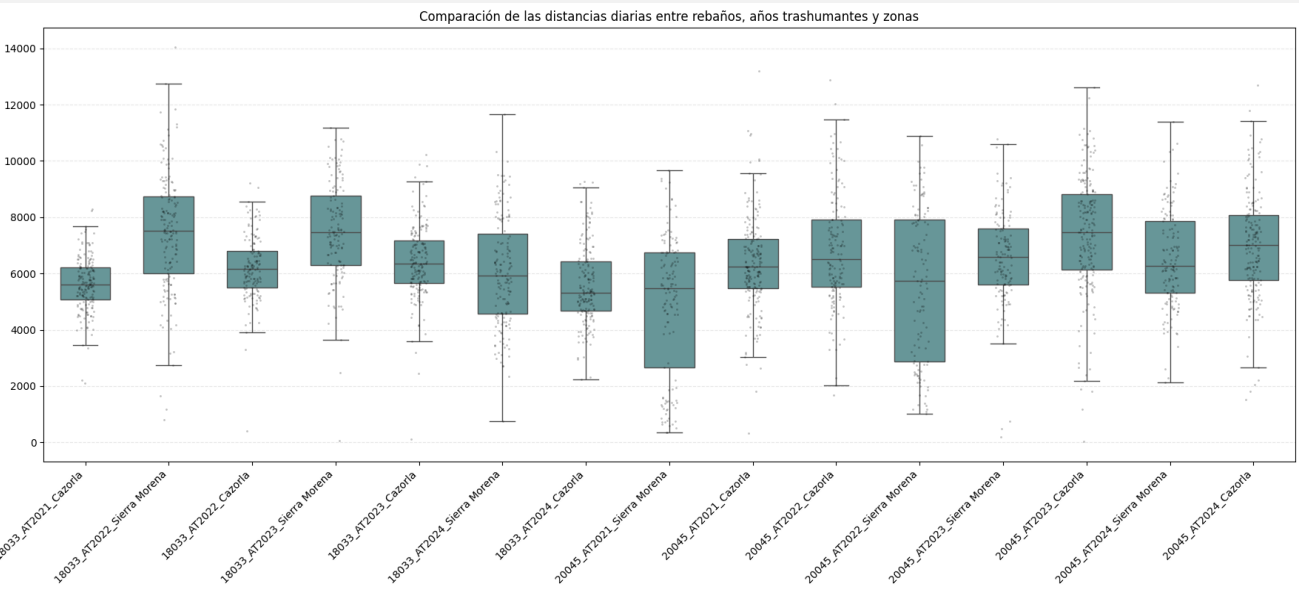
BLOQUE 3 DISTANCIA DIARIA RECORRIDA-RELACIÓN ENTRE UTILIZACIÓN ESPACIAL Y MOVILIDAD

Cálculo de la distancia diaria recorrida

La **distancia diaria recorrida** se calculó mediante la **suma de las distancias lineales entre localizaciones GPS consecutivas registradas dentro de cada día** de seguimiento. Para ello se utilizó la variable **dist_m**, expresada **en metros** y obtenida a partir de las **coordenadas proyectadas UTM de posiciones consecutivas**.

Las distancias correspondientes a todas las observaciones registradas durante una misma jornada fueron agregadas para obtener la distancia total diaria recorrida por el rebaño. Posteriormente, **los valores fueron transformados a kilómetros por día** para facilitar su interpretación ecológica..

*Se excluyeron los periodos de trashumancia para evitar sesgos derivados de desplazamientos extraordinarios.



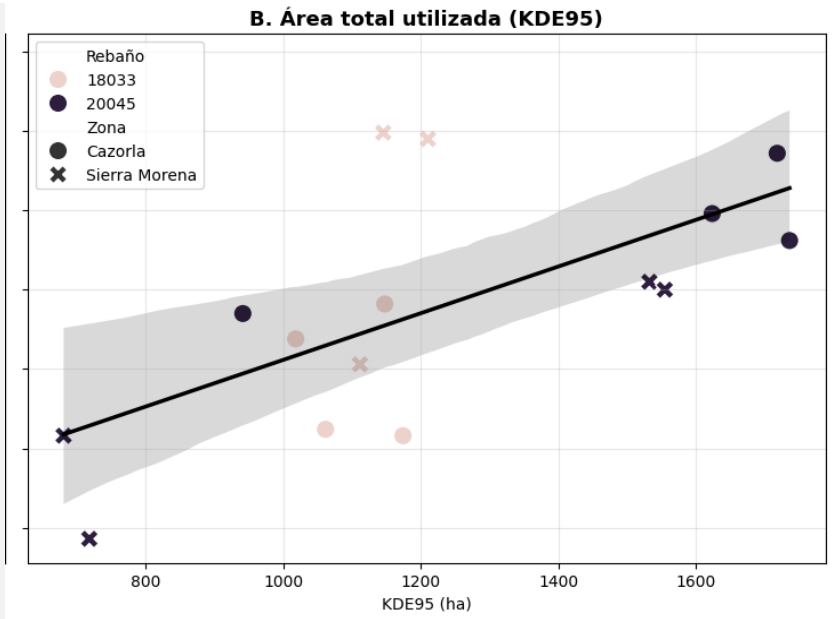
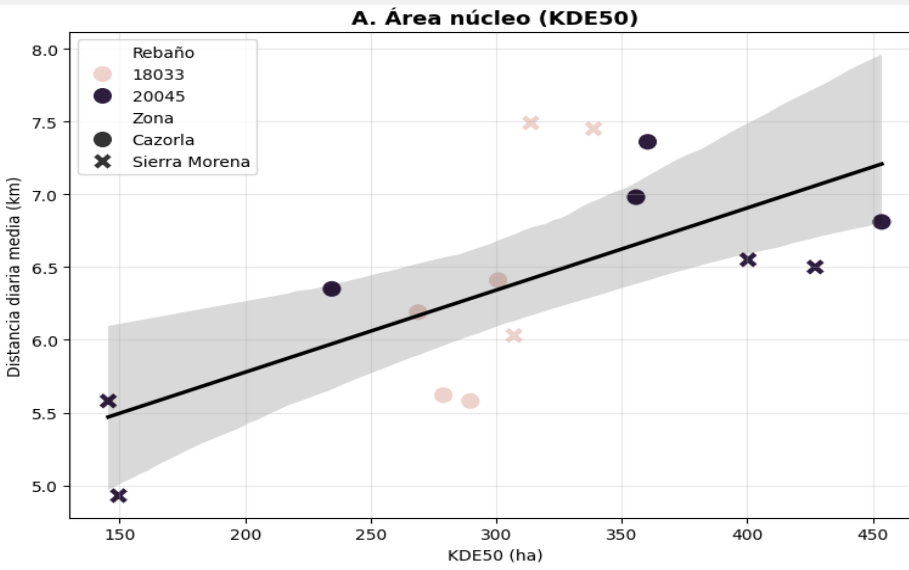
Resultados obtenidos para 18033 y 20045:

	AT	Zona	N	Media	SD	Min	Mediana	Max
0	AT2021	Cazorla	173	5.62	0.97	2.11	5.62	8.28
1	AT2022	Cazorla	147	6.19	1.15	0.40	6.16	9.21
2	AT2022	Sierra Morena	161	7.45	2.14	0.80	7.52	14.04
3	AT2023	Cazorla	176	6.41	1.32	0.13	6.34	10.23
4	AT2023	Sierra Morena	138	7.49	1.79	0.07	7.46	11.18
5	AT2024	Cazorla	169	5.58	1.41	2.23	5.32	9.26
6	AT2024	Sierra Morena	159	6.03	1.93	0.75	5.93	11.66
7	AT2021	Cazorla	189	6347.72	1697.13	329.91	6233.62	13186.58
8	AT2021	Sierra Morena	133	4930.11	2500.50	339.97	5486.17	9657.04
9	AT2022	Cazorla	149	6808.83	2023.07	1681.43	6505.78	12890.63
10	AT2022	Sierra Morena	118	5580.99	2707.59	1009.24	5729.14	10889.87
11	AT2023	Cazorla	193	7364.95	2125.15	23.30	7476.22	12623.61
12	AT2023	Sierra Morena	135	6547.83	1714.93	184.19	6596.58	10777.72
13	AT2024	Cazorla	183	6977.28	1886.67	1519.49	7006.89	12689.41
14	AT2024	Sierra Morena	137	6501.32	1753.21	2141.84	6266.03	11402.96

BLOQUE 4: INTEGRACIÓN DEL BLOQUE 2 (KDE) Y BLOQUE 3 (DISTANCIAS DIARIAS) PARA EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE SUPERFICIE UTILIZADA Y MOVILIDAD DEL REBAÑO,

	Rebaño	AT	Zona	KDE95_ha	KDE50_ha	IC	Distancia_km
0	18033	AT2021	Cazorla	1061.262294	278.965166	0.262862	5.62
1	18033	AT2022	Sierra Morena	1210.168696	338.760648	0.279928	7.45
2	18033	AT2022	Cazorla	1017.873916	268.860204	0.264139	6.19
3	18033	AT2023	Sierra Morena	1145.136901	313.784042	0.274014	7.49
4	18033	AT2023	Cazorla	1147.268188	300.753847	0.262148	6.41
5	18033	AT2024	Sierra Morena	1111.248505	307.066978	0.276326	6.03
6	18033	AT2024	Cazorla	1173.896793	289.705913	0.246790	5.58
7	20045	AT2021	Sierra Morena	717.586083	149.564855	0.208428	4.93
8	20045	AT2021	Cazorla	940.881576	234.512652	0.249248	6.35
9	20045	AT2022	Cazorla	1736.056486	453.536506	0.261245	6.81
10	20045	AT2022	Sierra Morena	680.271951	145.437096	0.213793	5.58
11	20045	AT2023	Sierra Morena	1532.194774	400.314370	0.261269	6.55
12	20045	AT2023	Cazorla	1718.085519	360.321692	0.209723	7.36
13	20045	AT2024	Sierra Morena	1554.635135	427.040727	0.274689	6.50
14	20045	AT2024	Cazorla	1623.491515	355.700776	0.219096	6.98

Integración entre uso del espacio y movilidad diaria



BLOQUE 5. COMPORTAMIENTO DERIVADO DE VELOCIDADES GPS. CÁLCULO DE VELOCIDADES INSTANTÁNEAS.

Definición de cuatro estados comportamentales:

- Permanencia ($<0.05 \text{ km h}^{-1}$)
 - Pastoreo ($0.05\text{--}0.30 \text{ km h}^{-1}$)
 - Pastoreo activo ($0.30\text{--}1.00 \text{ km h}^{-1}$)
 - Desplazamiento ($>1.00 \text{ km h}^{-1}$)
- En ambos rebaños el comportamiento **dominante** corresponde al **pastoreo activo**. Aproximadamente el 70 % de las localizaciones GPS están asociadas a actividades de alimentación.
 - Los **desplazamientos dirigidos** representan únicamente entre el 10 y el 12 % de los registros.

Preparación de capas espaciales para análisis funcional:

Los puntos GPS clasificados fueron exportados a formato GeoPackage incorporando información espacial, temporal y comportamental.

Cada localización conserva la identificación de:

- año trashumante,
- zona de estudio,
- estado comportamental,
- velocidad instantánea,
- distancia diaria acumulada,
- periodo día/noche,
- hora exacta del registro.

Esta estructura permite realizar análisis espaciales avanzados en QGIS mediante filtrado por comportamiento, periodo temporal o zona de estudio, así como la generación de superficies KDE específicas para cada estado comportamental.



Ejemplo de representación del rebaño 18033 (rojo) en estado de permanencia durante toda la serie temporal y rebaño 20045 (azul) en estado de pastoreo activo para el mismo periodo.

Con el aprendizaje realizado sobre los rebaños de ensayo 18033 y 20045 se desarrolla la herramienta que se va a utilizar en los análisis ecológicos futuros: **MOTOR DE RECONSTRUCCIÓN DE EVENTOS TRASHUMANTES (MRET)**

Metodología

1. Depuración GPS
2. Conversión UTM
3. Clasificación espacial
4. Detección de residencias
5. Centroides diarios
6. Detección de transiciones
7. Identificación de migraciones primavera/otoño
8. Reconstrucción de años trashumantes
9. Reconstrucción de lagunas
10. Asignación de GPS a cada AT
11. Preparación de informes automáticos



Estado actual del Motor:

- Clasificación espacial
- Residencias
- Transiciones
- Reconstrucción
- Asignación GPS
- Informes automáticos
- Ajuste fino de reconstrucción

Limitaciones detectadas:

- lagunas temporales de aproximadamente 60 días en otoño de 2022 en un alto porcentaje de rebaños.
- años incompletos

RESULTADOS

- ✓ Se ha desarrollado MRET
- ✓ Validado sobre 18033 y 20045.
- ✓ Escalado a 69 rebaños.
- ✓ Base metodológica preparada para el análisis ecológico completo.

PRÓXIMO OBJETIVO:

La fase siguiente consistirá en el refinamiento del algoritmo y su aplicación al análisis ecológico de la movilidad ganadera frente al cambio climático.



Trabajo en marcha actualmente:

depuración final

validación 69 rebaños

Incorporación de variables ecológicas objeto de estudio