

Respuesta del *Home Range* de la Mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus*) a variaciones ambientales destacadas mediante NDVI

Torres Lugo, Gabriela A.+

+ Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Departamento de Biología.

Abstracto

Se evaluó la ecología espacial de la mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus*) en el suroeste de la isla integrando datos de telemetría, análisis de *home range* y variación en la cobertura vegetal entre 2021 y 2023. Se estimaron MCP100 y MCP95 mediante polígonos convexos mínimos y eliminación del 5% de las localizaciones extremas, y se generaron KDE50 y KDE95 a partir de modelos de densidad kernel en ArcGIS Pro. Paralelamente, se calcularon índices NDVI derivados de imágenes Landsat 8–9 para caracterizar el vigor y la distribución de la vegetación en cada año de estudio. Los resultados mostraron que 2021 y 2023 presentaron los rangos de movimiento más amplios y distribuciones KDE más dispersas, mientras que 2022 exhibió una contracción marcada del *home range* y un uso espacial más concentrado. Estos patrones se asociaron con años de alta variabilidad climática y olas de calor, en 2021 y 2023, frente a un año con recuperación rápida y relativamente homogénea de la vegetación tras las lluvias del huracán Fiona (2022). En todos los años, las mariquitas utilizaron preferentemente áreas con vegetación baja o moderada, suelos secos o semisecos y hábitats abiertos, especialmente manglares y matorrales costeros. Los hallazgos resaltan que la especie ajustó dinámicamente su uso del espacio en respuesta a la condición de la vegetación y a eventos climáticos extremos, y apoyan estrategias de conservación enfocadas en la restauración y protección de los hábitats núcleo identificados dentro del KDE50.

Introducción

La mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus*) es una especie endémica cuya distribución actual se restringe a poblaciones en el suroeste (Cabo Rojo y Lajas), sureste (Salinas y Guayama), este (Ceiba) de la isla grande y en las islas de Mona y Monito (González-Crespo et al., 2023). Gran parte de su abundancia histórica y contemporánea se concentra en Cabo Rojo y Lajas, donde utiliza manglares, matorrales costeros, pastizales y áreas residenciales como zonas de alimentación, descanso y dormideros estacionales (Cruz-Burgos, 1999). Su clasificación como especie en peligro de extinción ha impulsado múltiples esfuerzos de recuperación, incluyendo proyectos de telemetría para comprender sus patrones de movimiento y uso de hábitat. Durante la época reproductiva, la especie muestra una mayor estacionalidad en sus desplazamientos, con movimientos más cortos y frecuentes entre áreas de alimentación y dormideros (Cruz-Burgos, 1999). Dada esta dinámica, resulta esencial cuantificar su *home range* anual y comprender cómo varían sus patrones espaciales bajo distintas condiciones ambientales.

Para evaluar estas dinámicas, los análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG) integran datos de telemetría mediante dos enfoques fundamentales: el *Minimum Convex Polygon* (MCP) y el *Kernel Density Estimator* (KDE). El MCP permite estimar el área

total observada delineando un polígono convexo que incluye todas las localizaciones (MCP100) o excluye el 5% de los puntos más extremos para obtener un estimado más estable (MCP95), siguiendo recomendaciones metodológicas para estudios de fauna silvestre (Laver & Kelly, 2008; Rodgers et al., 2007). Por su parte, el KDE modela la distribución de utilización del espacio, generando isopletas que representan distintos niveles de intensidad de uso; el KDE50 identifica el núcleo de actividad o área de uso intensivo, mientras que el KDE95 describe el área funcional total del home range (Worton, 1989). Estos métodos se utilizan ampliamente en aves para evaluar patrones espaciales, superposición entre individuos y efectos ambientales sobre el movimiento.

Considerando que los datos de movimiento abarcan los años 2021 a 2023, es imprescindible incorporar el efecto de eventos climáticos relevantes sobre el home range de la mariquita. Durante este período, el suroeste de Puerto Rico experimentó tormentas tropicales, sequías, ondas de calor y el paso del huracán Fiona en 2022, eventos que pueden afectar la cobertura vegetal, la estructura del manglar y la disponibilidad de recursos dentro del área de actividad de la especie (González-Crespo et al., 2023). Para evaluar estos efectos, los análisis de teledetección mediante índices de vegetación ofrecen una herramienta clave. El *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) permite detectar cambios en productividad primaria, vigor vegetal, fenología y perturbaciones costeras asociadas a eventos climáticos extremos. Al comparar los patrones anuales del NDVI con las áreas identificadas mediante MCP y KDE, es posible evaluar si la condición de la vegetación influye en la selección de hábitat, las rutas de movimiento y la fidelidad espacial entre años.

En este marco, surge la siguiente pregunta científica: ¿Cómo varía el *home range* y el núcleo de actividad de la mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus*) en relación con los cambios temporales en la cobertura vegetal en el suroeste de la isla? El objetivo de este estudio es evaluar cómo los cambios en la cobertura vegetal, medidos mediante NDVI, influyen en la variación espacio y temporal del *home range* y del núcleo de actividad (MCP95, KDE95 y KDE50). Asimismo, se busca integrar los datos de telemetría con herramientas SIG para identificar patrones de selección de hábitat bajo diferentes condiciones climáticas y ambientales. Finalmente, este análisis permitirá comprender si las fluctuaciones en la estructura y calidad de la vegetación tienen efectos medibles sobre el movimiento, la fidelidad espacial y el uso del paisaje por parte de la especie.

Metodología

Los datos de telemetría obtenidos para la mariquita de Puerto Rico fueron procesados en ArcGIS Pro mediante análisis espaciales, modelación geométrica y técnicas de densidad para estimar el *home range* y el núcleo de actividad de la especie. En primer lugar, las coordenadas GPS fueron importadas al software utilizando la herramienta *Make XY Event Layer*, lo que permitió visualizar los puntos y asociarlos a atributos temporales como la estación o el año de muestreo. Una vez creada la capa de eventos, las localizaciones fueron exportadas como *Features* permanentes siguiendo las recomendaciones de manejo de tablas y estructuras de datos descritas por Esri (2024a). Este procedimiento aseguró la integridad espacial de los datos antes de realizar los análisis de rango, en concordancia con prácticas estándar en estudios de telemetría (Laver & Kelly, 2008).

Para estimar el *Minimum Convex Polygon* (MCP), se utilizó la herramienta *Minimum Bounding Geometry*, seleccionando el parámetro *Convex Hull* para generar el polígono que contuvo todas las localizaciones observadas (MCP100). Este enfoque representó la aplicación del método geométrico clásico descrito por Worton (1987). Posteriormente, se generó el MCP95 mediante la eliminación del 5% de las localizaciones más extremas, siguiendo la metodología propuesta por Rodgers et al. (2007), quienes establecieron criterios estandarizados para reducir la influencia de valores atípicos. Para identificar estos puntos, primero se aplicó la herramienta *Mean Center*, que produjo el centroide de la distribución espacial (Esri, 2024b). Luego, se utilizó la herramienta *Near* para calcular la distancia entre cada punto y su vecino más cercano, generando los campos NEAR_FID y NEAR_DIST (Esri, 2024c). Los puntos fueron ordenados de forma descendente por NEAR_DIST, lo que permitió identificar las observaciones más lejanas; a partir del total de puntos (N_{Total}) se calculó $N_{Eliminar} = N_{Total} \times 0.05$. Tras eliminar estos puntos, se creó un nuevo polígono convexo y su área fue calculada en hectáreas mediante *Calculate Geometry Attributes*.

Una vez completado el análisis MCP, se procedió a estimar la *Kernel Density Estimator* (KDE), un método no paramétrico ampliamente validado para modelar la distribución de uso espacial en animales (Worton, 1989; Seaman & Powell, 1996). Previo a este análisis, los puntos fueron reproyectados al sistema NAD 1983 UTM Zone 19N utilizando *Project* para asegurar cálculos métricos precisos. El raster de densidad fue generado mediante la herramienta *Kernel Density*, con un tamaño de celda de 10 m, equivalente a dos o tres veces el error medio del GPS de 3.8 m, lo que garantizó una resolución adecuada sin introducir ruido artificial. El *search radius* se fijó en 200 m, siguiendo recomendaciones metodológicas para especies de tamaño corporal y patrones de movimiento similares (Laver & Kelly, 2008; Silverman, 1986).

El raster resultante fue reclasificado mediante la herramienta *Slice* en 20 clases de igual área (*Equal Area*), siguiendo la guía oficial de Esri (2024e). Este procedimiento permitió identificar las clases 11–20 como el KDE50, que representó el núcleo de actividad (50% de mayor densidad), y las clases 2–10 como el KDE95, que incluyó el 95% del área de mayor utilización. La extracción de estas áreas se realizó mediante la herramienta *Raster Calculator*, aplicando expresiones condicionales como *Con(raster >= x, 1)* para generar rasters binarios (Esri, 2024f). Estos rasters fueron posteriormente convertidos a polígonos utilizando la herramienta *Raster to Polygon*, y cuando fue necesario, se unificaron mediante *Dissolve*, en concordancia con los lineamientos de Esri sobre conversión y generalización geométrica (Esri, 2024g, 2024h). Finalmente, el área de los polígonos KDE50 y KDE95 fue calculada en hectáreas utilizando *Calculate Geometry Attributes*. Este procedimiento siguió los fundamentos teóricos de la *utilization distribution* desarrollados por Worton (1989) y ampliados por Kie et al. (2010).

Para evaluar la variación temporal en la cobertura vegetal, se calcularon los índices de vegetación (NDVI) utilizando imágenes Landsat 8–9 OLI/TIRS Level 1 obtenidas del portal USGS EarthExplorer. Se seleccionaron escenas con fechas representativas de cada año, 17 de diciembre de 2021, 12 de diciembre de 2022 y 18 de septiembre de 2023, con el propósito de capturar condiciones fenológicas comparables. Las imágenes MTL y la banda pancromática (B8) fueron importadas a ArcGIS, donde se aplicó un *subset* para retener las bandas azul, verde, roja e infrarrojo cercano (NIR). Posteriormente, se aplicó *pansharpening* para mejorar la resolución espacial antes de calcular el NDVI.

mediante la fórmula estándar ($\text{NIR} - \text{Red}$) / ($\text{NIR} + \text{Red}$), siguiendo los principios de reflectancia espectral establecidos para el análisis de vegetación. Las capas resultantes fueron recortadas mediante *clip* para ajustarlas a los límites del área de estudio y así permitir su integración con los polígonos MCP y KDE en los análisis comparativos.

Resultados

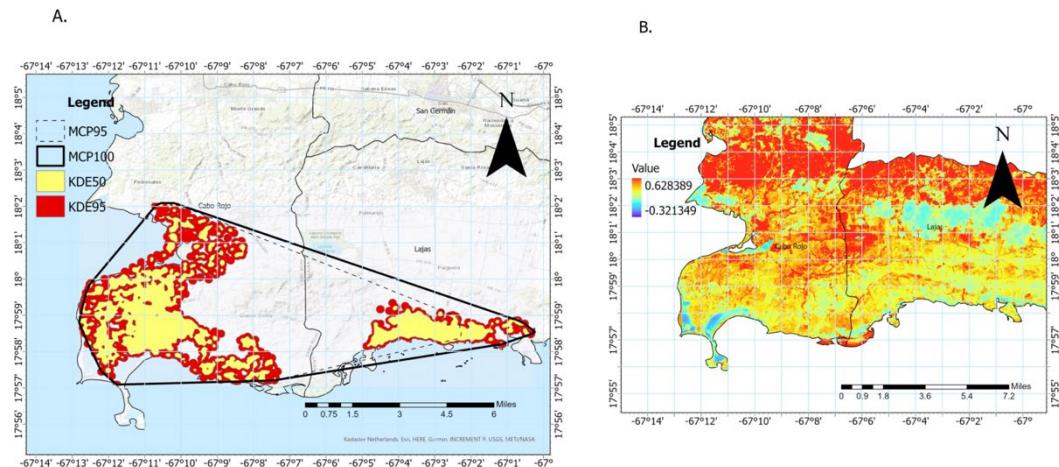


Figura 1: Mapa del 2021 del *home range* de *Agelaius xanthomus* utilizando (a) *Minimum Convex Polygon* (MCP), *Kernel Density Estimator* (KDE); en conjunto al mapa (b) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de los municipios de Cabo Rojo y Lajas, Puerto Rico.

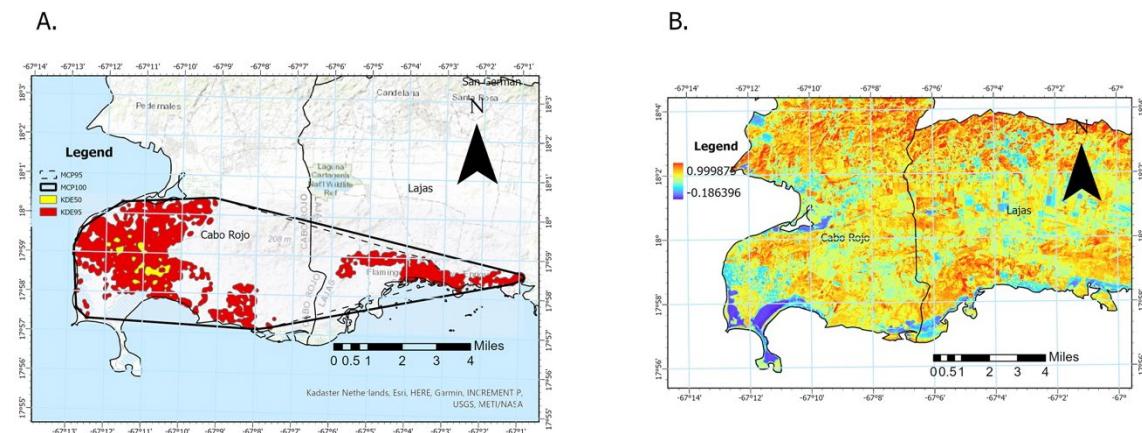


Figura 2: Mapa del 2022 del *home range* de *Agelaius xanthomus* utilizando (a) *Minimum Convex Polygon* (MCP), *Kernel Density Estimator* (KDE); en conjunto al mapa (b) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de los municipios de Cabo Rojo y Lajas, Puerto Rico.

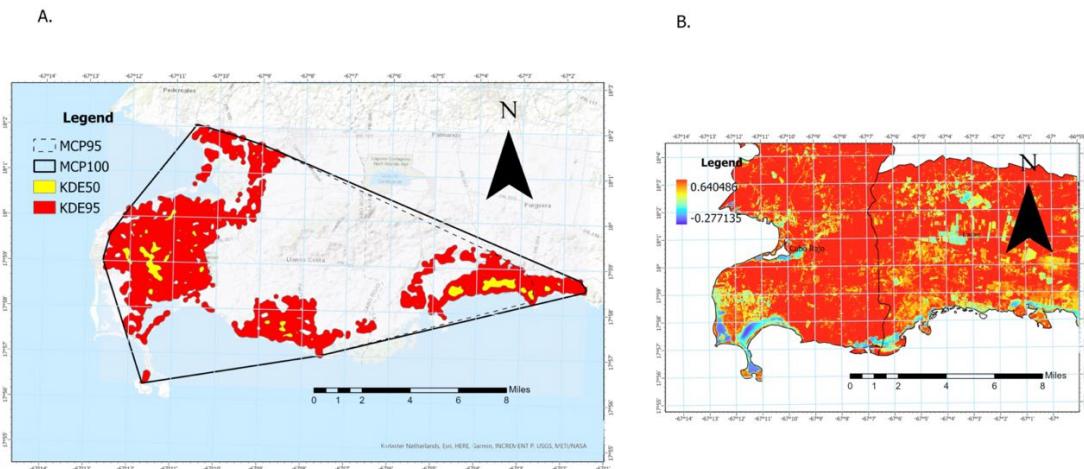


Figura 3: Mapa del 2023 del *home range* de *Agelaius xanthomus* utilizando (a) *Minimum Convex Polygon* (MCP), *Kernel Density Estimator* (KDE); en conjunto al mapa (b) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de los municipios de Cabo Rojo y Lajas, Puerto Rico.

Discusión

En 2021, las estimaciones espaciales mostraron el *home range* más amplio de la serie, con un MCP100 de 12,074.79 ha y un MCP95 de 10,622.62 ha, lo que indica que las mariquitas utilizaron una porción extensa del paisaje durante este año (Figura 1a). El patrón de KDE95, claramente disperso y expansivo, refuerza la interpretación de que las aves se desplazaron ampliamente por Cabo Rojo y Lajas para acceder a recursos distribuidos de manera heterogénea. En cuanto a la condición de la vegetación, el NDVI de 2021 (Figura 1b) muestra una matriz mixta, con parches de alta productividad vegetal rodeados de zonas más fragmentadas y valores moderados. Estas características coinciden con eventos climáticos registrados en ese año, como olas de calor y el paso de la tormenta tropical Ana, los cuales pueden haber alterado temporalmente la disponibilidad de alimento y refugio. La combinación de estrés térmico y disturbios por viento y lluvia pudo haber obligado a las aves a ampliar sus desplazamientos, generando el patrón espacial más extenso observado.

En 2022, se observó una contracción notable del *home range*, reflejada en un MCP100 de 8,458.94 ha y un MCP95 de 7,510.73 ha, valores considerablemente menores que los del año anterior (Figura 2a). A diferencia de 2021, el NDVI de 2022 (Figura 2b) evidencia una mayor homogeneidad en la cobertura vegetal, probablemente influenciada por las lluvias intensas asociadas al huracán Fiona, el cual impactó directamente el suroeste de Puerto Rico. La mayor disponibilidad de vegetación verde y húmeda sugiere una recuperación rápida de la productividad primaria, lo que reduce la necesidad de desplazamientos largos. Esto se confirma en los mapas KDE, donde la densidad de uso se concentra principalmente en sectores costeros y manglares de Cabo Rojo, con menos áreas dispersas hacia el interior. Estos patrones indican que, bajo condiciones ambientales más estables y con abundancia de recursos localizados, las mariquitas restringieron sus movimientos y utilizaron de forma más intensa zonas específicas que ofrecieron alimento y refugio adecuados.

En 2023, el *home range* volvió a expandirse, con un MCP100 de 11,439.33 ha y un MCP95 de 10,889.77 ha, alcanzando magnitudes similares a las observadas en 2021 (Figura 3a). El NDVI de este año (Figura 3b) revela un vigor vegetal elevado en muchas áreas, aunque con evidencia de variabilidad espacial que responde a un patrón climático complejo. El año 2023 estuvo marcado por olas de calor severas en junio y agosto, seguidas por lluvias torrenciales a finales de octubre e influenciado por el fenómeno de El Niño, que suele provocar extremos climáticos y oscilaciones en la humedad del suelo. En este contexto, el KDE muestra nuevamente un uso del espacio más amplio y diverso, con áreas de actividad extendidas en comparación con 2022. Esta expansión probablemente refleja que, frente a fluctuaciones ambientales fuertes, las aves necesitaron explorar un rango espacial mayor para encontrar microhabitats adecuados y mantener acceso estable a recursos esenciales.

Conclusión

El análisis integrado del *home range* (MCP100/MCP95), la distribución de uso del espacio (KDE95/KDE50) y la variación en la cobertura vegetal (NDVI) demuestra que la mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus*) responde de manera clara y consistente a los eventos climáticos y a las fluctuaciones ambientales del suroeste de la isla. La comparación de los tres años analizados evidencia que los patrones de movimiento y uso del paisaje no son aleatorios, sino que reflejan una relación directa entre la disponibilidad de recursos, perturbaciones ambientales y condiciones climáticas extremas. Esta sensibilidad ecológica resalta la importancia de considerar tanto la dinámica de la vegetación como los eventos meteorológicos al evaluar el comportamiento espacial de la especie.

En términos de selección de hábitat, los resultados muestran que, independientemente del año, los puntos de KDE indican un uso preferente de áreas con vegetación baja o moderada, espacios abiertos y zonas clasificadas como suelos secos o semisecos. Estos ambientes parecen ofrecer una combinación óptima de alimento y refugio para la especie, a la vez que permiten desplazamientos eficientes dentro de su rango geográfico. Esta tendencia sugiere que la mariquita mantiene una fidelidad general hacia ciertos tipos de hábitat, aun cuando las condiciones climáticas modifican la extensión total del espacio que utiliza.

Asimismo, se observó evidencia clara de que los años caracterizados por condiciones extremas de calor o alta variabilidad climática, como 2021 y 2023, están asociados a rangos de movimiento más amplios y distribuciones espaciales más dispersas. Estas expansiones del *home range* parecen reflejar la necesidad de las aves de explorar mayores áreas para compensar la pérdida temporal de recursos causada por olas de calor, tormentas o irregularidades en la productividad vegetal. En contraste, eventos que promueven una recuperación rápida y homogénea de la vegetación, como las lluvias asociadas al huracán Fiona en 2022, resultaron en contracciones marcadas del *home range* y un uso más concentrado del paisaje. Esto sugiere que un incremento en la disponibilidad de vegetación saludable reduce la necesidad de desplazamientos extensos, permitiendo a las mariquitas concentrar sus actividades en áreas más delimitadas.

En trabajos futuro, se recomienda integrar análisis multitemporales de mayor frecuencia, mensuales o incluso semanales, para evaluar respuestas más inmediatas a

eventos climáticos extremos y detectar umbrales específicos de vegetación que desencadenen cambios en el uso del espacio. Además, sería valioso evaluar el impacto directo de sequías y olas de calor sobre la fenología de la vegetación local, incorporando índices como SAVI u otros indicadores de estrés hídrico que permitan comprender mejor la calidad del hábitat en escenarios de cambio climático.

Finalmente, desde una perspectiva de conservación aplicada, los resultados subrayan la importancia de priorizar la restauración y protección de manglares, matorrales costeros y humedales ubicados dentro del KDE50, ya que estos ecosistemas presentan valores consistentemente altos de NDVI y constituyen áreas núcleo preferidas por la especie. Salvaguardar estos hábitats clave no solo favorecerá la estabilidad poblacional de la mariquita, sino que también fortalecerá su resiliencia frente a futuras perturbaciones climáticas.

Referencias

- Cruz-Burgos, J. (1999). *Movements, home range, and activity patterns of the endangered Yellow-shouldered Blackbird (*Agelaius xanthomus*) in southwestern Puerto Rico* (Master's thesis). University of Puerto Rico, Mayagüez.
- Esri. (2024a). *Classifying raster data — Quantile method*. ArcGIS Pro Documentation. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/raster-classification-methods.htm>
- Esri. (2024b). *Con (Spatial Analyst)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/con.htm>
- Esri. (2024c). *Dissolve — Data Management*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/dissolve.htm>
- Esri. (2024d). *Frequency — Analysis Tools*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/frequency.htm>
- Esri. (2024e). *How Kernel Density works*. ArcGIS Pro Spatial Analyst. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>
- Esri. (2024f). *Mean Center (Spatial Statistics)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/mean-center.htm>
- Esri. (2024g). *Minimum Bounding Geometry*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/minimum-bounding-geometry.htm>
- Esri. (2024h). *Near (Analysis)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/near.htm>

Esri. (2024i). *Raster to Point (Conversion)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/conversion/raster-to-point.htm>

Esri. (2024j). *Raster to Polygon (Conversion)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/conversion/raster-to-polygon.htm>

Esri. (2024k). *Slice (Spatial Analyst)*. ArcGIS Pro Tool Reference. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/slice.htm>

Esri. (2024l). *Work with attribute tables*. ArcGIS Pro Documentation. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/tables/attribute-tables.htm>

Gitzen, R. A., Millspaugh, J. J., & Kernohan, B. J. (2006). Bandwidth selection for fixed-kernel analysis of animal utilization distributions. *Journal of Wildlife Management*, 70(5), 1334–1344. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2006\)70\[1334:BSFFAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2006)70[1334:BSFFAO]2.0.CO;2)

González-Crespo, J. P. (2023). *Spatial ecology of the Yellow-shouldered Blackbird during the post-fledging period and its implications on population growth* (Master's thesis). University of Puerto Rico, Mayagüez.

González-Crespo, J. P., et al. (2023). *Yellow-shouldered Blackbird (Agelaius xanthomus): 5-Year Status Review*. U.S. Fish and Wildlife Service, Caribbean Ecological Services Field Office.

Kenward, R. (2001). *A manual for wildlife radio tagging*. Academic Press.

Kie, J. G., Matthiopoulos, J., Fieberg, J., Powell, R. A., Cagnacci, F., Mitchell, M. S., Gaillard, J. M., & Moorcroft, P. R. (2010). The home-range concept: Are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550), 2221–2231. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0093>

Laver, P. N., & Kelly, M. J. (2008). A critical review of home range studies. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 290–298. <https://doi.org/10.2193/2005-589>

Powell, R. A. (2000). Animal home ranges and territories and home range estimators. In L. Boitani & T. K. Fuller (Eds.), *Research techniques in animal ecology: Controversies and consequences* (pp. 65–110). Columbia University Press.

Rodgers, A. R., Carr, A. P., Beyer, H. L., Smith, L. D., & Kie, J. G. (2007). *HRT: Home Range Tools for ArcGIS (Version 1.1)*. Ontario Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research.

Seaman, D. E., & Powell, R. A. (1996). An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology*, 77(7), 2075–2085. <https://doi.org/10.2307/2265701>

Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman & Hall.

Worton, B. J. (1987). A review of models of home range for animal movement. *Ecological Modelling*, 38(3–4), 277–298. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(87\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0304-3800(87)90063-4)

Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1), 164–168. <https://doi.org/10.2307/1938423>