

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA

UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE



TESIS

**USO DE DRON PARA EL MONITOREO DE VENADO BURA (*Odocoileus
hemionus eremicus*) EN DESIERTO SONORENSE**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE**

PRESENTA

ECOL. CESAR ABRAHAM VALENCIA MALDONADO

HERMOSILLO, SONORA

ENERO DE 2021

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA

UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE

TESIS

USO DE DRON PARA EL MONITOREO DE VENADO BURA (*Odocoileus
hemionus eremicus*) EN DESIERTO SONORENSE

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR



Dr. Alberto Macías Duarte

CODIRECTOR



M.S.P.B. José P. Arroyo
Ortega

VOCAL



Dr. Carmen Isela Ortega
Rosas

HERMOSILLO, SONORA ENERO DE 2021

INDICE

INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. JUSTIFICACIÓN	16
1.2. OBJETIVO GENERAL	17
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. HIPOTESIS	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Unidad de Conservación y Aprovechamiento de la Vida Silvestre (UMA)	18
2.1.2. Definición de UMA	18
2.1.3. Objetivos de las UMAs.....	19
2.1.4. La Cacería deportiva en México y Sonora	20
2.1.5. Objetivos del programa de monitoreo	20
2.2. Métodos de estimación de abundancia de fauna silvestre	22
2.2.1. Método de conteo directo en transectos de franja	22
2.2.2. Método de estimación utilizado para monitoreo de fauna silvestre mediante el uso de vehículos aéreos tripulados	25
2.2.3. Uso de dron para monitoreo de fauna silvestre	25

2.2.4.	Estudios previos de monitoreo de venado bura en zonas áridas	27
2.2.5.	Estudios de monitoreo con uso de dron	28
3.	METODOLOGÍA	29
3.1.	Descripción de la Especie de Estudio.....	29
3.2.	Descripción del Área de Estudio.....	33
3.3.	Clima	35
3.4.	Topografía	35
3.5.	Hábitat del venado bura.....	37
3.6.	Muestreo de transectos por franjas	39
3.7.	Monitoreo de transectos con dron	39
3.8.	Análisis estadístico	42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Esfuerzo de muestreo y detección de venados bura.....	44
4.2.	Estimación de costos para transectos en frajas con vehículo y dron.	60
4.3.	Capacidad de detección con el uso de dron.....	65
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS	69
	ANEXOS	74
	Anexo 1. Esfuerzo de muestreo y detección de venados bura	74

Anexo 2. Transectos lineales con vehículo	75
Anexo 3. Transectos en línea realizados con dron	76

FIGURAS

Figura 1. Objetivos del programa de monitoreo.	21
Figura 2. Representación gráfica de un transecto de franja.....	24
Figura 3. Venado bura de Sonora (<i>O. h. eremicus</i>) detectado por una cámara-trampa en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.	30
Figura 4. Ubicación de la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.	34
Figura 5. Topografía de la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.	36
Figura 6. Distribución de los tipos de vegetación (INEGI, 2017) en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.	38
Figura 7. Puntos aleatorios seleccionados en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.....	41
Figura 8. Transectos por franjas en vehículo y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2018-2019 en la UMA Rancho San Huberto.....	45

Figura 9. Transectos por franjas en vehículo y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2019-2020 en la UMA Rancho San Huberto.....	46
Figura 10. Hembras de venado bura observadas por dron en la UMA Rancho San Huberto.....	47
Figura 11. Macho de venado bura detectado por dron en la UMA Rancho San Huberto.....	48
Figura 12. Macho de venado bura detectado por dron en la UMA Rancho San Huberto.....	49
Figura 13. Transectos por franjas con dron y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2018-2019 en la UMA Rancho San Huberto.....	50
Figura 14. Transectos por franjas con dron y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2019-2020 en la UMA Rancho San Huberto.....	51
Figura 15. Transectos con dron realizados en el encierro de venado con densidad conocida ($2 \text{ individuos}\cdot\text{ha}^{-1}$) en la UMA Los Buros, Municipio de Hermosillo.....	52
Figura 16. Distribución observada de las distancias de detección de grupos de venado bura obtenidas en transectos lineales en vehículo en la UMA Rancho San Huberto.....	55

Figura 17. Estimaciones de densidad poblacional de venado bura en la UMA
Racho San Huberto por tipo de muestreo (vehículo vs. dron) y temporada de
cacería (2018-2019 vs. 2019-2020)..... 59

TABLAS

Tabla 1. Análisis financiero para transectos en franjas con vehículo 2018-2019.
..... 61

Tabla 2. Análisis financiero para transectos en franjas con dron 2018-2019... 62

Tabla 3. Análisis financiero para transectos en franjas con vehículo 2019-2020.
..... 63

Tabla 4. Análisis financiero para transectos en franjas con dron 2019-2020... 64

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las Familias Leño Espinosa y Medina Espinosa, por permitirme utilizar el Rancho San Huberto como campo experimental para la aplicación tecnológica del dron en zonas áridas de Sonora.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Estatal de Sonora por su apoyo para realizar mis estudios de maestría.

A mi director de tesis, Dr. Alberto Macías Duarte por invitarme a ingresar a la maestría y creer plenamente en el proyecto innovador del uso de dron para monitoreo de fauna silvestre, al codirector, M.S.P.B. José P. Arroyo, por el seguimiento puntual de las actividades y trabajo en campo. A la Dra. Carmen Isela Ortega Rosas por su valiosas participaciones y observaciones en el desarrollo del documento.

De igual manera agradezco el apoyo que brindo IDEA GEOMATICA para el desarrollo del proyecto y al tecnólogo Carlos Alejandro Pérez García en la aportación de sus conocimientos.

Gracias a mi esposa Claudia Paola Valencia Duarte por su apoyo incondicional en el proceso de la maestría y a mi abuelo José Ramón Valencia Valle por creer siempre en mi (Q.D.E.P.).

Y por último, y no menos importante, a Jaime Cortés y sus hijos, encargados del Rancho San Huberto, por su ayuda en el trabajo de campo.

A todos ustedes, mi reconocimiento y gratitud.

RESUMEN

En Sonora existen especies cinegéticas de gran valor comercial, incluyendo al venado bura (*Odocoileus hemionus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y el jabalí de collar (*Pecari tajacu*). Es por ello de suma importancia que las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) lleven a cabo técnicas de monitoreo eficaces que permitan estimar la abundancia de las especies para guiar a los propietarios en la instrumentación de esfuerzos de manejo.

El transecto en franja es el método más utilizado para el monitoreo de venados en la región norte del país y se basa en la definición de densidad poblacional contando el número de individuos detectados en franjas largas y estrechas de área conocida como unidades de muestro.

El método de vehículos aéreos no tripulados está emergiendo como una herramienta poderosa en el área de la ecología. En este contexto, el presente estudio evalúa el uso de dron como alternativa viable para la estimación de abundancia del venado bura en zonas áridas de Sonora y compara las estimaciones de tamaño poblacional obtenidas mediante el uso de dron y conteos en franjas realizadas durante las temporadas de casa del venado bura del 2018-2019 y 2019-2020 en la UMA “Rancho San Huberto” en el Municipio de Pitiquito, Sonora.

Se estimó que la densidad de venado bura usando el método de franjas ($D = n/2wL$) para las temporadas 2018-2019 y 2019-2020 fue 0.247 y 0.321 venados-km², respectivamente, usando una mitad de ancho de franja de $w = 200$ m.

La estimación de densidad poblacional de venados bura con dron en la temporada de caza de 2018-2019 fue $\hat{D} = 0.276$ venados·km⁻² (IC95%(D) = 0.050–1.520 venados·km⁻²). A su vez, la estimación de densidad de venados bura en la temporada de caza de 2019-2020 fue $\hat{D} = 1.267$ venados·km⁻² (IC95%(D) = 0.377–4.259 venados·km⁻²).

No se encontró diferencia en las estimaciones de densidad poblacional de venado bura entre conteos en vehículo y conteos con dron. Sin embargo, el bajo número de detecciones de venado ($n=7$) mediante el uso del dron ocasionó estimadores de densidad poblacional de baja precisión, por lo cual se recomienda aumentar el esfuerzo de muestro. El uso de dron para el monitoreo de venado bura, aunado al registro de video, con registro de video incrementa la defectibilidad de individuos con la posibilidad de revisar los vuelos en múltiples ocasiones.

El uso de vehículo para el monitoreo en franja sigue siendo un método entre la mayoría de los técnicos de vida silvestre, pero se recomienda continuar con estudios del uso de dron para ir mejorando esta herramienta novedosa.

INTRODUCCIÓN

Los primeros reglamentos para caza y aprovechamiento de fauna silvestre en México fueron establecidos en 1870. Sin embargo, la primera Ley de Caza fue decretada hasta 1940 (Olivo, 2016). Esta ley declaraba a la fauna silvestre como un recurso de la Nación. En 1950 entró en vigor una nueva Ley Federal de Caza, en la que se siguió reconociendo a la fauna silvestre como propiedad de la Nación y se prohibió la caza comercial (aprovechamiento para la venta de fauna silvestre y sus productos) autorizando solamente la cacería deportiva (práctica de recreación y ejercicio) (Villareal, 2012). El auge en la actividad cinegética inicio en la década de 2000 cuando entra en vigor la actual Ley General de Vida Silvestre (LGVS). A diferencia de las leyes anteriores, la LGVS regula todos los aspectos relacionados con la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y sus hábitats naturales. La comercialización de la cacería en el sector rural, crea diversas fuentes de empleo e ingresos para las comunidades, incrementando el mantenimiento de los servicios ambientales (Secretaría de Medio Ambiente-Instituto Nacional de Ecología, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP-INE, 1997).

Sonora cuenta con varias de las especies cinegéticas con mayor valor económico en México, incluyendo al venado bura (*Odocoileus hemionus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y el jabalí de collar (*Pecari tajacu*). En particular, el valor como trofeo de caza del venado bura de Sonora (*O. h. eremicus*), ha creado una actividad económica que genera una

derrama anual estimada entre 20 y 30 millones de dólares estadounidenses (Valenzuela, 2017).

Las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) requieren de técnicas de monitoreo eficaces que permitan estimar la abundancia de venado bura para guiar a los propietarios en la instrumentación de esfuerzos de manejo. El transecto en franja es el método más utilizado para el monitoreo de venado bura en la región norte del país y es conocido como monitoreo nocturno con luz artificial (Villarreal González, 1999). El método se basa en la definición de densidad poblacional (número de individuos detectados entre el área de muestreo) utilizando el conteo directo de fauna en franjas rectangulares (largas y estrechas) como unidades de muestreo. Los transectos se deben ubicar de forma aleatoria o sistemática aunque en la mayoría de las ocasiones del monitoreo se utilizan los caminos o brechas del sitio.

Actualmente, las nuevas tecnologías como el de uso de drones están impactando en forma directa la vida de las personas y de las organizaciones, transformando incluso la forma en la que una empresa brinda servicios y resuelve problemas del tipo logístico. Un dron es un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) que puede operarse a cualquier hora del día y llegar a lugares inaccesibles. Es por ello de suma importancia conocer las características principales de este tipo de tecnología para extender sus aplicaciones al quehacer productivo y científico (Addati, 2014).

Los sistemas VANT están emergiendo como herramientas poderosas en el área de la ecología y pueden proporcionar nuevos datos de teledetección a escalas espaciales y temporales de mejor resolución (Christie, 2016). A medida que la

tecnología y los marcos legales mejoran, las aplicaciones en investigación se diversifican rápidamente. En este contexto, el uso de esta nueva herramienta para el monitoreo de fauna ofrece una mayor flexibilidad espacial y temporal en donde se puede evaluar el hábitat, distribución y ubicaciones de las especies. Es probable que la utilización de VANT facilite el monitoreo de venado bura (*Odocoileus hemionus*) en zonas no transitadas o terrenos inaccesibles, al detectar eficientemente a individuos o sus indicios.

Para el monitoreo de fauna con el uso de dron se generan transectos rectangulares para obtener fotografías aéreas o video, dando como resultado el conteo de venado bura con información georreferenciada por transectos. En este contexto el estudio intenta explorar la eficiencia con el uso del dron para zonas áridas del estado de Sonora, buscando minimizar el costo-beneficio y la reducción de tiempos y riesgos laborales en el monitoreo de fauna silvestre. Además, se pretende brindar estimaciones precisas de las densidades poblacionales de venado bura mediante observaciones en la UMA del Rancho San Huberto, permitirá a la empresa Idea Geomatica el uso de tecnologías vanguardistas como parte de su portafolio de servicios para desarrollar un mejor método de sustentabilidad y aporte al medio ambiente con la optimización de recursos económicos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento de la demanda cinegética, comercial, cacería furtiva, deterioro y fragmentación del hábitat plantean la necesidad de instrumentar el fomento al incremento de las poblaciones de fauna silvestre y fomentar el mejoramiento de ecosistemas (Owen, 1977).

En la actualidad el aprovechamiento de las especies de fauna silvestre en México se realiza mediante la implementación de UMAs, las cuales son popularizadas en el norte del país con fines cinegéticos para el aprovechamiento y representan una importante alternativa de producción. Anteriormente la mayoría de las tierras eran destinadas a la agricultura y ganadería, pero actualmente los nuevos esquemas de conservación permiten el manejo del hábitat de la fauna silvestre (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, 2005). El manejo de las UMAs requiere de monitoreos constantes de poblaciones de fauna silvestre. Existen varios métodos para la estimación de abundancia poblacional de venados, como son utilizados métodos de conteo directo y métodos de conteo indirecto (Gallina et al. 2014). Los métodos directos se pueden separar en tres categorías: conteo directo de animales detectados visual o auditivamente por esfuerzo de muestreo, marcaje-recaptura; (fototrampeo o anillado de las especies de interés) y reconstrucción de la posible trayectoria poblacional en base a datos obtenidos en la cacería. En el caso de los métodos indirectos destacan: el conteo de huellas, excrementos, madrigueras, cantos, entre los principales (Mandujano, 2011).

La finalidad del monitoreo de fauna silvestre es estimar parámetros poblacionales en determinadas áreas geográficas a través del tiempo. Sin embargo los costos del monitoreo pueden llegar a ser elevados debido a las grandes extensiones que se presentan en las áreas del estado de Sonora. Los monitoreos mediante transectos en franja son realizados en vehículos, vuelos de helicópteros o avionetas. En ese sentido este estudio pretende optimizar el monitoreo de fauna con la herramienta tecnológica del dron. Este método consiste en generar transectos rectangulares para la obtención de fotografías aéreas o video, dando como resultado el conteo de venado bura con información georreferenciada por transectos y evaluaciones observacionales del hábitat. Se hipotetiza que con el método de franjas algunos animales son atraídos hacia las características del transecto mientras que en otros son repelidos por las mismas. El trazo de caminos no está hecho al azar en los ranchos cinegéticos por lo que es posible que la fauna silvestre se encuentre atraída por infraestructura ganadera (comederos y bebederos).

Los vehículos en el monitoreo generan gastos elevados con el uso de combustible y refacciones. La utilización de vehículos aéreos tripulados es muy costosa. Por ejemplo: el uso de un helicóptero cuesta aproximadamente US\$ 1,500 por hora de vuelo y para el uso de avionetas US\$ 395 por cada 25 hectáreas. De esta forma, factores técnicos y económicos justifican el uso de vuelos con dron como apoyo al monitoreo de venado bura. En este contexto, este estudio utilizó un diseño de monitoreo con dron para generar datos poblacionales precisos de la UMA Rancho San Huberto, así mismo lograr la disminución de gastos operativos, sustentabilidad y mejorar el proceso de toma de decisiones del mismo.

1.1. JUSTIFICACIÓN

En los ranchos ganaderos diversificados, la producción combinada de especies ganaderas domésticas, aprovechamiento racional y sostenido de las especies de flora y fauna silvestres nativas o introducidas no solo benefician al venado bura, sino también a toda la fauna silvestre y las especies domésticas que comparten el hábitat. Como resultado, los ranchos cinegéticos pueden constituir verdaderas reservas de los ecosistemas naturales y de la fauna silvestre regional que en ellos habita (Villarreal, 1995).

El venado bura es una de las especies cinegéticas más importantes debido a su valor económico en México. Por ello, es necesario el monitoreo constante para su manejo y aprovechamiento sustentable. Este trabajo evaluó una nueva herramienta tecnológica para el monitoreo de fauna silvestre, con enfoque para el venado bura en zonas áridas del estado de Sonora. Adicionalmente, el monitoreo de venado bura con uso de dron permitirá obtener inventarios de otras especies presentes en el Rancho San Huberto.

Se proyectó que los primeros vuelos de dron obtienen datos más precisos sobre las densidades poblacionales de fauna y evaluaciones de hábitat, para el manejo sustentable de la UMA Rancho San Huberto. Se espera como resultado una reducción de tiempo y riesgos laborales con respecto a los métodos de conteo convencionales incluyendo ahorro de combustible en el recorrido de largas distancias con vehículos, en el pago de personal y sus tiempos laborales y la eliminación de accidentes fatales asociados al uso de avionetas.

1.2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el uso del dron como alternativa viable para la estimación de abundancia del venado bura en zonas áridas de Sonora.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar estimaciones de tamaño poblacional obtenidas mediante el uso de dron y conteos en franjas realizados durante la temporada de caza del venado bura.
- Evaluar la factibilidad económica de la aplicación tecnológica en el monitoreo de venado bura en zonas áridas.

1.4. HIPOTESIS

- El uso de dron facilitará la detección de fauna silvestre para extensas superficies de recorrido en zonas áridas de Sonora.
- La detección de individuos de fauna silvestre con el uso de dron es más eficiente y económica que la detección con el monitoreo convencional por franjas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA)

México es considerado uno de los siete países con mayor biodiversidad en el mundo debido a su posición geográfica. México posee diferentes sistemas ecológicos cuyos tipos de vegetación permiten la existencia de una gran variedad de especies de fauna silvestre. El gobierno federal dentro de sus atribuciones, tiene la responsabilidad de conservar la riqueza biológica, mediante el cumplimiento de leyes y reglamentos en protección del patrimonio natural de la sociedad y economía del país (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), 1997). El Programa de Conservación de Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000, tiene como objetivo general el conservar la biodiversidad de México y crear oportunidades socioeconómicas para el sector rural. Este programa establece la política en la administración de los recursos de la flora y fauna silvestre para el país. En 1997 se estableció el Sistema Nacional de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA) con el propósito de contribuir a las acciones de conservación de la biodiversidad con las necesidades de producción y desarrollo socioeconómico en el sector rural.

2.1.2. Definición de UMA

Un avance significativo en la administración de los recursos de fauna silvestre en México ha sido el establecimiento de las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA). Las UMAs se definen como unidades de

producción o exhibición en un área delimitada que realizan aprovechamiento de productos y subproductos mediante la utilización directa o indirecta de los recursos de la vida silvestre con fines comerciales o cinegéticos que requieren un manejo para su operación (SEMARNAP, 1997). Dentro de este rubro existen dos tipos de UMA: La UMA de manejo de vida libre, que involucra ejemplares o poblaciones de especies que se desarrollan en condiciones naturales, y de la UMA manejo intensivo, que incluye ejemplares o poblaciones de especies en condiciones de cautiverio o confinamiento controlado. Se considera que el aprovechamiento dentro de las UMAs puede ser de manera extractiva o no extractiva (Diario Oficial de la Federación (DOF), 2000).

2.1.3. Objetivos de las UMAs

Las UMAs tienen el objetivo general de la conservación del hábitat natural, poblaciones y ejemplares de especies silvestres. Específicamente, la operación de una UMA busca la restauración, producción recuperación, repoblación, investigación y aprovechamiento entre otras (DOF, 2000).

La UMA deberá contar con un plan de gestión aprobado por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), el cual deberá contener el desarrollo sus actividades: descripción del área de estudio (condiciones topografías, físicas, forestales, biológicas, de vigilancia, planes de contingencia, mejoramiento del hábitat, éxito reproductivo y calendario de actividades), que deberán presentar periódicamente para su evaluación (SEMARNAT, 2002).

2.1.4. La Cacería deportiva en México y Sonora

Las actividades de cacería deportiva han sido generadoras de empleo y de ingresos económicos en diversos países. La derrama económica que produce la cacería deportiva tiene un gran impacto económico anual en el producto de la región norte de México, aportando 2,900 millones de pesos (Guajardo et al. 2004).

La cacería deportiva se practica desde hace más de tres décadas en Sonora y se encuentra a un nivel competitivo internacional debido a la gran experiencia, infraestructura y criadores de fauna silvestre. Las empresas dedicadas a la caza gestionan todos los servicios, desde la obtención de sus licencias, gestión de armas de fuego, traslados terrestres, recepción, hospedaje, alimentación, preparación de sus piezas de caza y trofeos (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGARPHA), 2016). Muchas UMAs en Sonora cuentan con presencia de venado bura, especie muy valorada por el turista cinegético. Consecuentemente Sonora obtiene un promedio de 1,800 cintillos de cobro para venado bura por temporada. El cintillo de cobro cinegético es el mecanismo que implementó la autoridad con el fin de garantizar que la pieza cobrada fue legalmente cazada, de acuerdo a la autorización de aprovechamiento correspondiente.

2.1.5. Objetivos del programa de monitoreo

Los planes de manejo para el monitoreo del hábitat de la fauna silvestre incluyen, objetivos a lograr para alcanzar la meta, un plan de implementación de prácticas de manejo, un calendario de implementación de prácticas de manejo, los logros principales, y la evaluación del avance del programa (Figura 1).

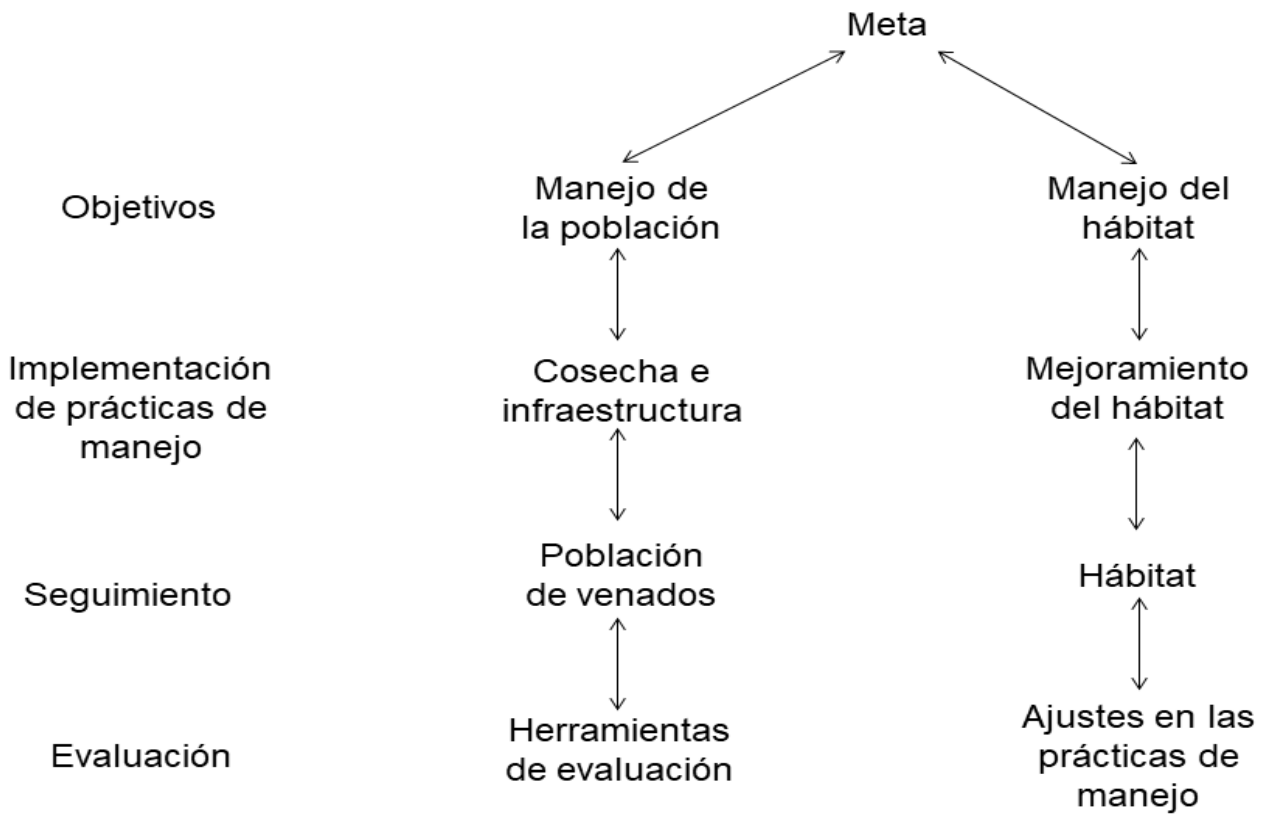


Figura 1. Objetivos del programa de monitoreo.

2.2. Métodos de estimación de abundancia de fauna silvestre

2.2.1. Método de conteo directo en transectos de franja

Este método es uno de los más ampliamente empleados en México para la estimación de abundancia de venado bura. En el norte del país donde es conocido como muestreo nocturno con luz artificial (Villarreal, 1999). El transecto de franja es una unidad de muestreo rectangular larga y estrecha (Figura 2).

El ancho a cada lado de la línea media del transecto (w) se debe establecer antes de iniciar el muestreo. De acuerdo al ejemplo de la Figura 2, si se mantiene el ancho de observación serían ocho animales los que se contarían en ese transecto, pero si no se respeta ese ancho y se cuentan animales fuera del mismo (círculos blancos) entonces se sobreestimaré la densidad. La visibilidad es el principal factor que determina este ancho. A su vez, la visibilidad es afectada por: cobertura vegetal, relieve, hora (día, noche) y técnica de muestreo (a pie, caballo, vehículo terrestre o aéreo).

Los principales supuestos de este método son: 1) solo se debe contar a los venados buras que están dentro del ancho previamente definido, y 2) se debe tener la certeza de contar al 100% de los venados que están dentro del transecto de franja y de que no se repita ninguna observación. Si no se cumplen estos supuestos la estimación de la densidad estará sesgada. Para estimar la densidad se debe emplear la siguiente fórmula:

$$\hat{D} = \frac{n}{2wL}$$

donde n es el número de animales contados, L es el largo total del transecto, y w es el ancho del transecto a cada lado de la línea media donde el producto $2wL$ es la superficie muestreada (A). Si se tienen varios transectos y cada uno de diferente tamaño, entonces el largo total simplemente es la sumatoria de las longitudes de todos los transectos. Al estimador \hat{D} descrito anteriormente se le llama comúnmente el estimador “ingenuo” de densidad, porque ignora que la detección de animales es imperfecta dentro de la superficie muestreada.

Los transectos se deben ubicar de forma aleatoria o sistemática de acuerdo al tipo de vegetación, aprovechando caminos y brechas. El número de transectos estará ligado al área, tipos de hábitat y visibilidad de la UMA. Se aconseja muestrear la mayor área posible para la detección de la fauna silvestre, con periodicidad mensual para detectar el cambio de las densidades, o durante la temporada de otoño e invierno, cuando las crías pueden ser detectadas. Los datos de campo incluyen el número de transectos muestreados y el número de venados observados en cada transecto (Gallina et. al. 1993, 1995).

Una de las principales limitantes en el transecto de franja es cuando el ancho de banda es muy grande y por consecuente se tienen estimaciones sesgadas. Para ello se deberá reducir el ancho del transecto para asegurar la visibilidad de la fauna silvestre. Otro factor importante es la vegetación que se encuentra en el área de estudio, ya que de la misma depende la visibilidad y por último la topografía del sitio juega un papel fundamental ya que el acceso de la misma permite el monitoreo para su estimación (Gallina et. al. 1993, 1995).

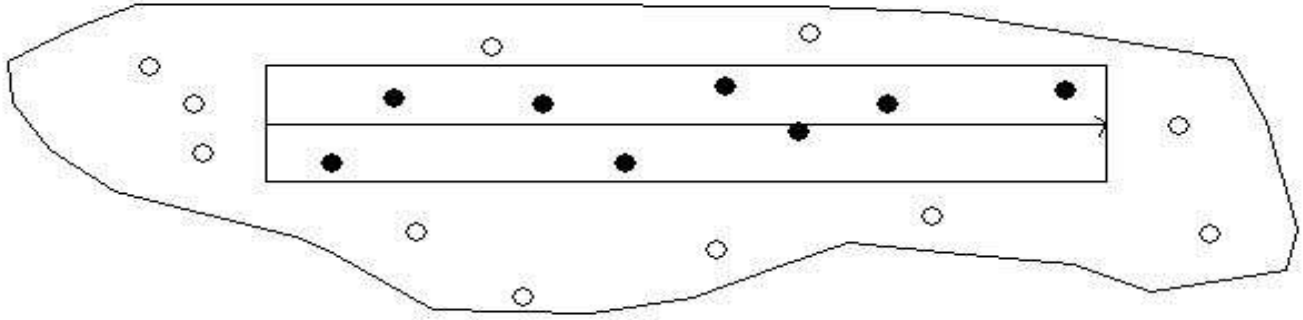


Figura 2. Representación gráfica de un transecto de franja. El método realiza un conteo de individuos recorriendo una trayectoria (representado con una flecha negra), incluyendo sólo los individuos detectados dentro del rectángulo (puntos negros) y excluyendo aquellos fuera del rectángulo (puntos blancos).

2.2.2. Método de estimación utilizado para monitoreo de fauna silvestre mediante el uso de vehículos aéreos tripulados

Los métodos para estimar la densidad de fauna silvestre a menudo subestiman la densidad poblacional, debido a no poder observar a todos los animales presentes en las unidades (Otis et. al. 1978). La implementación de estos métodos también puede ser costosa cuando se deben capturar y marcar un gran número de animales. Los transectos de línea aérea son una posible alternativa para estimar la densidad animal (Burnham et. al. 1980). El transecto de línea requiere un esfuerzo mínimo para establecer y lo que es más importante, permite observar a la fauna silvestre que no esté directamente en la franja central (Burnham et. al. 1980). En Woodland, California, se realizó la estimación de venados bura mediante transectos de franjas aéreas con helicóptero en sitios confinados con el objetivo de probar la precisión de las estimaciones de buros con el método de transecto en franja, contra transectos de franja aérea.

De igual manera se realizan estudios en encierros que contenían densidades conocidas de venados bura durante los meses de enero, febrero y diciembre de 1994, entre otros años (Bartmann et. al. 1986).

2.2.3. Uso de dron para monitoreo de fauna silvestre

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado que puede operarse a cualquier hora del día y llegar a lugares inaccesibles. Es por ello de suma importancia conocer las características principales de este tipo de tecnología para extender sus aplicaciones al trabajo productivo y científico (Addati, 2014). Un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT o UAV por sus siglas en inglés) es una aeronave que vuela sin

tripulación. Esta es una categoría amplia que podría incluir cualquier objeto, desde un avión a control remoto hasta un avión comercial o de carga sin piloto (González, 2017).

Existe una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los VANT's. En este sentido se menciona que se han creado dos variantes: algunos son controlados desde una ubicación remota y otros vuelan de forma autónoma sobre la base de planes de vuelo preprogramados usando automatización dinámica. Los sistemas VANT están emergiendo como herramientas poderosas en la ecología y pueden proporcionar nuevos datos de teledetección a escalas espaciales y temporales de mejor calidad (Christie, 2016).

A medida que la tecnología y los marcos regulatorios mejoran, las aplicaciones de investigación se diversifican rápidamente y es probable que los estudios que incorporan esta tecnología se expandan en el futuro.

Recientemente, los VANT se han utilizado para llevar a cabo estas funciones clave y para capturar datos que anteriormente eran difíciles de recolectar utilizando aviones tripulados (Barrientos, 2007).

Diversos investigadores en el ámbito de la ingeniería civil han abordado el tema del análisis de la superficie terrestre a través de VANTs, el cual ampliamente nos ofrece una visión somera (De Madrid, 2015).

Los vehículos aéreos no tripulados representan una nueva frontera para la investigación ambiental, el uso de esta tecnología tiene el potencial de revolucionar el campo y de mejorar la calidad de los datos o la facilidad con la que se recopilan respecto a los métodos tradicionales (Hodgson, 2016).

2.2.4. Estudios previos de monitoreo de venado bura en zonas áridas

Arroyo Ortega (2018) encontró que una relación lineal positiva entre fecha y conteos de venado durante la temporada de cacería. A su vez, no encontró evidencia de que la suplementación de agua incrementa la frecuencia de uso de las estaciones de fototrampeo por el venado bura. Sin embargo, este autor encontró evidencia de que la suplementación de alimento incrementa la frecuencia de uso de las estaciones de fototrampeo por el venado bura. De igual manera se encontró que la biomasa de la vegetación (medida como el Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada) no influye sobre la frecuencia de uso de bebederos y comederos.

Los resultados anteriores aportan evidencia la cual manifiesta la suplementación artificial de fuentes de agua y alimento incrementan la permanencia de los venados bura machos en la UMA San Huberto, al fomentar la ocurrencia de venados bura en los comederos (Arroyo et. al. 2018).

El venado bura tiene rangos de distribución más extensos en hábitats donde la topografía no es compleja y la vegetación es abierta en comparación con las áreas de distribución pequeñas y sitios cerrados por la vegetación (Mackie et al. 2003), por lo que las zonas áridas son apropiadas para encontrar las mayores densidades de venado bura y con mayor rango de distribución.

Estudios realizados en Coahuila y Nuevo León informan que la ausencia de venado bura está relacionada con la presencia de ganado y el deterioro de los pastos por sobrepastoreo (Martínez-Muñoz et al. 2003).

2.2.5. Estudios de monitoreo con uso de dron

El uso de drones en México para el monitoreo de fauna y hábitats aún es incipiente, pero se encuentra en desarrollo para el uso de esta nueva herramienta. Mandujano et al (2017) realizó un proyecto enfocado a tres objetivos principales: 1) adquisición de equipo, montaje de sistemas y el fortalecimiento en las habilidades prácticas; 2) obtención de experiencia en las diferentes facetas que implica el uso de esta tecnología, tales como la búsqueda de literatura científica y tecnológica del tema, aprendizaje en la programación de los diferentes sistemas manuales y automatizados; y 3) posible aplicación de esta tecnología en las regiones de Actopan, Veracruz y la Reserva de Biosfera Tehuacán Cuicatlán en Puebla y Oaxaca para monitorear especies como el venado cola blanca y su hábitat en UMAs extensivas.

Michel et. al. (2014) realizó estudios para el monitoreo de fauna silvestre y la selección de un dron mediante pruebas en las Islas de Shetland, Noruega, durante enero y febrero del 2011 y 2013, quien seleccionó el modelo APH-22 (*Unmanned Aircraft Systems*) como el más apropiado de acuerdo con sus calidades de equilibrio, potencia, estabilidad y resistencia para todas las misiones en Cabo Shirreff. Durante los vuelos, los grupos de pingüinos se observaron fácilmente desde 60 m de altitud para su conteo, se pudieron detectar objetos de aproximadamente 2 cm² desde 45 m, para el muestreo. Este mismo estudio arrojó que no existen diferencias significativas entre los conteos terrestres y aéreos de polluelos en 2011. El conteo terrestre y aéreo del total de nidos en 2013 estuvieron dentro de un 5% entre sí. Sin embargo, los conteos terrestres para subcolonias individuales fueron más altos que los conteos aéreos (Michael et al. 2014).

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción de la Especie de Estudio

El venado bura (*Odocoileus hemionus*) se distribuye en la región oeste de América del Norte, de los 23° a los 60° de latitud norte, siendo el registro más sureño en San Luis Potosí, México (Anderson y Wallmo, 1984). Se considera que se encuentran 6 subespecies de venado bura en México: 1) *O. h. crooki* en el Desierto Chihuahuense, aunque actualmente está en discusión si es una subespecie porque el tipo fue descrito de un híbrido entre bura y cola blanca (Heffelfinger, 2000); 2) *O. h. eremicus* en Sonora, 3) *O. h. sheldoni* en la Isla Tiburón; 4) *O. h. cerrosensis* en la Isla Cedros; 5) *O. h. peninsulae* en el sur de la península de Baja California y 6) *O. h. fuliginatus* en el norte (Latch et. al. 2009). El venado bura del desierto habita terrenos con escasa vegetación en las áreas desérticas más desoladas de México (Ceballos y Oliva, 2005). El venado bura de Baja California, prefiere un hábitat con vegetación más densa como chaparral de encino y bosques de pino (Galindo-Leal, 1993). El venado bura de Sonora (*O. h. eremicus*) se caracteriza por ser un ciervo de gran tamaño. El peso de los machos varía de 64–114 kg y el de las hembras, de 45–70 kg (Anderson y Wallmo, 1984). Su longitud varía de 1300 a 1600 mm; orejas relativamente largas, cola angosta y pequeña con un largo que varía de 115 a 190 mm y colores que van del blanco al negro en la parte dorsal y un mechón negro en la punta. El color del cuerpo es gris o café oscuro y blanco en la parte ventral (Figura 3).



Figura 3. Venado bura de Sonora (*O. h. eremicus*) detectado por una cámara-trampa en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.

Los machos de venado bura, mudan sus astas cada año las cuales se ramifican dicotómicamente (Anderson y Wallmo, 1984). El venado bura posee una glándula metatarsal en la parte exterior de cada pierna trasera justamente abajo de la corva, de 40 mm de largo y una glándula grande pre-orbital en el hueso del hueco lagrimal. Estas glándulas segregan feromonas que sirven para marcar el territorio y para señalar su presencia sobre todo en la época de reproducción (Anderson y Walmo, 1984).

El venado bura vive la mayor parte del año en pequeños grupos. Las hembras adultas, sus cervatillos y subadultos tienden a formar unidades sociales estables de dos a seis individuos. Los machos se reúnen en pequeñas manadas de igual tamaño. La segregación de hembras y machos adultos nunca es completa pues algunos machos, especialmente los jóvenes, se asocian regularmente con las hembras y algunos venados de cualquier sexo pueden vivir enteramente solos (Guth, 1987). El tamaño del área de actividad de los venados bura es mayor en ambientes más áridos del oeste de Sonora (27.3 km²) que en la zona central del estado (14.5 km²). La cobertura térmica, la cobertura del suelo y el porcentaje de gravilla en el suelo son las variables que determinan el uso de hábitat por el venado bura del desierto, seleccionando vegetación xerófita-riparia y sitios cercanos al agua. Las fuentes de agua influyen en la permanencia del venado bura en praderas de buffel a pesar de no existir cobertura y ni forraje de arbustos y árboles (Alcalá, 2005).

Las hembras paren por primera vez durante su segundo año de vida, aunque rara vez lo hacen en el primer año. La época de reproducción inicia a principios de noviembre hasta finales de febrero aunque el pico de reproducción ocurre de finales

de noviembre hacia mediados de diciembre. La duración de la gestación es de 200 a 208 días. Los nacimientos ocurren desde mediados de junio hasta principios de julio. Los cervatos pesan al nacer entre 2.7 y 4.0 kg. El promedio de nacimientos por hembra por año es de 1.14 a 1.85, dependiendo de la calidad de su nutrición (Anderson y Wallmo 1984). El venado bura es polígamo, donde el macho dominante sigue a las hembras en estro y es el que copula desplazando a otros machos (Geist, 1998). El venado bura come una gran variedad de arbustos y hierbas, los cuales constituyen una gran parte de su dieta (>90%). Pastos y suculentas constituyen menos del 5% de la dieta. Los cambios en los niveles de nutrientes así como la influencia climática sobre la disponibilidad relativa y fenología de las plantas, pueden influir sobre la composición de la dieta sus alimentos principales en el verano son pastos verdes y diversas hierbas.

En invierno o en tiempos de sequía, el venado bura come renuevos y yemas de arbustos y árboles (Krausman et al. 1997). En el desierto Sonorense, algunas de sus preferencias son el palo fierro (*Olneya tesota*), chamizo (*Atriplex canescens*) y palo verde (*Parkinsonia spp.*). También consumen ocasionalmente los frutos de algunos cactus y éstos solucionan las exigencias del agua en las zonas desérticas (Geist, 1998). Un venado bura necesita comer de 1.5 a 2.0 kg de materia seca por día para conservarse en buena condición (Leopold, 1963). El agua es un factor limitante que influye en los movimientos del venado bura, por lo que la cantidad y distribución de las fuentes de agua afectan la distribución del venado en ambientes áridos. En el suroeste de Estados Unidos de América, el venado bura se encuentra donde tiene agua dentro de un radio de 2.6 km (Boroski y Mossman, 1996). Otro factor limitante es la depredación como el puma (*Puma concolor*) y el coyote (*Canis*

latrans) que se alimentan de algunos cervatillos, aunque su efecto sobre el tamaño poblacional del venado bura no son apreciables (Leopold, 1963).

3.2. Descripción del Área de Estudio

La UMA “Rancho San Huberto” se localiza en el extremo sur del Municipio de Pitiquito, Sonora (Figura 4) con una superficie de 18,083 ha. La principal actividad que se desarrolla en la UMA Rancho San Huberto es la cacería deportiva. El tipo de suelo, vegetación y topografía presentes en la UMA dificultan el desarrollo de otras actividades productivas incluyendo la agricultura, ganadería y aprovechamiento forestal. Sin embargo, la ganadería es la actividad económica más importante en la región.

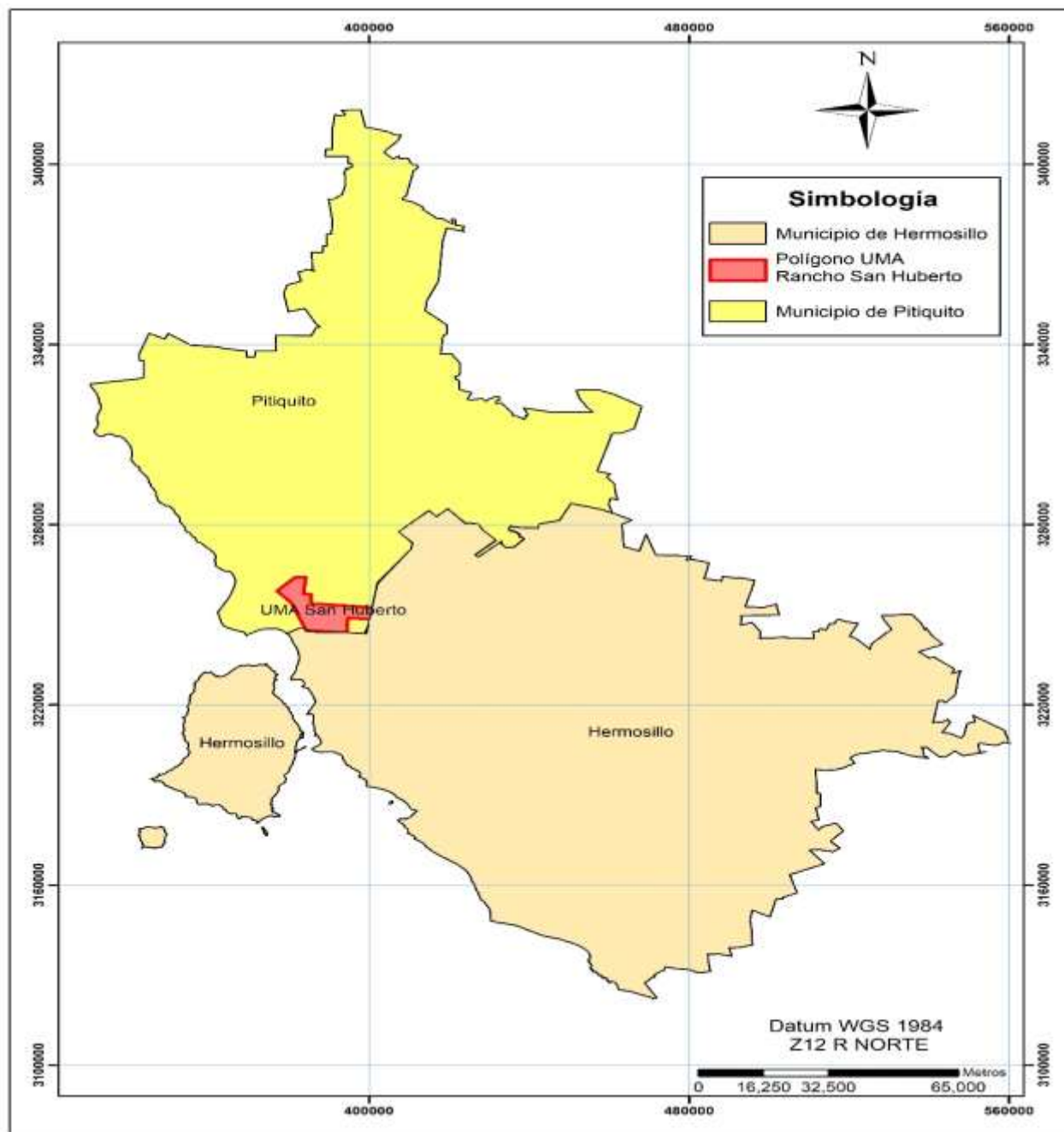


Figura 4. Ubicación de la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.

3.3. Clima

El área de estudio se localiza en la planicie costera de Sonora y se presentan dos tipos de clima según la clasificación de Köppen, (1936) modificado por García (1964): BW (h') w y BW (h') x, considerados como clima desértico y clima árido respectivamente, con precipitaciones de verano inferiores a 400 mm y temperatura media anual superior a 18°C (CONABIO ,1998).

3.4. Topografía

A continuación se realiza la descripción topográfica de la UMA según el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI, 1975) (Figura 5). El 65% de la superficie es representada por planos y lomeríos muy suaves de topografía uniforme y compleja de 0–6% de pendiente. El área de la UMA se encuentra en altitudes que varían de 50 a 700 m. Los suelos son de origen insitu, aluvial, coluvial y marinos, de profundos (más de 50 cm) a medios (25 a 50 cm), con coloración castaño claro, castaño rojizo claro y castaño grisáceo claro. La textura es areno–limosa, franco–arenosa y areno–arcillosa principalmente de drenaje interno rápido. La pedregosidad y la rocosidad son casi nulas, presentando erosión hídrica laminar y eólica. El 35% de la superficie restante de la UMA está formada por planos inclinados, lomeríos bajos, medianos y altos y cerriles, de topografía compleja, cuya pendiente varía de 0–6%, quedando comprendidos dentro de las clases “a nivel” a “muy fuerte”. Se localiza en altitudes que varían de 0 a 900 m. Su formación es de origen aluvial, coluvial e in-situ.

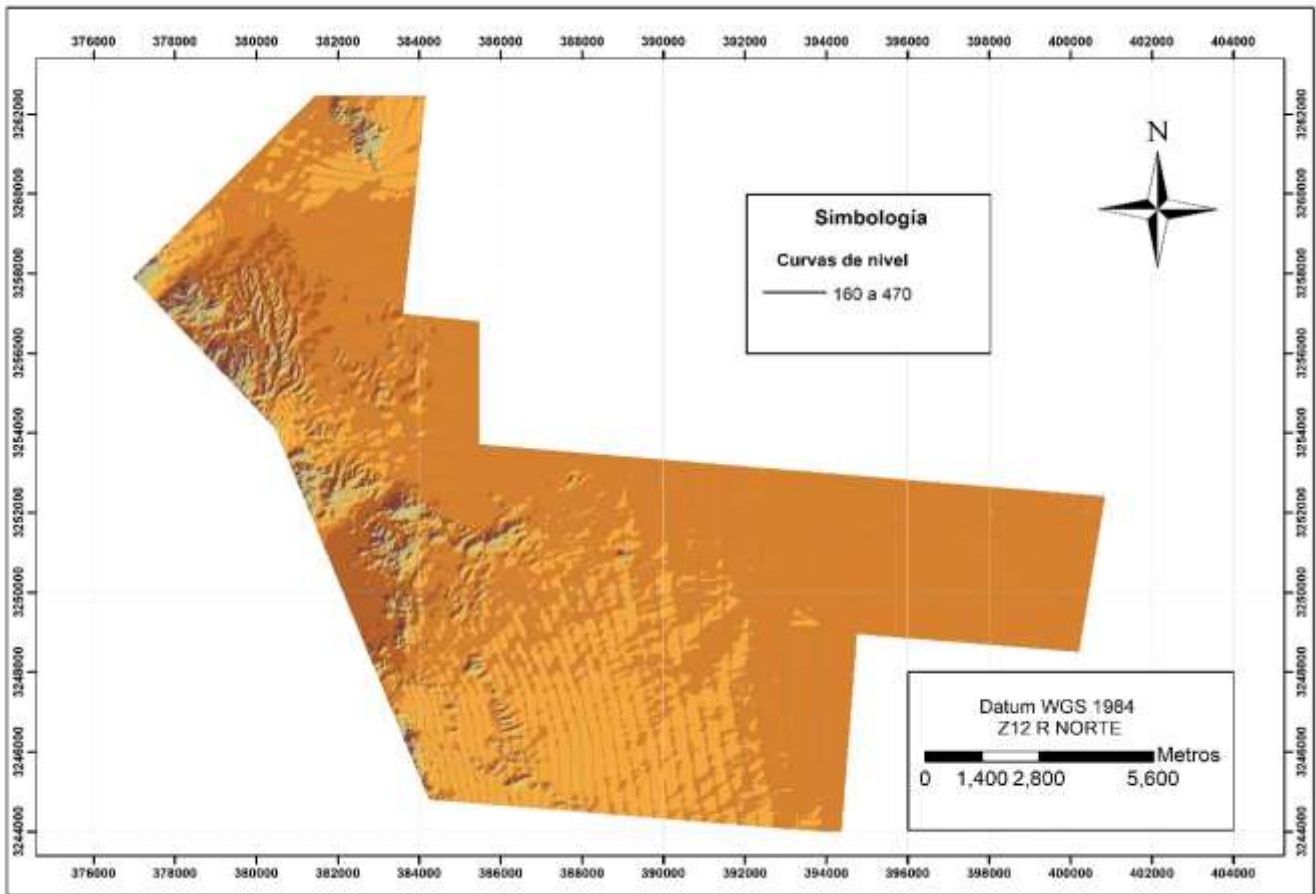


Figura 5. Topografía de la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.

3.5. Hábitat del venado bura

El hábitat del venado bura en la UMA “Rancho San Huberto” incluye los siguientes tipos de vegetación (INEGI, 2007) (Figura 6):

- Matorral Desértico Micrófilo: Este tipo de vegetación está presente en la parte plana, baja y en lomeríos suaves, principalmente constituida por una asociación de pequeños arbustos como gobernadora (*Larrea tridentata*), franseria (*Franseria deltoidea*); ocotillo (*Fouquieria splendens*) y rama blanca (*Encelia farinosa*), por otra parte cactáceas como sahuaro (*Carnegiea gigantea*), pitahaya (*Stenocereus thurberi*) y choyas (*Opuntias spp.*). El estrato bajo de la vegetación está constituido principalmente por gramíneas anuales como zacate liebrero (*Bouteloua barbata*).
- Matorral Sarcocaulo: Este tipo de vegetación se presenta en lomeríos medianos, altos, cerriles y está constituido por una asociación de arbustos bajos y medianos, de tallo blando, como: matacora (*Jatropha cuneata*), lomboy (*Jatropha cinerea*) y árboles bajos de hojas pequeñas como: copal (*Bursera hindsiana*), torote blanco (*Bursera microphyla*) o leñoso como palo verde (*Parkinsonia microphyllum*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), asociadas con cactáceas bajas y altas como choya saltona (*Opuntia biyelovii*) y cardón (*Pachycereus pringley*).
- Mezquital: Se encuentra en área de arroyos de carácter intermitentes como, mezquite (*Prosopis glandulosa*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y rama blanca (*Encelia farinosa*). En el estrato bajo gramíneas anuales como zacate liebrero (*Bouteloua barbata*) y zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*).

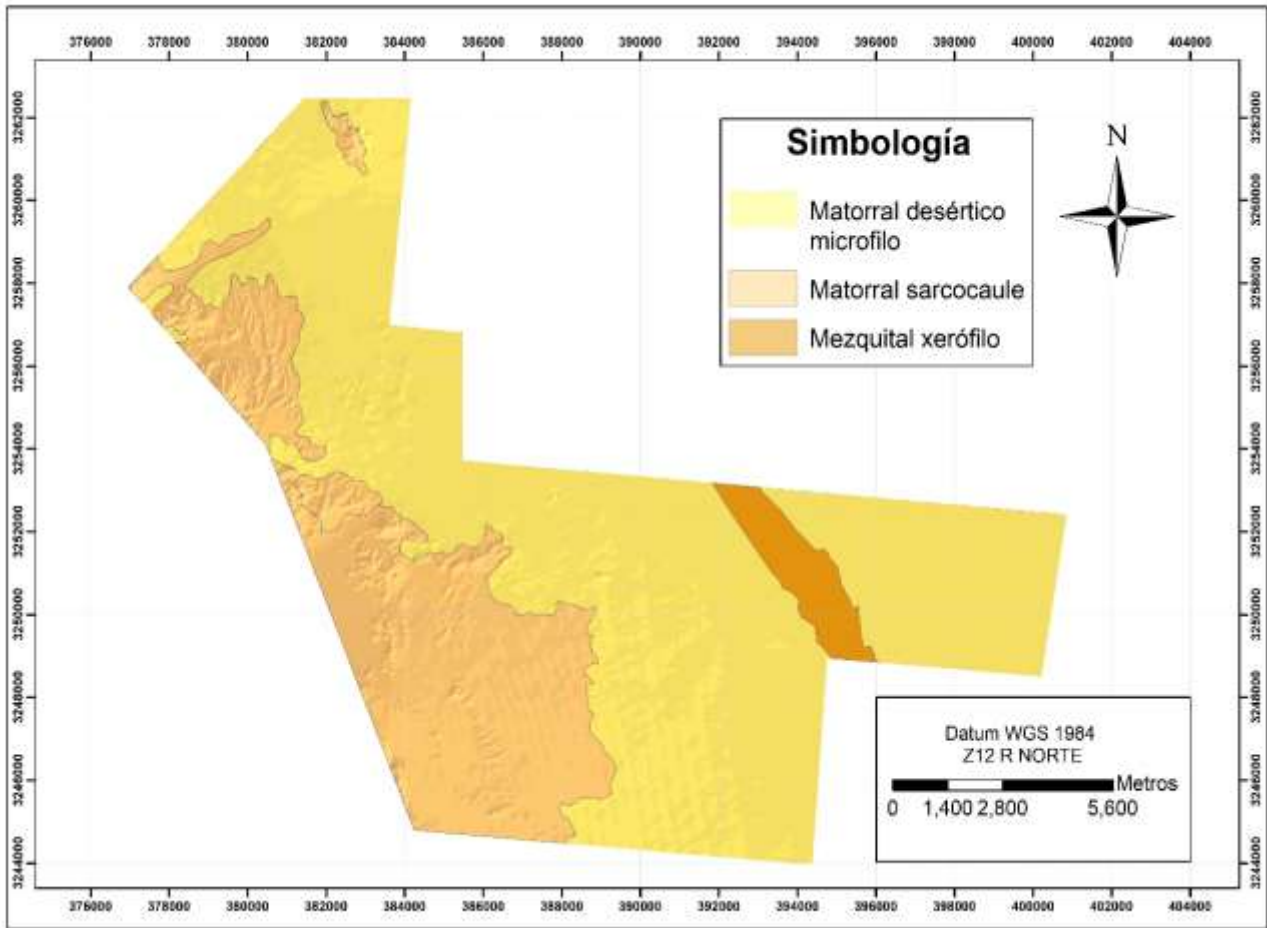


Figura 6. Distribución de los tipos de vegetación (INEGI, 2017) en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.

3.6. Muestreo de transectos por franjas

Este método consiste en realizar recorridos en parcelas rectangulares las cuales se recorren longitudinalmente una sola vez (Villarreal, 1999). Tradicionalmente este método se considera para el conteo directo de animales. Se requiere de varios observadores que se encuentran realizando recorridos en vehículo y anotando la observación de los individuos detectados durante el monitoreo. Este muestreo se realizó como parte de las búsquedas de trofeos durante la temporada de cacerías 2018-2019 y 2019-2020. De esta forma, los números de transectos y sus longitudes son predeterminados por la demanda y necesidades de los cazadores. La estimación de las distancias de detección se realizó mediante estimación ocular del posicionamiento del individuo.

3.7. Monitoreo de transectos con dron

Se utilizó el dron Mavic 2 Pro® (DJI) que cuenta con un controlador de vuelo, sistema de visión, transmisión de video, sistema de propulsión y una batería de vuelo inteligente. Además este dron cuenta con un estabilizador de 3 ejes permite capturar imágenes y videos nítidos y estables, ofreciendo un rango de inclinación entre -90° y $+30^{\circ}$. La cámara cuenta con sensor CMOS de 1" (desarrollada conjuntamente por DJI y Hasselblad) para un objetivo ajustable de rango de F2.8 a F11 con enfoque automático 1- ∞ m y graba videos a una resolución de 4 K y toma fotografías a una resolución de 20 MP.

Se seleccionaron 53 sitios aleatoriamente dentro de los límites de la UMA San Huberto cada una de las temporadas 2018-2019 y 2019-2020 (Figura 7). La

longitud de los transectos dependió de la topografía y varió de 0.5-3.0 km debido a la recepción de la señal entre dron y control remoto. Cada vuelo se dirigió de manera manual con la orientación de E-O, contrario de la salida del sol, para que luminosidad del sol de la mañana no impida la visualización en campo. Se grabó video de cada transecto para ser examinado en gabinete y registrar las detecciones de venado bura en formatos predeterminados. La estimación de las distancias de detección se realizó mediante el alcance que se obtiene de la altura y observación en rango de ancho apoyado por la estimación ocular.

Se realizaron tres transectos con drón dentro del encierro con densidad conocida (8 individuos en 4 ha) en la UMA Los Buros (Municipio de Hermosillo) para determinar la exactitud y precisión de las estimaciones de densidad poblacional usando drón

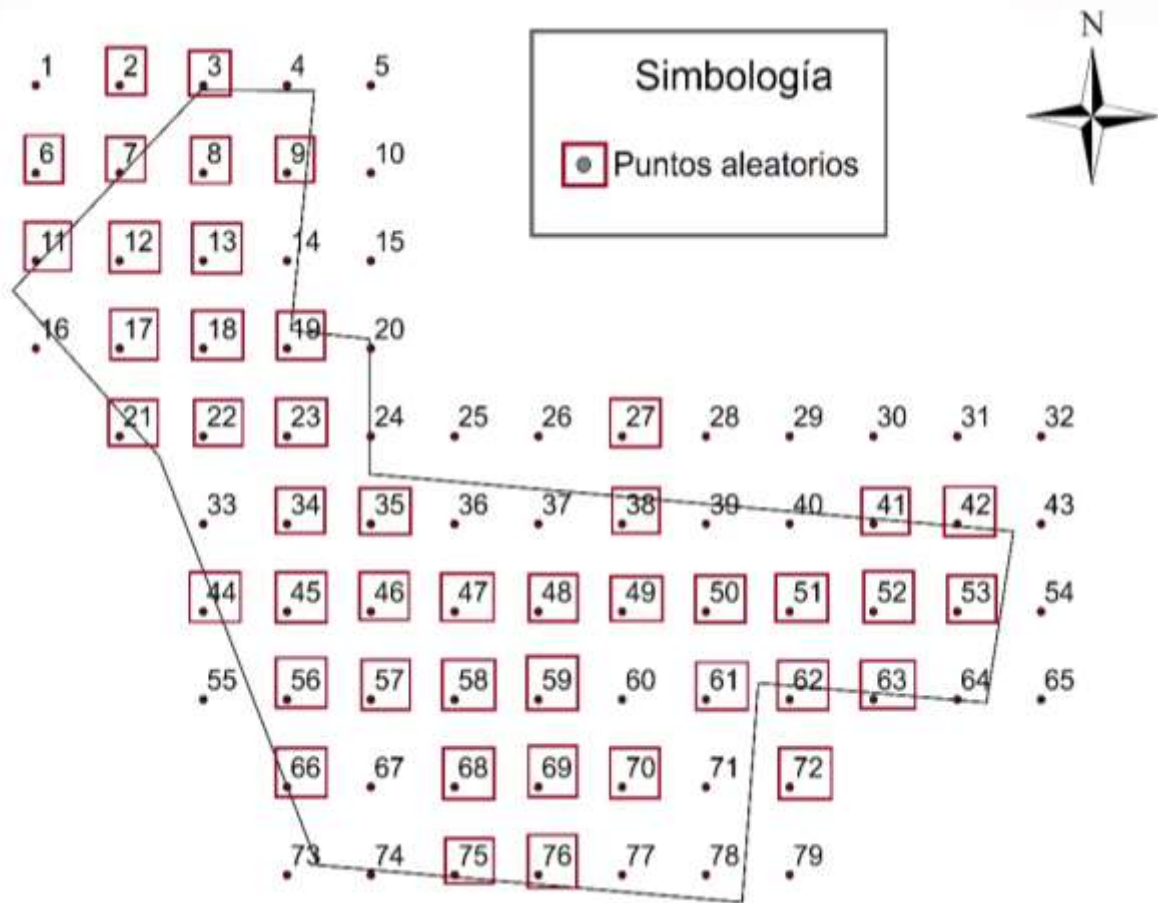


Figura 7. Puntos aleatorios seleccionados en la UMA Rancho San Huberto, Municipio de Pitiquito, Sonora.

3.8. Análisis estadístico

La estimación de la densidad poblacional (individuos por unidad de área) de venado bura se realizó por año (2019 y 2020) y por método (transectos en vehículo y transectos con drón) utilizando los estimadores de muestreo por distancia (*distance sampling*, Buckland et al. 2001) usando transectos lineales. El observador recorre transectos lineales con una longitud total L y detecta n grupos de animales con tamaños de grupo s_1, s_2, \dots, s_n individuos, que son detectados a distancias y_1, y_2, \dots, y_n desde ambos lados del transecto, respectivamente. Las distancias de detección son utilizadas para estimar los parámetros de la función de detección. La función de detección ($g(y)$) es la probabilidad de detectar a un grupo de animales presente a una distancia perpendicular y del transecto. De esta forma, el estimador de densidad es:

$$\hat{D} = \frac{n\widehat{f(0)}\bar{s}}{L}$$

y su varianza muestral (asumiendo distribución Poisson de conteos) es:

$$\sigma_{\hat{D}}^2 = \hat{D}^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\text{Var}(\widehat{f(0)})}{\widehat{f(0)}^2} + \frac{\text{Var}(\bar{s})}{\bar{s}^2} \right)$$

donde $f(0)$ es la función densidad de probabilidad de las distancias de detección evaluada en cero. Las funciones de detección normalmente se estiman con las distancias de detección observadas y se sujetan a un proceso de selección de modelos (Burnham y Anderson 1998) para seleccionar al mejor modelo para $g(y)$. Este proceso es posible si se tiene un número suficientemente grande de detecciones ($n > 60$, Buckland et al. 2001). Sin embargo, el número de detecciones en este estudio fue escaso. Se asumió una función de detección seminormal sin

expansión serial, la cual ha es adecuada para describir la detección de *O. hemionus* en ecosistemas áridos (Kiana et al. 2002). Los estimadores de $f(0)$ y su varianza muestral para la función de detección seminormal se estiman mediante las expresiones (Buckland et al. 2001):

$$\widehat{f(0)} = \left(\frac{2n}{\pi \sum_{i=1}^n y_i^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Var}(\widehat{f(0)}) = \frac{1}{2n} \widehat{f(0)}$$

Se usaron intervalos de confianza basados en la distribución log-normal (Buckland et al. 2001) para enunciar diferencias en densidad poblacional entre años y métodos:

$$\text{IC95\%}(D) = \left[\frac{\widehat{D}}{C}, C\widehat{D} \right]$$

donde

$$C = e^{1.96\sigma_{\log\widehat{D}}}$$

$$\sigma_{\log\widehat{D}} = \left(\log \left(1 + \frac{\sigma_{\widehat{D}}^2}{\widehat{D}^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Esfuerzo de muestreo y detección de venados bura

Los transectos por franja en vehículo produjeron numerosas detecciones de venado bura en la UMA San Huberto durante dos temporadas de cacería. Para la temporada 2018-2019, se detectaron $n = 9$ grupos que incluyeron 53 venados bura en una longitud de transectos total de 798.2 km durante 94:30 h de muestreo (Figura 8). Para la temporada 2019-2020, se detectaron 19 grupos que incluyeron 69 de individuos en una longitud de transectos total 537.1 km durante 66:20 h de muestreo (Figura 9). El tamaño promedio de grupo fue 2.94 ± 0.40 individuos-grupo⁻¹.

Las detecciones de venado bura en transectos lineales realizados mediante el uso del dron fueron escasas en la UMA San Huberto (Figuras 10-11). Para la temporada 2018-2019, se detectó $n = 1$ grupos de un individuo de venado bura en una longitud total de 58.4 km durante 03:00 h de vuelo (Figura 13). Para la temporada 2019-2020, se detectaron $n = 3$ grupos que incluyeron 6 individuos de venado bura en una longitud total de 24.8 km en 06:00 horas de vuelo (Figura 14). Como referencia se realizaron varios vuelos de dron en encierro de venados bura de la UMA Los Buros con una superficie y número de animales conocida. 4 ha, ($D = 2$ individuos·ha⁻¹) con los siguientes resultados produjeron 3 detecciones que incluyeron 6 venados en una longitud total de transecto de 256 m (Figura 15). El tamaño promedio de grupo para los transectos de dron fue 1.86 ± 0.46 individuos-grupo⁻¹ (Anexo 1).

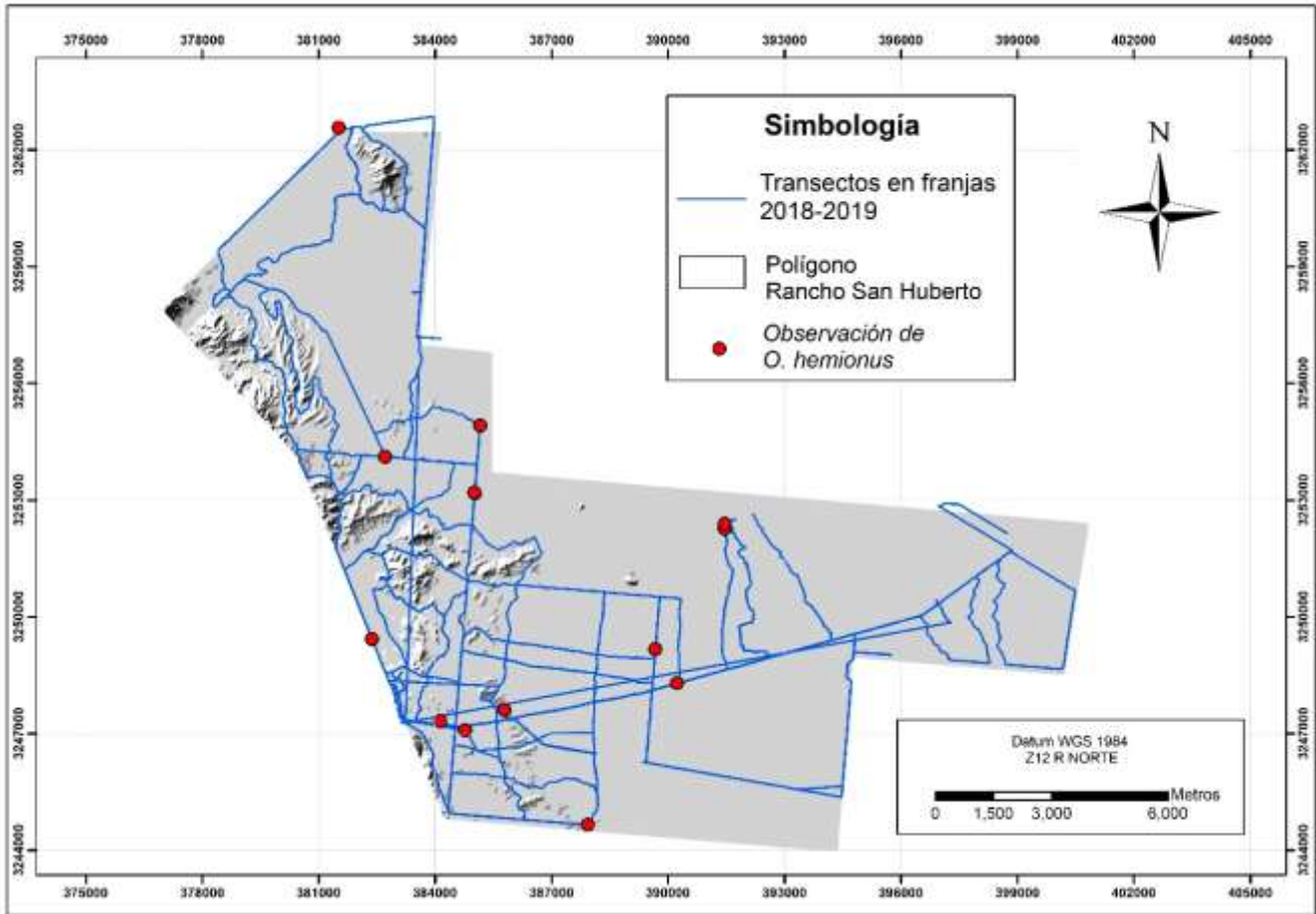


Figura 8. Transectos por franjas en vehículo y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2018-2019 en la UMA Rancho San Huberto.

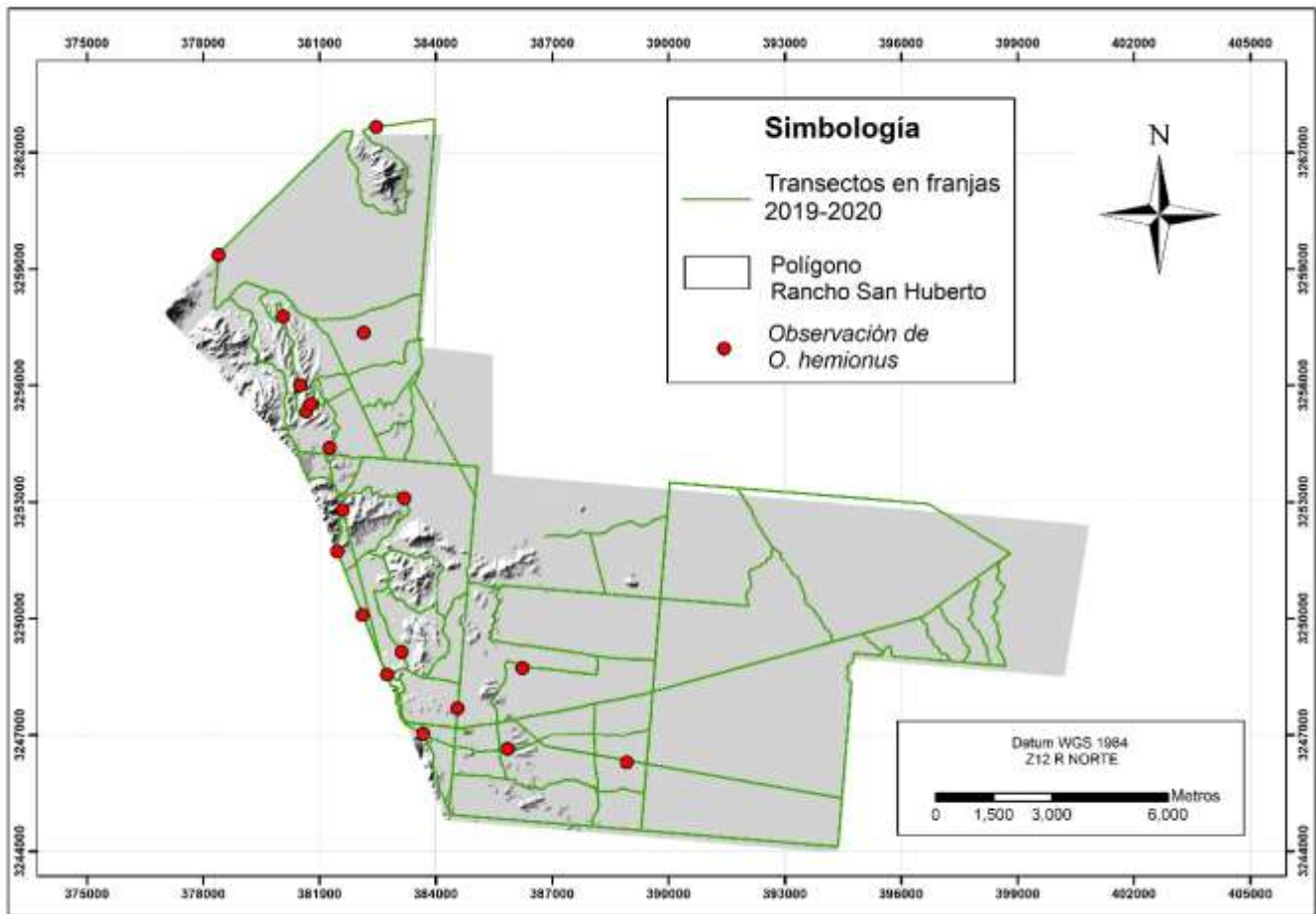


Figura 9. Transectos por franjas en vehículo y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2019-2020 en la UMA Rancho San Huberto.



Figura 10. Hembras de venado bura observadas por dron en la UMA Rancho San Huberto.



Figura 11. Macho de venado bura detectado por dron en la UMA Rancho San Huberto.



Figura 12. Macho de venado bura detectado por dron en la UMA Rancho San Huberto.

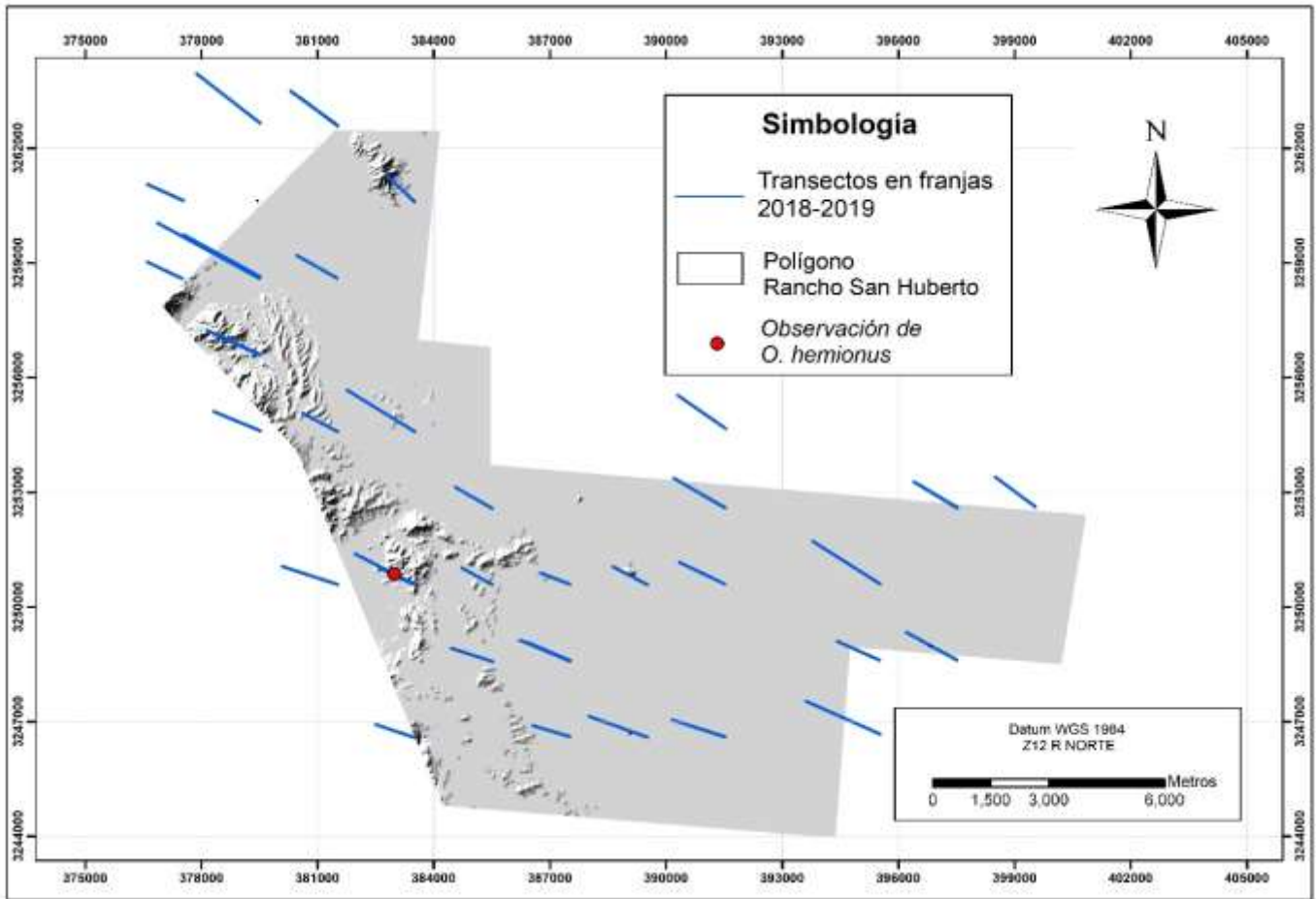


Figura 13. Transectos por franjas con dron y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2018-2019 en la UMA Rancho San Huberto.

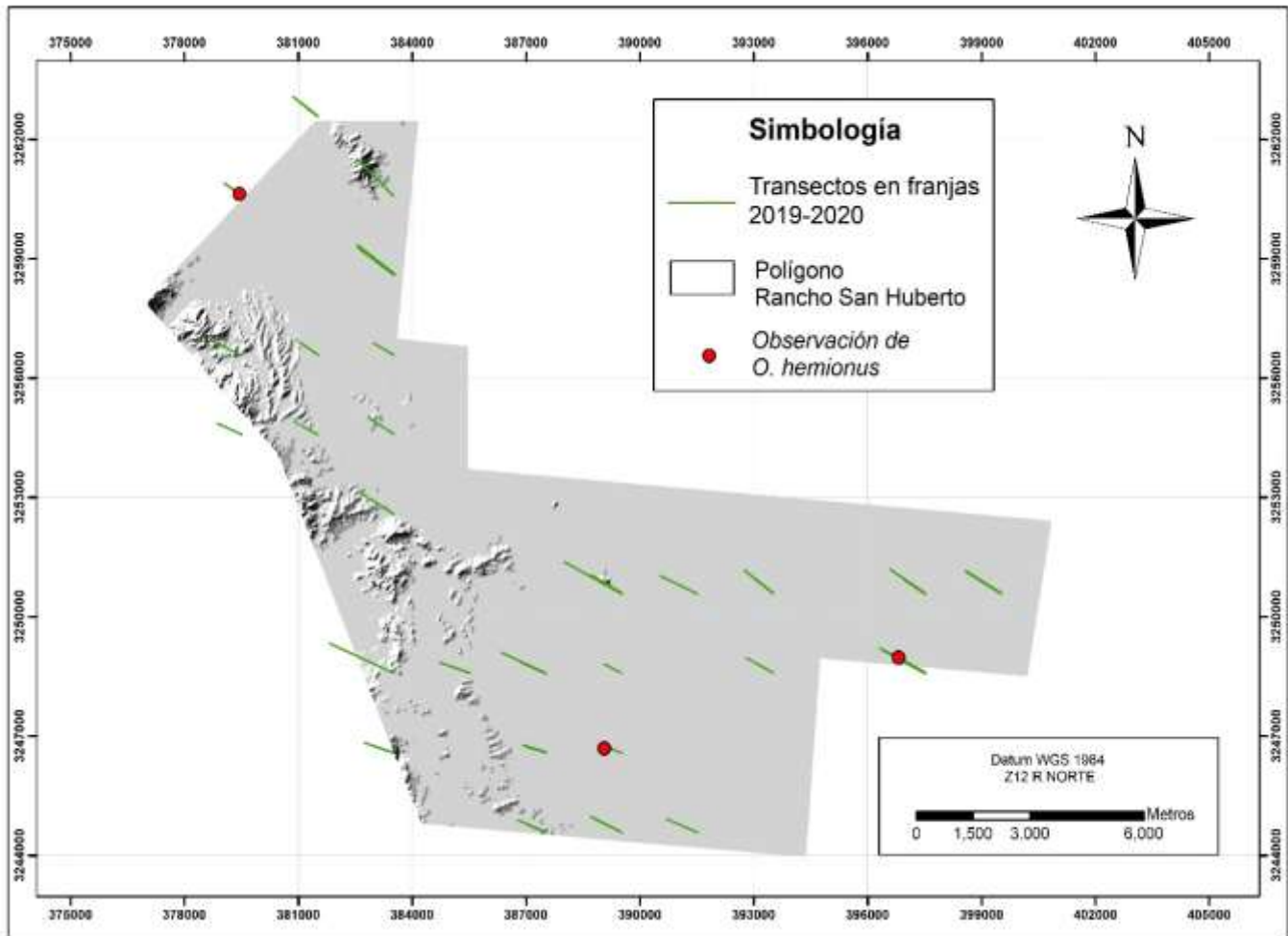


Figura 14. Transectos por franjas con dron y detecciones de grupos de venado bura realizadas en la temporada de cacería del 2019-2020 en la UMA Rancho San Huberto.

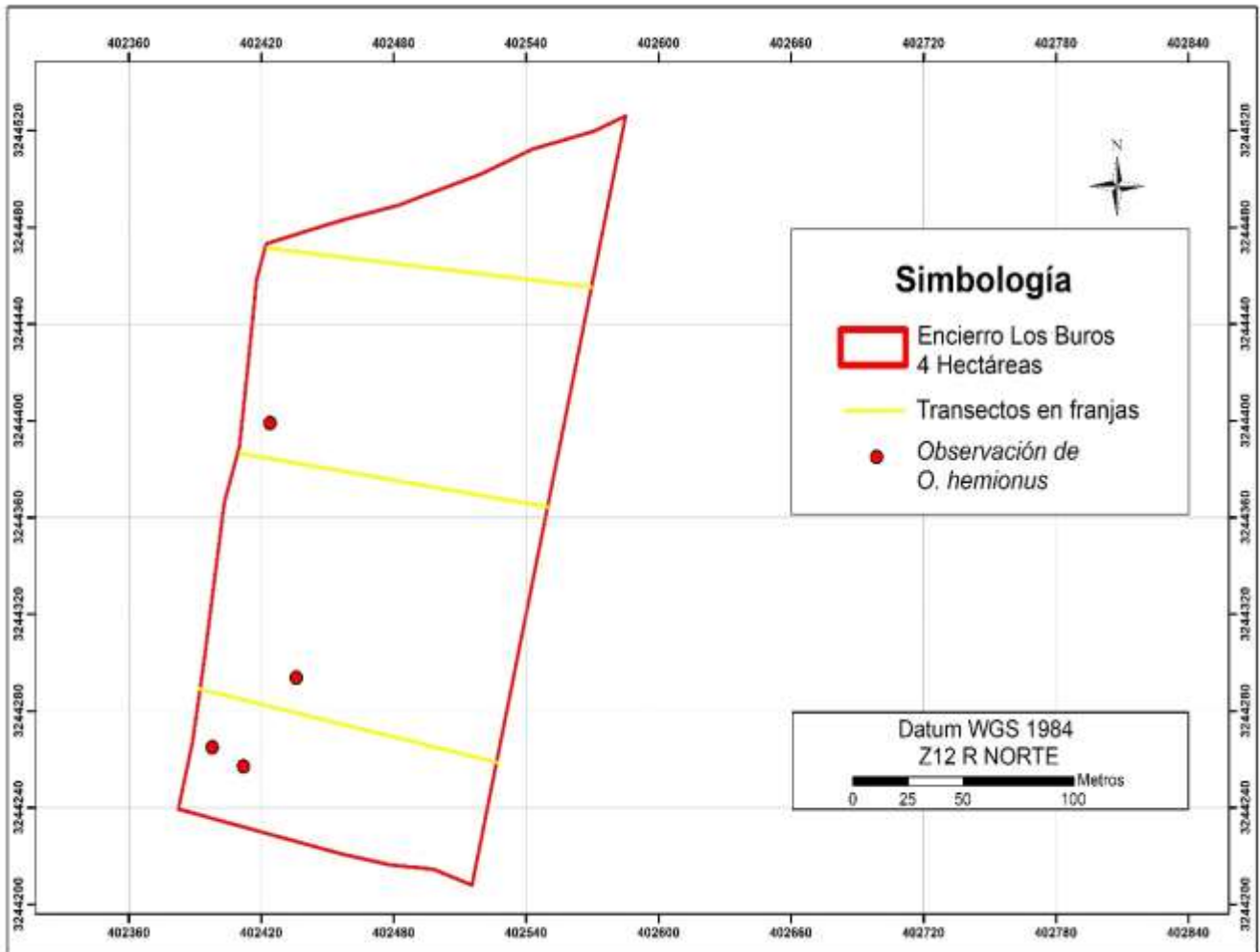


Figura 15. Transectos con dron realizados en el encierro de venado con densidad conocida ($2 \text{ individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$) en la UMA Los Buros, Municipio de Hermosillo.

Se estimó que la densidad de venado bura usando el método de franjas ($D = n/2wL$) para las temporadas 2018-2019 y 2019-2020 fue 0.247 y 0.321 individuos·km⁻², respectivamente, usando una mitad de ancho de franja de $w = 200$ m. Estas estimaciones ignoran la detección imperfecta de venados, esto es, ignora la posibilidad de que existan venados presentes y que no hayan sido detectados.

La distribución de las distancias de detección de grupos para los transectos lineales con vehículo es aproximadamente distribución seminormal (Figura 16). En este contexto, y asumiendo la distribución seminormal de las distancias de detección, se obtuvo un estimador $\widehat{f(0)} = 8.474 \pm 1.028 \text{ km}^{-1}$. De esta forma, la estimación de densidad poblacional de venados bura en la temporada de caza de 2018-2019 fue $\widehat{D} = 0.228 \text{ individuos} \cdot \text{km}^{-2}$ (IC95%(D) = 0.124–0.416 venados·km⁻² (Anexo 2). A su vez, la estimación de densidad de venados bura en la temporada de caza de 2019-2020 fue $\widehat{D} = 0.447 \text{ individuos} \cdot \text{km}^{-2}$ (IC95%(D) = 0.258–0.783 venados·km⁻². Dado que los IC95% se traslapan, se puede considerar una densidad de venados bura de $\widehat{D} = 0.313 \text{ individuos} \cdot \text{km}^{-2}$ (IC95%(D) = 0.313 venados·km⁻² ambas temporadas. El tamaño poblacional de venado bura en la UMA Rancho San Huberto se estima entonces igual a 57 venados (IC95%(N) = 35–92 individuos).

Sólo se contó con siete distancias de detección para los transectos en línea realizados con dron. Asumiendo la distribución seminormal de estas distancias de detección tenemos que el estimador $\widehat{f(0)} = 17.577 \pm 4.698 \text{ km}^{-1}$. De esta forma, la estimación de densidad poblacional de venados bura en la temporada de caza de 2018-2019 fue $\widehat{D} = 0.276 \text{ venados} \cdot \text{km}^{-2}$ (IC95%(D) = 0.050–1.520 individuos·km⁻²

(Anexo 3). A su vez, la estimación de densidad de venados bura en la temporada de caza de 2019-2020 fue $\hat{D} = 1.267$ individuos·km⁻² (IC95%(D) = 0.377–4.259 individuos·km⁻²).

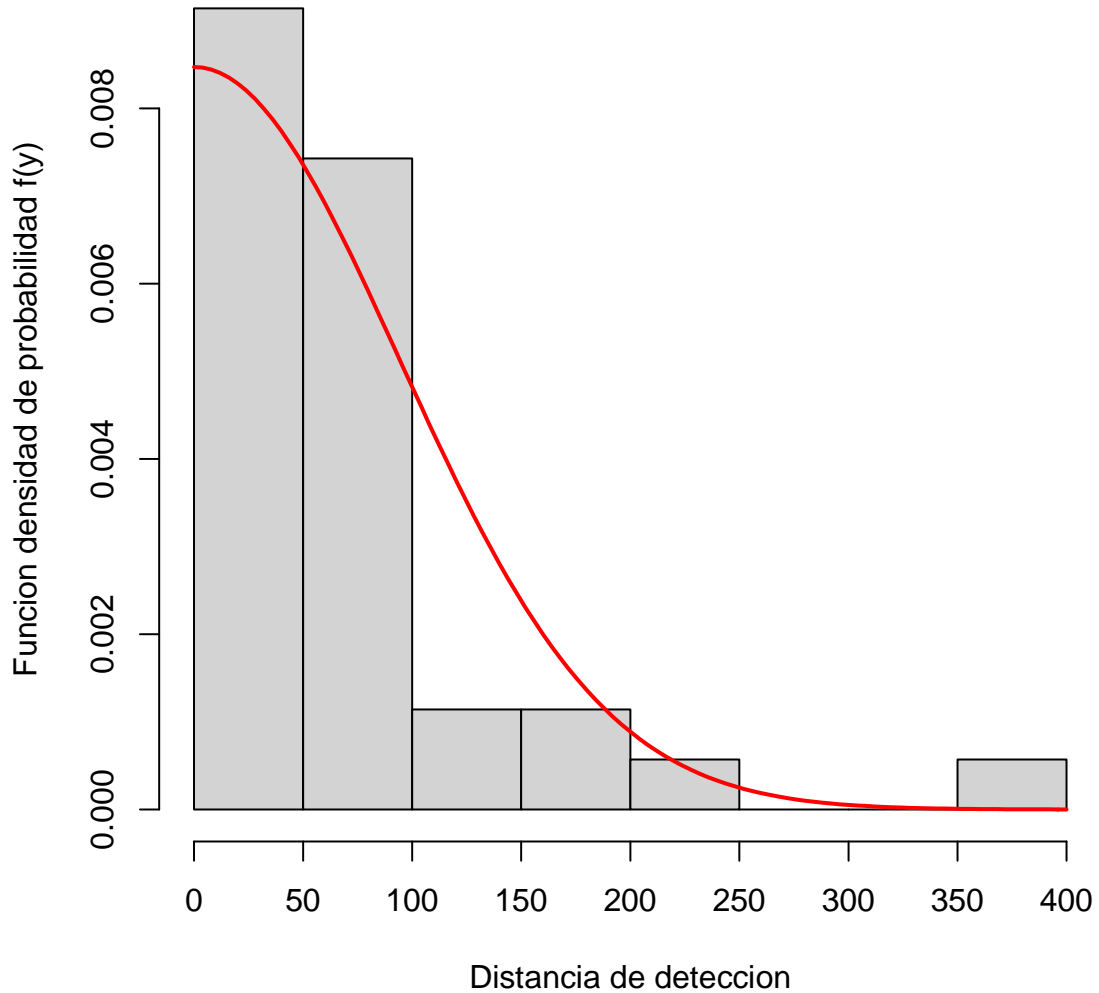


Figura 16. Distribución observada de las distancias de detección de grupos de venado bura obtenidas en transectos lineales en vehículo en la UMA Rancho San Huberto. La curva roja es la función seminormal ajustada a los datos.

La estimación de densidad mediante dron y el estimador de muestreo por distancia en el encierro de venado bura con densidad conocida (8 venados en 4 ha, esto es, $D = 200$ individuos·km⁻²) fue $\hat{D} = 78.8$ con un $IC95\%(D) = 34.3-387.8$ individuos·km⁻². Esta estimación de densidad poblacional está cercana a la densidad poblacional real, y el $IC95\%(D)$ incluye esta densidad real del encierro, lo que sugiere la validez de las estimaciones de densidad poblacional obtenidas mediante dron. Sin embargo, esta afirmación debe tomarse con precaución debido a que el tamaño de muestra pequeño ($L = 425$ m) puede afectar la confiabilidad de estos resultados.

Los resultados sugieren que las estimaciones por densidad poblacional por vehículo y por dron no difieren para cada temporada de cacería ya que sus intervalos de confianza del 95% se traslapan (Figura 17). Sin embargo, los intervalos de confianza para las estimaciones por dron son extremadamente amplios debido al bajo tamaño de muestra, esto es, el bajo número de detecciones de grupos de venados.

Brunjes (2006) expresa que densidad poblacional del venado bura es mayor en los ecosistemas áridos del oeste de Sonora con 27.3 individuos·km² que en el centro de Sonora con 14.5 individuos·km². En contraste, el tamaño promedio del área de distribución del venado bura en el centro-oeste de Texas fue de 2.47 ± 0.29 ind/km², con variación anual en primavera de 3.9 ± 0.32 individuos·km² y en verano de 2.82 ± 0.32 individuos·km².

De acuerdo a los sitios donde se encuentran poblaciones de venado bura, la densidad cambia dependiendo el alimento, cobertura y refugio que ofrece el área (Mandujano y Gallina 2015). Por ejemplo en Aldama y Gemelos, Chihuahua, la

densidad media de venado bura fue de 2.2 individuos·km², mientras que en Cuevitas fue de 0.9 individuos·km², tanto para primavera como para verano (Vital-García *et al.*, 2016).

Existe una gran variación en la densidad del venado bura a lo largo de su distribución. Para *O. h. hemionus* en las Montañas Rocosas de Utah y Wyoming se han reportado densidades bajas de > 1 a 2 individuos·km², las densidades intermedias varían de 4 a 6 individuos·km² y las densidades altas son de 10-12 individuos·km² (Brown 2009).

Al sur de Tucson, Arizona, se han reportado bajas densidades para *O. h. eremicus*: 0.9 ind/km² y 2.5 individuos·km² durante el verano y el invierno respectivamente (Koenen *et al.* 2002), mientras que en el oeste de Texas la densidad media fue de 2.4 individuos·km² (Brunjes *et al.* 2006). En el suroeste de California, la composición de la población de *O. h. eremicus* fue de 41 a 74% de hembras, para machos de 6 a 31% y de 6 a 34% en juveniles, con una densidad de 0.5 a 0.13 individuos·km². Esta baja densidad se atribuyó a la poca precipitación, lo que resultó en una disponibilidad baja de forraje (Marshall *et al.* 2006).

En Coahuila, la densidad estimada de *O. h. eremicus* fue de 11 individuos·km² durante la estación seca, 4.7 individuos·km² durante la temporada de lluvias temprana y 1.8 individuos·km² en la última temporada de lluvias (Lozano-Cavazos *et al.* 2015).

En el Municipio de Pitiquito, Sonora, muy cerca de la Isla Tiburón, la densidad varió de 0.5 a 2.5 individuos·km² (Serra-Ortiz *et al.* 2008). En las islas existen diferentes subespecies de venado bura. Se ha estimado una densidad de 13.32

individuos·km² para *O. h. sheldoni* en el matorral del desierto de la Isla Tiburón (Servín et al. 2010).

De acuerdo a Serra (2008) la densidad obtenida en el Municipio de Pitiquito, fue de 0.5 a 2.5 individuos·km², mientras tanto para el área de estudio del “Rancho San Huberto” del mismo Municipio, se obtuvo una densidad de 0.313 individuos·km² y para nuestro vecino de Tucson, Arizona, Koenen (2002) reporta bajas densidades de 0.9 a 2.5 individuos·km² durante el verano y el invierno. Las estimaciones de densidad poblacional para la UMA Rancho San Huberto de este trabajo está por debajo de estimaciones anteriormente mencionadas para áreas de estudios en el Desierto Sonorense. Sin embargo el periodo de tiempo entre este estudio y dichas publicaciones van de 18 a 12 años, motivo por el cual las densidades pueden ser menores a la sobreexplotación de la especie.

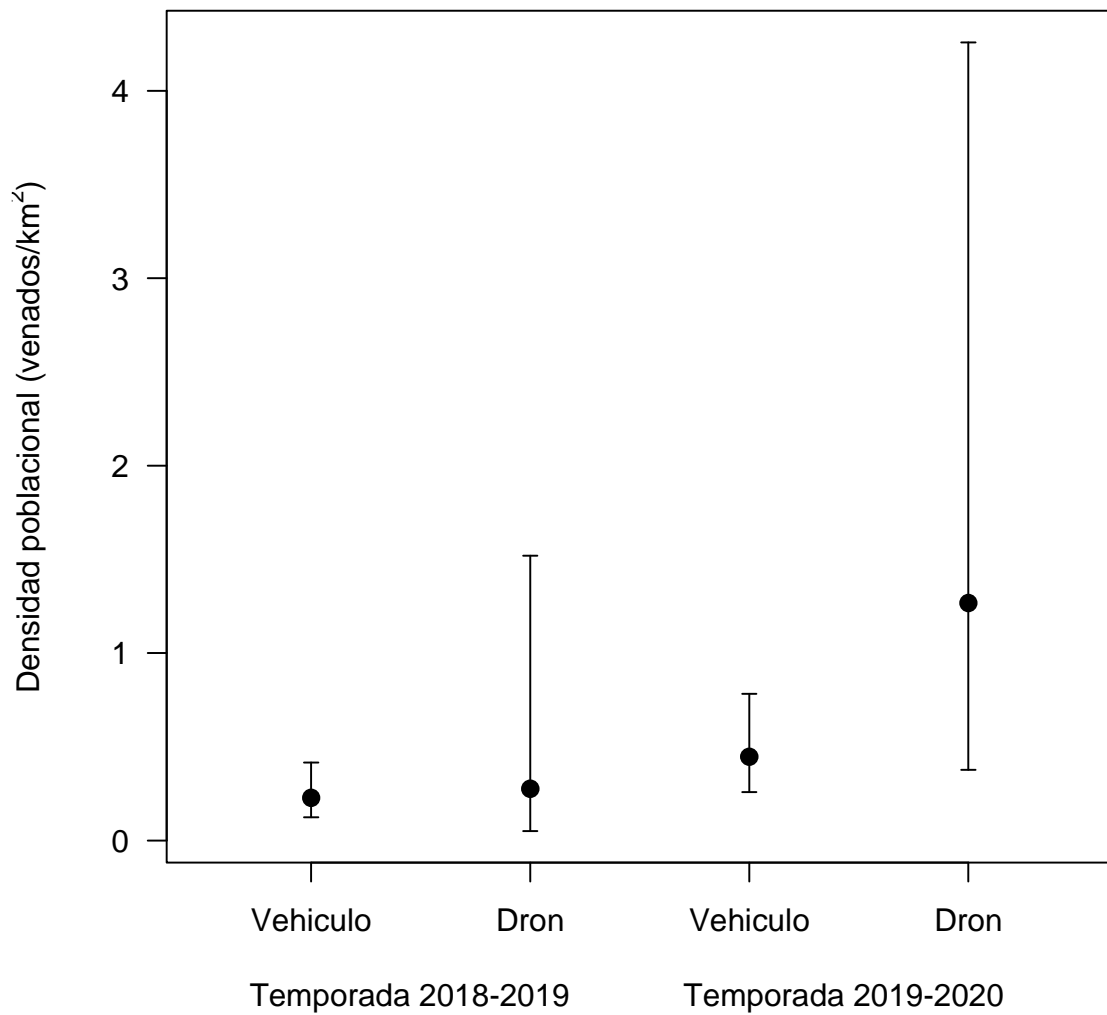


Figura 17. Estimaciones de densidad poblacional de venado bura en la UMA Racho San Huberto por tipo de muestreo (vehículo vs. dron) y temporada de cacería (2018-2019 vs. 2019-2020). Las barras verticales denotan los límites de los intervalos de confianza del 95%.

4.2. Estimación de costos para transectos en franjas con vehículo y dron

El costo del monitoreo de transectos en franjas con vehículo fue de \$249,460.71 (Tabla 1) y \$166,033.77 (Tabla 2) para las temporadas 2018-2019 y 2019-2020, respectivamente. El costo del monitoreo de transectos con dron con fue de \$168.316.92 (Tabla 3) y \$135,430.92 (Tabla 4) para las temporadas 2018-2019 y 2019-2020, respectivamente.

Se observa que el uso de dron para el monitoreo del venado bura fue \$81,143.79 más barato que el uso de vehículo en la temporada 2018-2019. Sin embargo, esa diferencia en costos entre los dos métodos se redujo en la temporada 2019-2020 a \$30,602.85. Se realizó el estudio de forma aleatoria con las características similares para obtener estimadores de densidades comparables (periodo, tiempo, método).

Tabla 1. Análisis financiero para transectos en franjas con vehículo 2018-2019.

Concepto	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo (\$)
1. Insumos	Vehículo Automotor	Litro	1,386.05	19.87	30,798.03
	Luz	Servicio	1	700	700
	Agua	Servicio	1	300	300
2. Gasto corriente	Renta Oficina	Servicio	1	4,500.00	4,500.00
	Teléfono	Servicio	1	500	500
	Técnico	Servicio	30	800	24,000.00
3. Servicio técnico	Ayudante de Técnico	Servicio	25	500	12,500.00
	Chofer	Servicio	25	500	12,500.00
4. Logística	Alimento	Servicio	25	250	6,250.00
	Hospedaje	Servicio	25	250	6,250.00
5. Equipo	Renta de Equipo	Vehículo	25	2,000.00	50,000.00
	Adquisición de Equipos	Equipo de protección personal	3	1,000.00	3,000.00
		Equipo para monitoreo	1	8,000.00	8,000.00
6. Utilidades	Porcentaje	Utilidad de la empresa	1	35%	55,754.31
				SUBTOTAL	215,052.34
				IVA	34,408.37
				TOTAL	249,460.71

Tabla 2. Análisis financiero para transectos en franjas con dron 2018-2019.

Análisis de precios Unitarios	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
1. Insumos	Vehículo Automotor	Litro	1,061.00	19.87	\$21,082.07
	Luz	Servicio	1	\$700.00	\$700.00
	Agua	Servicio	1	\$300.00	\$300.00
2. Gasto corriente	Renta Oficina	Servicio	1	\$4,500.00	\$4,500.00
	Teléfono	Servicio	1	\$500.00	\$500.00
3. Servicio técnico	Técnico	Servicio	23	\$600.00	\$13,800.00
4. Servicio de técnico	Ayudante de Técnico	Servicio	17	\$300.00	\$5,100.00
5. Logística	Alimento	Servicio	17	\$250.00	\$4,250.00
	Hospedaje		17	\$250.00	\$4,250.00
	Renta de Equipo	Dron	17	\$1,000.00	\$17,000.00
6. Equipo		Vehículo	17	\$2,000.00	\$34,000.00
	Adquisición de Equipos	Equipo de protección personal	2	\$1,000.00	\$2,000.00
7. Utilidades	Porcentaje	Utilidad de la empresa	1	35%	\$37,618.72
				SUBTOTAL	\$145,100.79
				IVA	\$23,216.13
				TOTAL	\$168,316.92

Tabla 3. Análisis financiero para transectos en franjas con vehículo 2019-2020.

Análisis de precios Unitarios	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
1. Insumos	Vehículo Automotor	Litro	1,045.19	\$19.87	\$23,224.12
	Luz	Servicio	1	\$700.00	\$700.00
	Agua	Servicio	1	\$300.00	\$300.00
2. Gasto corriente	Renta Oficina	Servicio	1	\$4,500.00	\$4,500.00
	Teléfono	Servicio	1	\$500.00	\$500.00
	Técnico	Servicio	21	\$800.00	\$16,800.00
3. Servicio técnico	Ayudante de Técnico	Servicio	16	\$500.00	\$8,000.00
	Chofer	Servicio	16	\$500.00	\$8,000.00
4. Logística	Alimento	Servicio	16	\$250.00	\$4,000.00
	Hospedaje	Servicio	16	\$250.00	\$4,000.00
5. Equipo	Renta de Equipo	Vehículo	16	\$2,000.00	\$32,000.00
	Adquisición de Equipos	Equipo de protección personal Equipo para monitoreo	1 1	\$2,000.00 \$2,000.00	\$2,000.00 \$2,000.00
6. Utilidades	Porcentaje	Utilidad de la empresa	1	35%	\$37,108.44
				SUBTOTAL	\$143,132.56
				IVA	\$22,901.21
				TOTAL	\$166,033.77

Tabla 4. Análisis financiero para transectos en franjas con dron 2019-2020.

Análisis de precios Unitarios	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
1. Insumos	Vehículo Automotor	Litro	1,061.00	\$19.87	\$21,082.07
	Luz	Servicio	1	\$700.00	\$700.00
	Agua	Servicio	1	\$300.00	\$300.00
2. Gasto corriente	Renta Oficina	Servicio	1	\$4,500.00	\$4,500.00
	Teléfono	Servicio	1	\$500.00	\$500.00
3. Servicio técnico	Técnico	Servicio	25	\$600.00	\$15,000.00
4. Servicio de técnico	Ayudante de Técnico	Servicio	20	\$300.00	\$6,000.00
5. Logística	Alimento	Servicio	20	\$250.00	\$5,000.00
	Hospedaje		20	\$250.00	\$5,000.00
6. Equipo	Adquisición de Equipos	Dron	20	\$1,000.00	\$20,000.00
		Vehículo	20	\$2,000.00	\$40,000.00
		Equipo de protección personal	1	\$1,000.00	\$1,000.00
7. Utilidades	Porcentaje	Utilidad de la empresa	1	35%	\$41,678.72
				SUBTOTAL	\$116,750.79
				IVA	\$18,680.13
				TOTAL	\$135,430.92

4.3. Capacidad de detección con el uso de dron

Recientemente, se han utilizado VANT para llevar a cabo funciones claves, y capturar datos que antes eran difíciles de recolectar usando aviones tripulados. Estimaciones basadas en conteo de abundancia han sido obtenidos por drones para aves acuáticas en refugios de vida silvestre (U.S. Geological Survey (USGS), 2014).

Los mamíferos terrestres de igual forma se han estudiado eficazmente con drones, estudios de abundancia y distribución se han realizado para el alce (*Cervus elaphus*) (USGS 2014), ciervo (*Dama dama*) (Barasona, 2014), orangutanes (*Pongo pygmaeus*) (Van Andel, 2015), elefantes (*Loxodonta africana*) (Vermeulen et al. 2013) y rinocerontes (*Diceros bicornis* y *Ceratotherium simum*) (Mulero-Pázmány et. al. 2014)

Las especies marinas son claramente difíciles de estudiar y los aviones tripulados han jugado un papel clave en las investigaciones de sus distribuciones, movimientos y abundancia. Los avances en la tecnología de los VANTs han hecho posible estudiar con éxito mamíferos marinos en áreas primarias de alimentación, parto y extracción hasta 150 km de la costa (Koski et al. 2009).

De acuerdo a los estudios antes mencionados el número de detecciones de venado bura en este estudio (4 detecciones de grupos en 83.2 km de vuelo) es probablemente una consecuencia de la baja densidad poblacional real más que una capacidad de detección reducida. Se concluye así que el uso de dron para el monitoreo de fauna silvestre es efectivo y práctico para fines científicos, además ayuda a realizar observaciones en lugares de difícil acceso.

CONCLUSIONES

No existe diferencia en las estimaciones de densidad poblacional de venado bura entre conteos en vehículo y conteos con dron. Sin embargo, el bajo número de detecciones de venado mediante el uso del dron ocasiona estimadores de baja precisión. De esta forma, la baja detectabilidad de venados es la principal limitante en el uso del dron.

A pesar de que el uso del dron requiere menos tiempo y esfuerzo en el monitoreo del venado bura, el ahorro en tiempo de muestreo no muestra un ahorro económico apreciable. Sin embargo, el uso de dron para el monitoreo de venado bura, junto con el registro en video, permite revisar los vuelos múltiples ocasiones para el conteo de individuos, teniendo una mayor certeza en las detecciones.

De primera instancia las inversiones para los monitoreos de fauna silvestre son costosas y el costo es muy similar en ambos métodos. Sin embargo, en la utilización del uso de dron para la temporada del 2018–2019 se ahorró en el presupuesto, debido a que el tiempo de trabajo en campo fue menor que con el uso de vehículo. En la temporada del 2019-2020 el tiempo de muestro fue similar por lo que los costos fueron más similares.

El uso de vehículo para el monitoreo en franja sigue siendo un método conveniente y popular entre la mayoría de los técnicos de vida silvestre. Sin embargo, los resultados de este estudio confirman el potencial del uso tecnológico vanguardista del dron. y considerado por la mayoría de los técnicos, aunado al estudio que presentamos y que sigue repuntando en diferentes partes del mundo con el uso tecnológico vanguardista del dron. Es imperativo continuar con este tipo

de estudios e ir mejorando la aplicación de esta herramienta, teniendo como beneficio una mayor representatividad de las estimaciones demográficas con la inclusión de hábitats inaccesibles, el ahorro de tiempo y esfuerzo.

El técnico responsable de la UMA Rancho San Huberto, tiene la responsabilidad de continuar mejorando la sustentabilidad del sitio y propiciando un buen hábitat para la fauna silvestre. Este estudio ha evaluado el uso de una herramienta novedosa para el que el técnico responsable lleve a cabo esta labor con mayor eficiencia. A su vez.

La empresa Idea Geomatica ha encontrado satisfactorio el resultado de la comparación de métodos, debido que para la zona de interés no se contaba con estudios de esta magnitud. Además la experiencia adquirida en campo con el uso de dron apoya a la apertura del desarrollo de conocimiento para nuevos proyectos.

Se concluye que, en base a la experiencia adquirida durante las temporadas 2018-2019 y 2019-2020, que el uso de dron es efectivo para realizar monitoreos de venado bura en zonas áridas. Sin embargo es necesario aumentar esfuerzo de muestreo en campo para la obtención de estimaciones precisas.

Al mejorar la tecnología en los años venideros, los drones seguramente se convertirán en una herramienta estándar para monitorear poblaciones de vida silvestre.

RECOMENDACIONES

El uso de dron para el monitoreo del venado bura en la UMA Rancho San Huberto tiene potencial de proveer estimaciones de abundancia de venados en la toma de decisiones para el mejor manejo sustentable del mismo. Se sugiere realizar monitoreos mixtos con ambos métodos en la estimación de densidad poblacional de venado bura. A su vez, se recomienda utilizar más de un dron para incrementar el tamaño de muestra significativamente sin incrementar el tiempo de traslado.

Se sugiere utilizar dron de ala fija para la implementación del método y con ellos cubrir mayor superficie de monitoreo con menos puntos aleatorios, el cual proveerá de mayor información en base a transectos de longitudes amplias.

El monitoreo con el uso de dron deberá realizarse durante el alba de la mañana y terminar cuando el sol se encuentre en la parte inferior del equipo, debido a que las altas temperaturas y la luz solar pueden limitar su funcionamiento.

El diseño de muestreo aleatorio que se utilizó para transectos de dron limitó y disminuyó la efectividad del uso, ya que las distancias de traslado a cubrir fueron extensas. Por tal motivo se recomienda el muestro con dron se implemente mediante un muestreo sistemático, con localidades de muestreos espaciadas regularmente y con un cubrimiento espacial secuencial.

REFERENCIAS

- Addati, G. A. y Pérez, L. G., (2014). Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil (No. 551). Serie Documentos de Trabajo. Buenos Aires.
- Arroyo-Ortega, J. P., (2018). Efecto de las fuentes artificiales de agua y alimento en la permanencia de venado bura (*odocoileus hemionus eremicus*) dentro de la unidad de manejo para la conservación de vida silvestre San Huberto, A.C. Tesis de Maestría en Sistemas de Producción Biosustentables, Universidad Estatal de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- Barasona, J., Mulero-Pázmány, M., Acevedo, P., Negro, J. J., Torres, M. J., Gortázar, C. y Vicente, J., (2014). Sistema de aviones no tripulados para estudiar la abundancia espacial de ungulados: relevancia para la epidemiología espacial. MÁS UNO 9: e115608. España.
- Barrientos, A., Del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A. y Rossi, C., (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid.
- Bartmann, R., White, G., Carpenter, L. y Garrott, G., (1987). Estimaciones aéreas de marcación y recuperación de venado bura en cuadrantes confinados de bosques de piñón y enebro. Revista de Manejo de Fauna Silvestre. 51, 41-46. Universidad de Colorado.
- Burnham, P., Anderson, R. y Laake, L., (1980). Estimación de densidades por transectos en línea simples para poblaciones biológicas. 72, 3-202.
- Christie, K. S., Gilbert, S. L., Brown, C. L., Hatfield, M. y Hanson, L., (2016). Sistemas de aeronaves no tripuladas en la investigación de la vida silvestre:

aplicaciones actuales y futuras de una tecnología transformadora.
Washington.

De Madrid, C., (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid.

Diario Oficial de la Federación, (2000). Ley General de Vida Silvestre. Nueva Ley Publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de julio del 2000 y reformada el día 26 de junio del 2006 por el H. Congreso de la Unión. Presidencia de la República de los Estados Unidos Mexicanos.

Gallina, S., S. Mandujano y Villarreal Espino-Barros, O., A. (2014). Monitoreo y manejo del venado cola blanca: Conceptos y métodos. Instituto de Ecología, A. C. y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Xalapa, Ver. México. 220.

Guajardo, R. G. y Martínez Q. A., (2004). Cuantificación del impacto económico de la caza deportiva en el norte de México y perspectivas de desarrollo.

Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A. y Clarke, R. H., (2016). Monitoreo preciso de la vida silvestre utilizando vehículos aéreos no tripulados.

Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2000). Estrategia Nacional para la Vida Silvestre. 212.

Koski, W. R., Allen, T., Ireland, D., **et al.**, (2009). Evaluación de sistema de aeronave no tripulado para el seguimiento de mamíferos marinos. *Aquat Mamm*, 35: 347–57.

Mandujano, S. y Gallina. S., (1995). Disponibilidad de agua para el venado cola blanca en un bosque tropical caducifolio de México. *Vida Silvestre Neotropical*, 4: 107-118.

- Mandujano, S., Mulero Pazmany, M. C., y Rísquez-Valdepeña, A., (2017). Drones: una nueva tecnología para el estudio y monitoreo de fauna y hábitats. *Agroproductividad*. 2017; 10: 79–84., 10 (10). 79-84.
- Mackie, R. J., Kie, J. G., Pac, D.F., Hamlin, K. L., (2003). Venado Bura (*Odocoileus hemionus*). Mamíferos salvajes de América del Norte. *Biología, Manejo y Conservación*. 2do. Thompson, B. C., Feldhamer, G. A., Chapman, J. A. University Press, Baltimore, 889–905.
- Martínez-Muñoz, A., Hewitt, D. G., Valenzuela, S., **et al.**, (2003). Hábitat y estado de la población del venado bura del desierto en México. 49:14–24.
- Michael, E., Wayne, L., Jefferson, T., Douglas, J., Nancy, A., Steve, G., Donald, J., (2014). Sistema aéreo no tripulado para estimar la abundancia y tamaño de los depredadores antárticos.
- Olivo, E. J. C., (2016). La protección de la biodiversidad en el derecho ambiental mexicano: un análisis de la legislación desde el enfoque de especies amenazadas y su hábitat. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Otis, D. L., Burnham, G., White y Anderson, D., (1978). Inferencia estadística de datos de captura en poblaciones de animales en lugares confinados. *Monografía de vida silvestre*. 62, 135.
- Owen, O. S., (1977). *Conservación de recursos naturales*. Edit. PAX-México. México, DF.
- SAGARPHA., (2016). Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre, Subsecretaría de Ganadería. Recuperado de <http://www.hunting.sonora.gob.mx/>

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales., (2002). Ley general de vida silvestre. México.
- SEMARNAP., (1997). Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997- 2000. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 82.
- SEMARNAT., (2010). Plan de manejo tipo para venado bura. Dirección General de Vida Silvestre. México, D.F.
- SEMARNAT., (2019). Registros de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), <https://datos.gob.mx/busca/dataset/registros-de-unidades-de-manejo-para-la-conservacion-de-la-vida-silvestre-uma>.
- Servicio Geológico de EE. UU. (USGS)., (2014). Servicio Geológico de EE. UU. Sitio web del Proyecto Nacional de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas. <http://rmgsc.cr.usgs.gov/UAS>.
- Valenzuela, M. A. M., (2017). Caza deja derrama anual de casi 30 mdd a Sonora. Inforural. Recuperado de <http://www.inforural.com.mx/cazadeja-derrama-anual-casi-30-mdd-sonora>.
- Vermeulen, C., Lejeune, P., Lisein, J., **et al.**, (2013). Aeronave no tripulada para estudio de elefantes. PLOS ONE 8: e54700.
- Villarreal, G. J. G., (1995). Ranchos cinegéticos: Planeación, producción y rentabilidad. Memorias del Curso sobre Ganadería Diversificada. Nuevo Laredo, Tamaulipas.
- Villarreal, G. J. G., (1999). Venado cola blanca, manejo y aprovechamiento cinegético. Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.

Villarreal, G. J. G., (2012). Introducción al manejo y aprovechamiento sustentable de fauna silvestre en ranchos ganaderos diversificados.

ANEXOS

Anexo 1. Esfuerzo de muestreo y detección de venados bura

Temporada	Detecciones de venado bura	Individuos	Longitud (km)	Esfuerzo de muestro (hr)	Promedio de grupo individuos·grupo ⁻¹
2018-2019	Dron	1	58.4	94:30:00	2.94 ± 0.40
2019-2020	Dron	6	24.8	03:00	
2018-2019	Vehículo	53	798.2	66:20:00	1.86 ± 0.46
2019-2020	Vehículo	69	537.1	06:00	
2020	Dron	6	0.256	00:20	

Anexo 2. Transectos lineales con vehículo

Temporada	Detecciones de venado bura	Densidad	(IC95%(D))
2018-2019	Vehículo	0.228 venados·km ⁻²	0.124–0.416 venados·km ⁻²
2019-2020	Vehículo	0.447 venados·km ⁻²	0.258–0.783 venados·km ⁻²
2018-2020	Vehículo	0.313 venados·km ⁻²	0.313 venados·km ⁻²

Anexo 3. Transectos en línea realizados con dron

Temporada	Detecciones de venado bura	Densidad	(IC95%(D))
2018-2019	Dron	0.276 venados·km ⁻²	0.050–1.520 venados·km ⁻²
2019-2020	Dron	1.267 venados·km ⁻²	0.377–4.259 venados·km ⁻²