

UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIO DE POSGRADO  
INSTITUTO INTERNACIONAL DE MANEJO Y VIDA SILVESTRE  
Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR EL TAMAÑO POBLACIONAL DEL  
VENADO DE LAS PAMPAS (*Ozotoceros bezoarticus*)

BERTA ANTÚNEZ GÓMEZ

Heredia, Junio de 2017

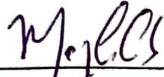
Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Postgrado  
de la Universidad Nacional para optar al título de *Magister Scientiae*  
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR EL TAMAÑO POBLACIONAL DEL  
VENADO DE LAS PAMPAS (*Ozotoceros bezoarticus*)

BERTA ANTÚNEZ GÓMEZ

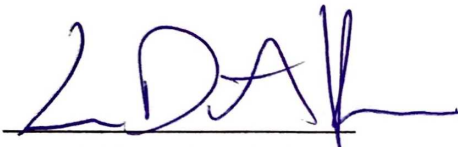
Tesis presentada para optar al grado de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de  
Vida Silvestre. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de  
Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador



Mayela Coto Chotto, Ph.D.

Presidente del Consejo Central de Posgrado ó su representante



Luis Diego Alfaro, Ph.D.

Representante de la Dirección del  
ICOMVIS



Manuel Spínola Parallada, Ph.D.

Tutor



Ignacio Jiménez Pérez, M.Sc.

Asesor



Joel Sáenz Méndez, M.Sc.

Asesor



Berta Antúnez Gómez

Sustentante

## RESUMEN

Estimar el tamaño poblacional de animales de vida silvestre es un aspecto importante en el manejo y conservación de las especies. Son muchos los métodos de estimación de la abundancia que son utilizados, los cuales continúan desarrollándose para mejorar la precisión y robustez de dichos estimados. Determinar cuáles son los mejores es una tarea que se logra realizando comparaciones entre los diferentes métodos para conocer cuáles son más precisos, eficaces y económicos. Esto es una labor importante sobre todo cuando se trata de especies sujetas a algún tipo de manejo o de acciones de conservación. Evalué diferentes métodos para estimar la abundancia poblacional del venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*) reintroducido en la Reserva Natural Iberá, provincia de Corrientes, Argentina, evaluando la precisión y los errores asociados a cada uno de ellos. Los métodos considerados fueron: 1) transectos lineales de ancho variable basado en distancias (método de distancias), 2) marca-reavistamiento, 3) conteo completo en mosaicos obtenidos con un vehículo aéreo no tripulado (dron), 4) conteo completo en videos grabados con un dron y 5) conteo completo en imágenes obtenidas desde un avión tripulado (avioneta). El método de distancias estimó la población en 70 individuos (95% IC=43-113; EE=14,9) en el área de estudio. El estimador de marca-reavistamiento calculó una población de 57 individuos (95%IC=44-71; EE=6,95). Usando el dron, el estimado obtenido con el método de conteo completo a través de mosaicos fue de 139 individuos (95%IC=88-189; EE=25,6) y a través de videos grabados con el dron fue de 169 individuos (95%IC=4-333; EE=83,9). El método de la avioneta falló debido al inconveniente de georreferenciar las imágenes obtenidas, por este motivo no se obtuvo ningún estimado. Los métodos que presentaron mejores resultados estadísticos referentes a la precisión, fueron los métodos terrestres. El método de distancias fue el que estimó con menor error el número de venados de las pampas en la reserva (cercano al valor que se conoce basado en el estimado de individuos marcados con radiocollar). Los métodos usando dron sobrestimaron la población, sin embargo, considero que el método de grabaciones de video con dron podría ser un método adecuado para el seguimiento de la especie en esta zona, siempre y cuando se mejore el estimado aumentando el tamaño de muestra. La tecnología del dron permitió realizar muestreos con menor esfuerzo humano y tuvieron menor impacto sobre el comportamiento de los animales. Por lo tanto, recomiendo considerar este método para el plan de monitoreo de la población, debido a la facilidad en la detección de venados, al bajo error asociado al doble conteo de individuos y a la rapidez en proporcionar resultados.

## ABSTRACT

Estimating the population size of wild animals is an important aspect in the conservation and wildlife management. There are many methods for estimating abundance that are used, which continue to be developed to improve the robustness of these estimates. Determining which methods are better than others is a task that is achieved by making comparisons between different methods, in order to know which methods are more accurate and cost effective. This is an important task especially when dealing with species subject to some type of management or conservation criteria. I evaluated different methods to estimate the population abundance of pampas deer (*Ozotoceros bezoarticus*) reintroduced in the Iberá Natural Reserve, province of Corrientes, Argentina, to determine the accuracy and errors associated with each one. The methods considered were: 1) linear transects of variable width based on distances (distance method), 2) mark resight, 3) complete count with an unmanned aerial vehicle (dron) through mosaics, 4) complete count with a dron through videos and 5) full count in images obtained from an airplane. The distance method estimated the population in 70 individuals (95%CI=43-113; SE=14,9) in the study area. The mark resight estimator calculated a population of 57 individuals (95%CI=44-71; SE = 6,95). Using the dron, the estimator obtained with the complete counting method through mosaics was 139 individuals (95%CI=88-189; SE=25,6) and through videos recorded was 169 individuals (95%CI=4-333;SE=83,9). The airplane method failed, due to the inconvenience of georeferencing the obtained images and I could not calculate an estimated. The methods that presented the best statistical results concerning precision were the terrestrial methods. The distances method was the one that estimated with less error the number of pampas deer in the reserve (according to the best estimate based on known radio-tagged individual). The dron-based methods overestimated the populaton size in the study area, however, I consider that the dron method through videos would be the appropriate method for tracking the species in this area, as long as the estimation is improved by increasing the sample size. The technology of the dron allowed to make surveys with less human effort and had less impact on the behavior of the animals. Therefore, I recommend this method to implement it in the monitoring plan of the population, due to the ease in detectability of pampas deer, the low error associated with double counting and the speed in providing results.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos, en primer lugar, a *The Conservation Land Trust* (CLT) por la oportunidad que me dieron para desarrollar este trabajo y por el financiamiento del mismo. En el año 2013 tuve la gran oportunidad de comenzar a colaborar en los proyectos de *rewilding* en los Esteros del Iberá y aprendí grandes lecciones profesionales y humanas al pertenecer al equipo de CLT. A ellos, mi más sincera gratitud.

También agradecer a *IDEA WILD* por el financiamiento de parte del equipo que necesité para la realización de este estudio.

A mi tutor, Manuel Spínola y mis asesores, Ignacio Jiménez y Joel Sáenz, por su tiempo, enseñanzas y dedicación a este trabajo. Aprendí mucho de ellos y espero seguir haciéndolo. Y a aquellas personas que me asesoraron en el transcurso de este estudio, en especial a Rafael Abuín, Sebastián Di Martino, Carlos Di Ángelo, Belén Ávila, Andrés Rey, al equipo de investigadores del Instituto de Biología Subtropical de Misiones (Argentina) y a mis compañeros de maestría, por compartir conmigo este camino de aprendizajes.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
MÉTODOS .....	9
Métodos terrestres: 1) método de distancias y 2) marca-reavistamiento .....	12
3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos.....	17
4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos .....	20
5) Método aéreo con avioneta: conteo completo en imágenes.....	21
RESULTADOS .....	25
1) Método de distancias .....	25
2) Método de marca-reavistamiento .....	29
3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos.....	30
4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos .....	32
Comparación de los resultados obtenidos en los diferentes métodos .....	33
DISCUSIÓN.....	36
1) Método de distancias .....	36
2) Método de marca-reavistamiento .....	38
3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos.....	39
4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos .....	42
5) Método aéreo con avioneta: conteo completo en imágenes.....	44
Comparación de métodos .....	45
CONCLUSIONES .....	47
RECOMENDACIONES .....	48
LITERATURA CITADA .....	50
ANEXOS.....	59
ANEXO A. Figuras procedentes del informe de calidad obtenido por la versión prueba del programa pix4D para estudiar el grado de solapamiento de los mosaicos.....	59
ANEXO B. Resumen del presupuesto descrito para cada método y su categoría según el coste económico ( <i>bajo</i> , si la inversión es menor a 1000\$USD; <i>medio</i> , si la inversión está entre 1000\$ y 2000\$USD; <i>alto</i> , si el presupuesto es mayor de 2000\$USD). .....	60

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Comparación entre los diferentes modelos, analizados en el programa estadístico "Distance" con un truncamiento de 350m, para estimar la función de detección del venado de las pampas en el área de estudio de San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016. AIC: Akaike's information criterion .....26
- Cuadro 2. Comparación de diferentes modelos evaluados, obtenidos con el paquete "Distance" que tienen un truncamiento de 350m y un delta del AIC menor de 2, para estimar la función de detección del venados de las pampas en el área de estudio seleccionada en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.....27
- Cuadro 3. Comparación del valor de AIC de diferentes modelos para estimar la función de detección con el método de marca-reavistamiento de la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.29
- Cuadro 4. Resumen de los estimados de abundancia de los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron, videos con dron y el método de fotografías aéreas con avión tripulado para estimar la población de venado de las pampas en el área de estudio (1250,9ha) en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, en el año 2016. ....34
- Cuadro 5. Comparativa de los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron, grabaciones de videos con dron y fotografía con avioneta realizados en San Alonso en el año 2016, según atributos metodológicos y económicos.....35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de vegetación de la isla San Alonso en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.....	8
Figura 2. Mapa que muestra los tres estratos recorridos (estrato de alta densidad de venados, estrato de bajo potencial para la especie y estrato potencialmente apto para venados) a través de transectos lineales a caballo para estudiar la presencia de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. ....	10
Figura 3. Mapa de localizaciones de individuos identificados desde el año 2013 hasta junio del año 2016 en San Alonso (The Conservation Land Trust, datos sin publicar), en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. ....	11
Figura 4. Mapa que muestra los dos estratos que conforman el área de estudio seleccionada, sobre la que se estimó la población de venados de las pampas con diferentes métodos aéreos en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. ....	11
Figura 5. Mapa de ubicación de los transectos lineales recorridos a caballo para el registro de datos de los métodos terrestres en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, para estimar la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.....	13
Figura 6. Mapa que muestra la superficie de área de pastizal quemada en cada uno de los estratos del área de estudio, sobre el cual se estima la población de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. El polígono azul muestra la primera quema realizada en junio del 2016 y el polígono negro encierra la quema realizada en agosto del 2016. ....	14

Figura 7. Esta imagen muestra los parámetros del modelo de transectos lineales basado en distancias. El observador se desplaza por la línea de transecto desde A hasta C. Desde el punto A, el investigador observó al grupo de animales o individuo solitario que se encuentra en el punto B. La distancia desde el investigador al grupo o individuo solitario es  $r$  y  $\alpha$  es el ángulo formado entre el transecto y  $r$ . La distancia perpendicular desde la ubicación del grupo o animal solitario al transecto viene dado por  $p$ ..... 15

Figura 8. Mosaico de imágenes que muestran dos venados de las pampas (señalados con flechas). Las imágenes, sin aumento, están tomadas con la cámara de un dron y muestran el mismo lugar a diferentes alturas..... 18

Figura 9. Mapa de ubicación de las grillas sobrevoladas con el dron en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. .... 18

Figura 10. Mapa de ubicación de los transectos sobrevolados por el dron para realizar grabaciones de videos en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. .... 21

Figura 11. Mapa de ubicación de los transectos sobrevolados con la avioneta para realizar fotografías en un área que engloba los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial de venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016..... 22

Figura 12. Imagen de la consola acoplada a un avión CESSNA 206 donde se introduce la cámara fotográfica para realizar los muestreos aéreos con fotografías para estimar la población de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016..... 22

Figura 13. Probabilidad de detección como una función de la distancia para estimar la abundancia de la población de venados de las pampas del área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016. .... 28

Figura 14. Función que mide la bondad de ajuste en el método de distancias para estimar la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016. ....	28
Figura 15. Imágenes con un aumento del 100% de diferentes zonas de los mosaicos donde se observan venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso con el método del dron, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.....	31
Figura 16. Imagen de venados de las pampas a un aumento del 100% en un mosaico armado con imágenes del dron (A) y en una imagen aérea realizada con una cámara ubicada en un avión tripulado (B) en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016. ....	32
Figura 17. Comparación de los estimados obtenidos con los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron y grabaciones de videos con dron en el área de estudio, con el estimado de abundancia de venados de las pampas conocido por <i>The Conservation Land Trust</i> en la isla San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, en el año 2016.....	34

## INTRODUCCIÓN

Conocer la abundancia de individuos es una pieza clave dentro de la ecología de poblaciones y la conservación de la vida silvestre. La mayoría de las especies están catalogadas según la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (UICN) en diferentes categorías de amenazas y según éstas se establecen protocolos de actuación para su conservación. Por ello, estimar el número de individuos de las especies nos ayuda a conocer su estatus de conservación y si se requieren medidas de manejo.

A menudo, censar una población es una tarea difícil en vida silvestre, debido tanto a la dificultad en la detección de todos los individuos de la población, como al alto coste económico que supone la realización de los censos. Por ello, en muchos casos se debe hablar de estimación del tamaño poblacional, donde las diversas técnicas de muestreo intentan obtener un valor estimado, lo más cercano al valor real del número de individuos que conforman una población (Conroy et al. 2015). El procedimiento más adecuado sería seleccionar un porcentaje del área de estudio, realizar el conteo total de los animales y posteriormente proceder a la extrapolación de los valores obtenidos sobre la totalidad del área de estudio (Conroy et al. 2015).

En los últimos años ha habido un incremento en la literatura sobre los métodos utilizados para la estimación de abundancia de poblaciones de animales silvestres. Durante los años 50 comenzaron a desarrollarse diversos métodos de estimación, aunque hubo algunos trabajos antes de ese tiempo (Otis et al. 1978). Entre algunas de las investigaciones en este sentido, se pueden nombrar las de Burnham et al. (1979), Seber (1982), Caughley y Grice (1982), Arnason et al. (1991), Gros et al. (1996), Efford et al. (2004), McClintock et al. (2009), Sollmann et al. (2012) y más reciente Royle et al. (2014).

Se ha intensificado el interés por desarrollar y evaluar estimadores estadísticos robustos que permitan inferir los resultados obtenidos en las zonas de muestreo a la totalidad del área. Debido a las limitaciones que han tenido algunos de los métodos de estimación, diversos autores han desarrollado nuevas técnicas y adaptaciones que solventen estas dificultades. Uno de los principales problemas encontrados es la estimación de la probabilidad de detección de los animales (Nichols y Conroy 1996) y muchas investigaciones están orientadas a estudiar este aspecto (ej., Cook y Jacobson 1979, Laake et al. 2008).

Paralelamente a estas investigaciones sobre las variables estadísticas de los métodos, surgen otras líneas de trabajo vinculadas al estudio de nuevas metodologías de campo que permitan detectar animales de una manera más representativa y eficiente. Se están desarrollando métodos adaptados a diferentes hábitats y grupos de especies, como por ejemplo muestreos con avioneta para el estudio del rinoceronte negro en Kenia (ej., Goddard 1969) o los transectos de ancho fijo para grupos de anfibios (ej., Heyer et al. 2014).

Los métodos terrestres han sido muy utilizados porque su coste económico los hace más asequibles frente a los muestreos en avión tripulado. Sin embargo, los vuelos tripulados permitieron realizar estimaciones de tamaños poblacionales de fauna silvestre en amplias áreas y en lugares remotos y de difícil acceso (Ridpath et al. 1983). En la actualidad, los vehículos aéreos no tripulados están captando la atención de los científicos por las oportunidades que presentan y el bajo coste que suponen. Si bien las nuevas técnicas están siendo ampliamente probadas y pueden tener potencial en los programas de monitoreo, éstos deben ser contrastados con los métodos tradicionales para determinar si proporcionan estimadores robustos y repetibles de la abundancia y tendencia de la población (Engeman et al. 2013). Para ello, la comparación de estos métodos es necesaria con el objetivo de estudiar cuáles son más adecuados para cada especie, sobre todo cuando se estudian especies raras o en peligro.

La comparación de métodos ha sido objeto de investigación de muchos estudios. Desde hace tiempo hay estudios de comparación sobre diferentes métodos de campo, como los estudios desarrollados por Gilbert y Grieb (1957), Ridpath et al. (1983) y Lowry (1999), que comparan métodos terrestres y aéreos, y otros que comparan diferentes técnicas estadísticas para estimar poblaciones, como la investigación de Rich et al. (2014).

Los métodos y los estimadores propuestos en esta investigación fueron seleccionados por ser aquellos más utilizados para estimar poblaciones de venado de las pampas en Argentina, según trabajos publicados previamente. Entre ellos están los métodos terrestres, como es el método de transectos lineales de ancho variable basado en distancias (método de distancias), y los métodos aéreos, con el avión tripulado. Estos métodos se compararán con otros más innovadores como son los métodos de marca-reavistamiento y aquellos realizados con un vehículo aéreo no tripulado (dron).

En los años 30 comenzaron los primeros intentos de utilizar las distancias a los animales detectados para estimar abundancia de las poblaciones y Hayne (1949) realizó el primer estimador utilizando transecto lineal con una base matemática rigurosa

(Buckland y Anderson 2004). La base conceptual de este método es que la probabilidad de detección de un animal disminuye conforme aumenta su distancia a la línea de transecto (Burnham et al. 1980).

El uso de métodos de muestreo a distancia ha sido ampliamente utilizado para el estudio de densidades de poblaciones animales (Williams et al. 2002). Ha sido una técnica muy utilizada en la estimación de tamaños de poblaciones de mamíferos no voladores por su capacidad de determinar la probabilidad de detección, aspecto importante para obtener estimadores precisos (Buckland et al. 1993; White 2005).

El método de marca-reavistamiento es un método más económico y menos invasivo que los de marca recaptura (Otis et al. 1978). El método de marca-reavistamiento nace como una alternativa a los métodos de captura recaptura ya que juega un papel esencial en la reducción de estrés de las especies debido a que tras un evento de captura inicial, las especies pueden ser observadas a distancia provocando la mínima perturbación en los animales (McClintock et al. 2009). Debido a que asume una única captura de animales se considera más adecuado para especies raras o que se encuentren en peligro (Sollmann et al. 2013).

El método de marca-reavistamiento contempla tanto las observaciones de individuos marcados como no marcados en una población cerrada, donde solo una parte de la población está identificada individualmente (Arnason et al. 1991). Esta técnica estima la abundancia a partir de datos de los individuos marcados identificados, individuos no marcados (solo identificados a nivel de especie) e individuos marcados pero no identificados (McClintock et al. 2009; McClintock 2010). Estos individuos marcados no identificados son aquellos que el investigador no pudo definir de qué ejemplar se trató pero sí pudo observar que el animal estaba marcado.

Desde el año 1942 hay registros de muestreos aéreos que estaban enfocados al estudio de la caza mayor (Saugstad 1942). Hay una amplia literatura sobre la técnica de los muestreos aéreos con aviones tripulados. Entre algunos de los trabajos se nombran a Gilbert y Grieb (1957), Goddard (1967), Watson et al. (1969), Caughley (1977), Norton-Griffiths y Torres (1980), Short y Bayliss (1985) y Barnes et al. (1986). Esta técnica ha sido aplicada principalmente para estudios sobre abundancia de poblaciones silvestre y ha sido una herramienta muy utilizada en ambientes inhóspitos y en áreas de gran extensión.

La fotografía aérea es un sistema reciente para el seguimiento de fauna silvestre. Pernia (1997) describe este método como un sistema aerofotográfico de pequeño formato en el que la adquisición de las imágenes aéreas se realiza a partir de una cámara fotográfica de formato de 35 a 70 mm principalmente, instalada en aeronaves ligeras a través de monturas externas o internas. Este método tiene el inconveniente de su alto coste, sobretodo en la contratación de aviones y pilotos y de la poca seguridad al volar a bajas altitudes. En contraste, la persona que maneja un dron lo realiza desde tierra, lo que reduce los riesgos asociados a que las personas deban subirse a una aeronave. Además, su bajo coste los hace rentables y asequibles para los investigadores. En los últimos años hay un incremento de los estudios que aplican los drones en investigación y manejo de vida silvestre (Shahbazi et al. 2014).

Las imágenes y los videos obtenidos con el dron son una herramienta muy útil que está permitiendo obtener información no solo para especies de grandes animales o sus señales, sino también en materia de amenazas para animales, como es la cacería (Mulero-Pázmány et al. 2014). Los drones tienen la ventaja de poder volar rutas prediseñadas con mayor precisión que un avión tripulado (Hodgson et al. 2010) y se obtiene mucha información en imágenes o videos en poco tiempo de muestreo. Además, los drones son una buena opción a la hora de proporcionar imágenes de alta resolución en espacios pequeños y permiten el solapamiento de estas imágenes para obtener mosaicos georreferenciados. Los productos obtenidos, ya sean mosaicos de imágenes o videos, presentan información espacial a tiempo real.

El venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*) es un cérvido que se encontraba ampliamente distribuido por el este de América del Sur, por las planicies bajas de gran parte de Brasil, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina (Jackson 1987). Actualmente su población está en declive (González et al. 2016) habiendo sufrido un gran retroceso en Argentina debido a la fragmentación y pérdida de su hábitat, cacería y probable competición con otras especies por el forrajeo (Jackson y Giulletti 1988). La especie está catalogada como parcialmente amenazada por la UICN y está incluida en CITES Apéndice I (González y Merino 2008). Además, en Argentina, está catalogada En Peligro (Ojeda et al 2012). En este país ha quedado relegada a cuatro poblaciones naturales aisladas, dos de la subespecie *Ozotoceros bezoarticus celer* en Bahía Samborombón (Buenos Aires) y en San Luis y las dos restantes pertenecen a la subespecie *Ozotoceros bezoarticus leucogaster*, en las provincias de Santa Fe y Corrientes. Además, en la provincia de Corrientes ha sido declarada Monumento Natural Provincial (Decreto 1555/92) lo que implica la protección de la especie y de su hábitat.

Se han realizado muchos estudios sobre la estimación de la abundancia del venado de las pampas en las cuatro poblaciones silvestres que actualmente existen en Argentina. Merino y Beccaceci (1999) y Parera y Moreno (2000) realizaron muestreos aéreos recorriendo transectos aéreos en la región del Aguapey, Corrientes. En esta misma zona, Zamboni et al. (2015) realizaron un estudio de estimación del tamaño poblacional aplicando el método de transectos lineales basado en distancias. En la población existente en la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires, se llevaron a cabo muestreos aéreos para obtener estimadores de parámetros poblacionales (Gimenez Dixon 1991; Pérez Carusi et al. 2009). Para la población de San Luis, Dellafiore et al. (2003) realizaron muestreos terrestres y aéreos. En la provincia de Santa Fé, los datos obtenidos fueron registrados a través de prospecciones terrestres, según el Plan Nacional para la conservación del venado de las pampas en Argentina realizado en el 2010 (Resolución 340/2011 en su anexo I).

Ante esta situación en la que se encuentra la especie en Argentina, en el año 2009, la fundación *The Conservation Land Trust* (CLT) inició un proyecto de reintroducción del venado de las pampas en la isla de San Alonso, perteneciente a la Reserva Natural Iberá (RNI). Uno de los objetivos de la fundación fue establecer una nueva población de esta especie en la provincia de Corrientes bajo el proyecto denominado "Proyecto de conservación, rescate y restauración del venado de las pampas en la provincia de Corrientes". Entre sus objetivos se encuentra incrementar la distribución de la especie en la provincia para ayudar a su supervivencia a largo plazo (Jiménez Pérez et al. 2009).

Los animales fueron reintroducidos desde la zona del Aguapey, única población silvestre en la provincia de Corrientes, hasta la isla de San Alonso. Desde la restauración de la población, el control del tamaño poblacional fue realizado a través de censos de los individuos debido a que el número de la población era bajo y se podían distinguir a los ejemplares de manera individual por marcas naturales o artificiales. Desde el año 2013 ha ocurrido un crecimiento rápido de la población y la identificación individualizada se hace difícil de realizar. Por esta razón, se necesita cambiar la estrategia y pasar de realizar conteos completos de toda la población para estimar el tamaño poblacional.

Por lo tanto, planteo una pregunta de investigación para este estudio siguiendo la estructura del Ciclo de Indagación. Esta metodología es más acertada para ser utilizada en ecología aplicada, como por ejemplo en manejo de fauna, pues el objetivo de la investigación es tomar una decisión que se aplica sobre un contexto local (Feinsinger 2013). La pregunta que planteo es la siguiente: ¿cuál es el método de estimación del tamaño poblacional más apropiado para hacer el seguimiento de la población del venado de las pampas en San Alonso?

La respuesta a esta pregunta puede llevar a proponer una metodología que pueda utilizarse de manera estandarizada para estimar poblaciones de la especie en todo el país. De esta manera, al comparar la abundancia de las poblaciones de la especie, tanto espacial como temporalmente, se reduciría el sesgo debido al diseño del método de estimación utilizado. Esto solventaría algunos problemas como lo discutido por Zamboni et al. (2015) en su trabajo con venados de las pampas en la población del Aguapey, donde las diferencias obtenidas en las densidades estimadas en diferentes estudios podían explicarse por diferencias en las metodologías aplicadas, lo que dificultaba la comparación a lo largo del tiempo para establecer conclusiones sobre la tendencia de la población.

Todo lo expuesto anteriormente me lleva a plantear un objetivo general para este estudio: evaluar diferentes métodos de estimación del tamaño poblacional para el venado de las pampas. Además, propongo dos objetivos específicos: (1) estimar la abundancia de la población de venados de las pampas reintroducida en San Alonso con diferentes métodos y dar el resultado más preciso y (2) comparar los diferentes métodos de estimación del tamaño poblacional (método de distancias, marca-reavistamiento, conteo completo con el dron a través de mosaicos y videos y conteo completo en imágenes tomadas desde un avión tripulado) para determinar el método más apropiado para el seguimiento de la especie en San Alonso.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva Natural Iberá de 13.000 km<sup>2</sup> se encuentra ubicada en la provincia de Corrientes, Argentina, y está conformada por el Parque Provincial Iberá y la zona de Reserva Provincial. El paisaje se caracteriza por una gran diversidad de hábitats, donde se destacan los vastos pastizales, grandes lagunas, zonas palustres y áreas de bosques. El 40% de la extensión de la RNI es propiedad provincial y está constituida principalmente por las áreas de agua abiertas o permanentemente inundadas, y el resto del territorio, que pertenece a propiedades privadas, se corresponde fundamentalmente con las áreas de pastizal, de bosque y sabanas (Heinonen 2007). Estas tierras privadas están destinadas a diferentes usos, desde actividades ganaderas y plantaciones forestales, hasta usos de conservación estricta. La fundación CLT adquirió 150.000ha de propiedad privada en la zona de Reserva Provincial con fines de restauración ecológica y conservación.

El área de estudio específico fue una de las reservas de CLT, la isla de San Alonso (Figura 1). San Alonso (28°18'18"S, 57°27'14"W) es un afloramiento arenoso en la cuenca del Iberá que tiene una extensión de 11.384ha y su paisaje se caracteriza por estar conformado por pastizales abiertos, bañados y pequeños bosques (Jiménez Pérez et al. 2015). La isla está rodeada de lagunas de agua dulce y sólo hay acceso a través de lancha o avioneta. El clima es subtropical húmedo caracterizado por temperaturas promedio mensual comprendidas entre 16-17°C en los meses de junio y julio y una temperatura máxima promedio de 27-28°C en los meses de enero y febrero (Neiff y Poi de Neiff 2006).

Para esta investigación se clasifica el hábitat de San Alonso en zonas de pastizal, zonas de embalsados o encharcados y bosques hidrófilos. Dentro de los pastizales se diferencian varios tipos según el gradiente longitudinal desde el bañado hacia áreas de mayor altitud. En las zonas más inundadas se encuentran principalmente pajonales inundables de paja azul (*Paspalum durifolium*), en las áreas de media loma domina la paja colorada (*Andropogon lateralis*) y en las áreas de mayor altitud predomina el espartillo (*Elyonurus muticus*) (Pereda 2016). Los bosques hidrófilos son de distinto tamaño y algunas de las especies existentes son timboes (*Enterolobium contortisiliquum*), lapachos (*Tabebuia heptaphylla*), curupíes (*Sapium* spp.) y ubajay (*Hexachlamys edulis*), dentro de una gran variedad que suele superar las 40 especies por monte (Pereda 2016).

La cacería está prohibida en esta reserva y las actividades ganaderas finalizaron en el año 2013, cuando se sacaron las últimas vacas de la isla. Hay un sistema de manejo de fuegos prescritos con el fin de renovar el pastizal que brindaban rebrotes verdes al ganado, en el pasado, y actualmente al venado de las pampas.

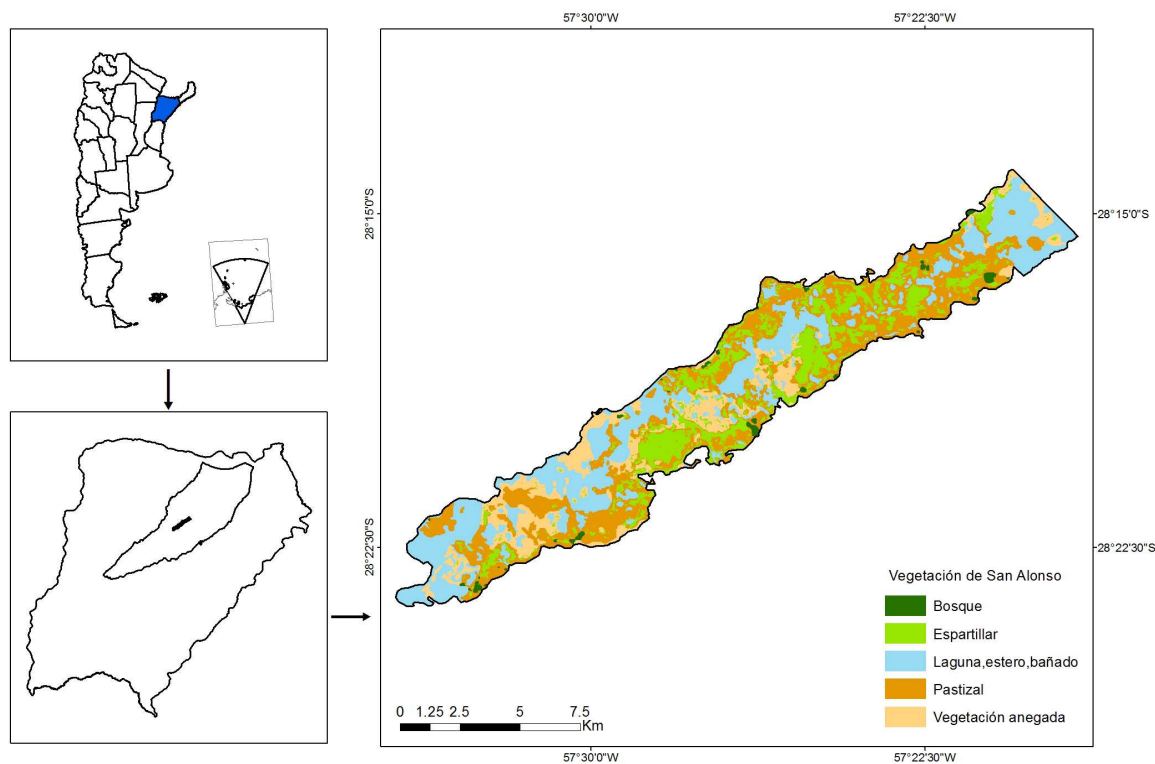


Figura 1 Mapa de vegetación de la isla San Alonso en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

## MÉTODOS

El área de estudio tiene la particularidad de ser una isla donde se conoce, de manera aproximada, el número de individuos de la población objeto de estudio, cifra que ronda los 90 individuos para la isla San Alonso (CLT, comunicación personal). Si se asume que no hay cambios demográficos durante el tiempo de muestreo, se puede considerar como una población cerrada en términos demográficos y geográficos. El contexto donde se desarrolló la investigación le otorga una situación idónea para la comparación de métodos, ya que los resultados obtenidos por cada método de conteo pueden ser comparados a una cifra de animales conocidos relativamente precisa. Los métodos seleccionados en este estudio fueron: 1) método de distancias, 2) marca-reavistamiento, 3) conteo completo en mosaicos utilizando un dron, 4) conteo completo en grabaciones de videos utilizando un dron y 5) conteo completo en imágenes obtenidas desde una avioneta.

Inicialmente realicé muestreos en diferentes estratos de la isla: a) zona de alta densidad de venados, b) zona de bajo potencial para venados y c) zona potencialmente apta para la especie (Figura 2). Tras sucesivos muestreos a caballo y muestreos con el dron, solamente registré un individuo en el norte de la isla, fuera de la ocasión de muestreo. Por lo tanto, asumí que la zona potencialmente apta, situada en la mitad norte de la isla, no contaba con grupos establecidos de la especie y decidí descartarla para este estudio debido a la baja densidad de venados. Esto está respaldado por los datos existentes de localizaciones de venados registrados desde el año 2013 a partir de todos los animales marcados que hay en la población (Figura 3), donde se verifica que el área norte de la isla es escasamente utilizada por estos animales (algunas de las localizaciones que se ven en el área norte en la Figura 3 pertenecieron a animales que actualmente están muertos). Por estos motivos, decidí delimitar el área de estudio a los dos estratos donde se comprobó la presencia regular de la especie: zona de alta densidad de individuos y zona de bajo potencial para venados (Figura 4), descartando la zona potencialmente apta y una parte del área de bajo potencial. El área de estudio muestreada dentro de San Alonso abarcó una superficie de 1250,9ha, y fue la zona sobre la cual realicé los estimadores del tamaño poblacional propuestos en este estudio, ya que asumí que el 90% de la población se localiza entre estos dos estratos.

La definición de los dos estratos la realicé basada en un conjunto de criterios relativos al tipo de hábitat y a la distribución histórica de los individuos. El estrato de alta densidad de venados (528ha) se caracterizó por ser el área de mayor concentración de registros históricos de individuos marcados (Figura 3). Además esta zona está representada en su

mayoría por espartillo, el cual es seleccionado por el venado frente al pastizal de paja colorada (Pereda 2016), y es un área de mayor altitud que disminuye la formación de bañados. Este área ha sido manejada con fuegos prescritos para la renovación del pastizal desde hace décadas, lo cual favorece a las poblaciones de venados, ya que las quemas controladas proveen más alimento para ciervos (Dills 1970). El estrato de bajo potencial para venados (722,9ha) se caracterizó por ser un área con muchos bañados donde predominan los pastizales de paja azul y paja colorada y la densidad de venados es más baja que en el estrato anterior.

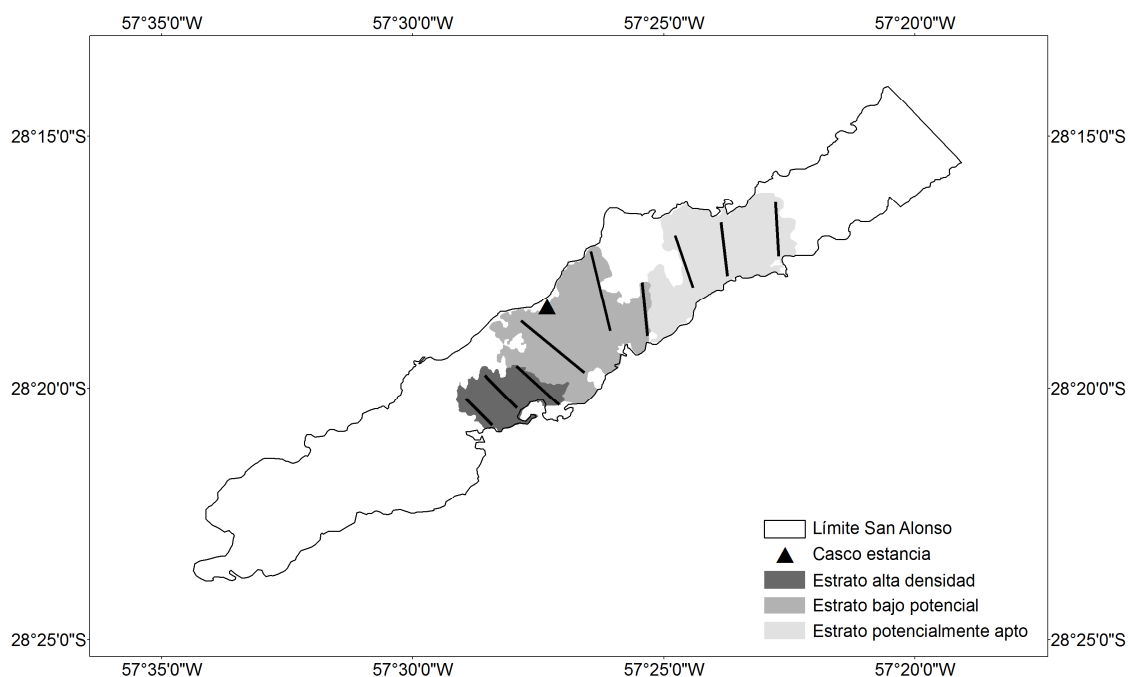


Figura 2. Mapa que muestra los tres estratos recorridos (estrato de alta densidad de venados, estrato de bajo potencial para la especie y estrato potencialmente apto para venados) a través de transectos lineales a caballo para estudiar la presencia de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

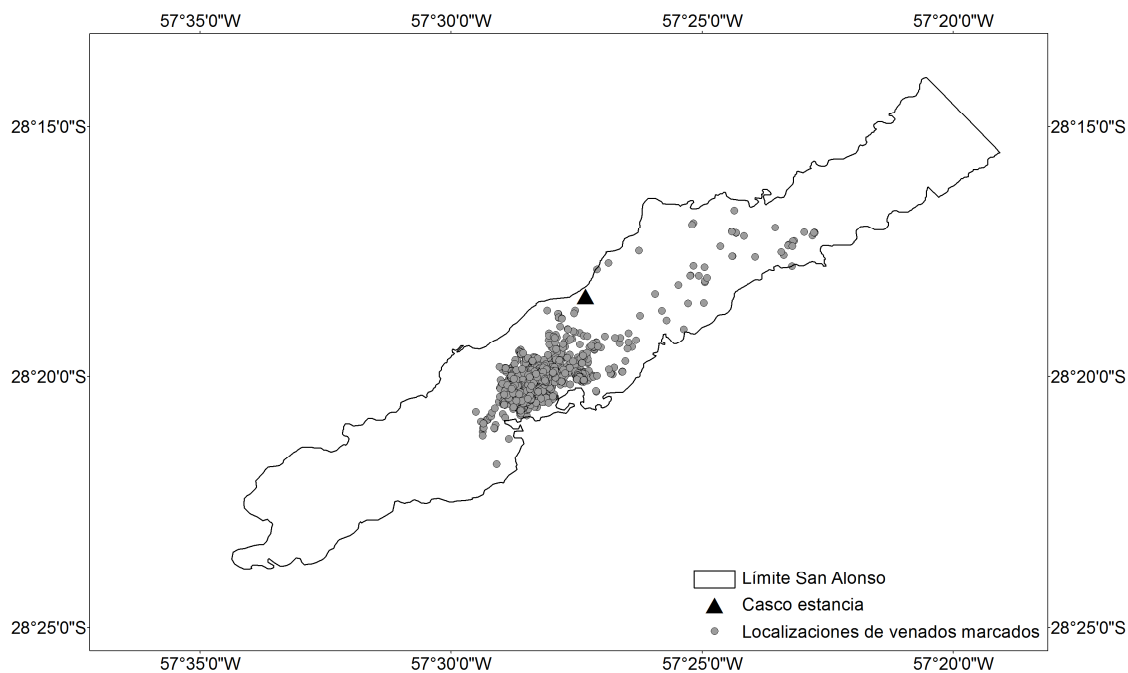


Figura 3. Mapa de localizaciones de individuos identificados desde el año 2013 hasta junio del año 2016 en San Alonso (The Conservation Land Trust, datos sin publicar), en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

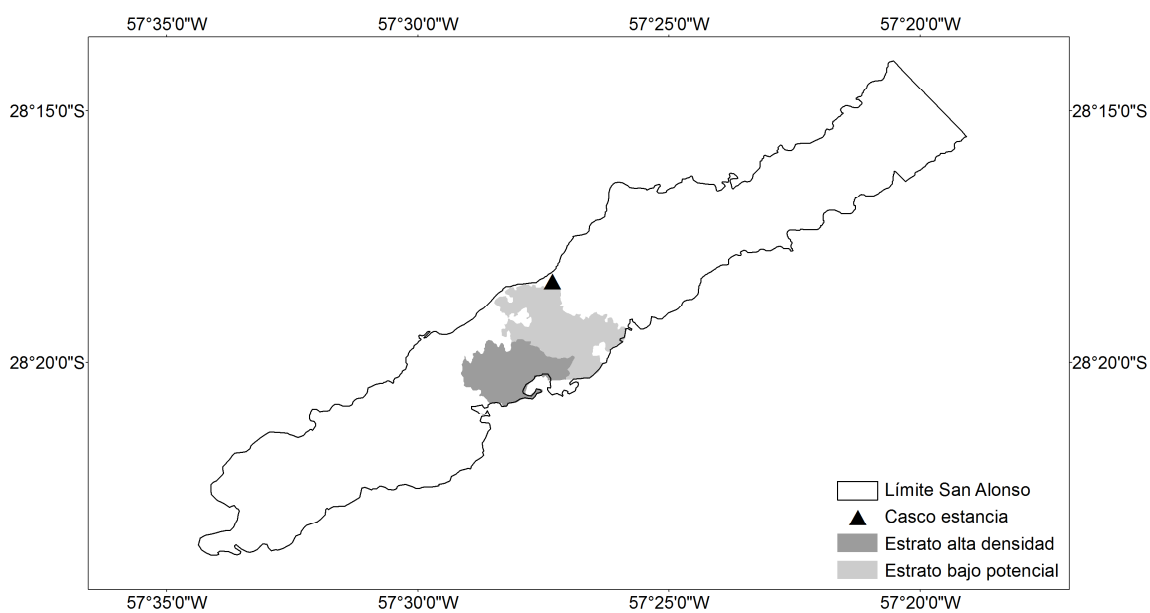


Figura 4. Mapa que muestra los dos estratos que conforman el área de estudio seleccionada, sobre la que se estimó la población de venados de las pampas con diferentes métodos aéreos en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

### **Métodos terrestres: 1) método de distancias y 2) marca-reavistamiento**

Realicé los mismos recorridos de campo (transectos lineales a caballo) para el método de distancias y el de marca-reavistamiento. Por esta razón, expongo la metodología de manera conjunta para ambos métodos.

Realicé un muestreo para definir la longitud total de los transectos. Con los datos obtenidos y los requeridos para aplicar la expresión matemática  $L=(b/(CV(D))^2)*(L0/N0)$  (Burnham et al. 1980) obtuve la longitud adecuada de transectos para el muestreo. Se requirió un total de 11,4km de transecto para el área de estudio, que según datos del muestreo, sería el tamaño de muestra adecuado para emplear ambos métodos. Debido a la limitación de la superficie de este área, únicamente pude ubicar 7,6km de transectos, ya que tuve que tener en cuenta la independencia espacial de los mismos.

Para asegurar la independencia de los transectos fue necesario conocer el movimiento de los individuos, con el objetivo de reducir la posibilidad de cometer errores por dobles conteos de individuos en transectos contiguos. Por lo tanto, realicé el seguimiento de cinco individuos marcados con radiocollar y anoté sus ubicaciones durante cuatro días. Estos datos demostraron que cuatro de ellos no se movieron más de 1km entre días. Sin embargo, uno de los individuos tuvo un comportamiento diferente y se movió un promedio de 3,5km, cuya causa probable pudo deberse a que ese individuo fue encontrado con una herida.

Además, consideré importante comprobar cuánto se desplazaban los animales en el tiempo de 2 horas y 30 minutos, que es el tiempo máximo que invertí en recorrer dos transectos contiguos. De esta manera quería comprobar si en ese tiempo los individuos se movían fácilmente entre estos transectos. Los datos determinaron que ninguno de los cinco individuos estudiados se alejaron más de 250m desde el punto inicial de ubicación en ese intervalo de tiempo. Estos argumentos los utilicé para ubicar los transectos a una distancia de 1km entre ellos y mantener de esa manera la independencia de los datos obtenidos.

En los muestreos realizados en el área de alta densidad de venados encontré que cuando el pastizal estuvo quemado, los animales se desplazaban mayores distancias en busca de pastizal alto donde podían refugiarse ante mi presencia. Este mayor desplazamiento de los venados podía repercutir en la posibilidad de encontrarlos en el transecto contiguo. Por lo tanto, en los últimos tres muestreos eliminé del muestreo el transecto central (Figura 5) para aumentar la distancia entre transectos a 2km y así disminuir la posibilidad de doble conteo de un mismo animal.

El muestreo fue un diseño sistemático debido a que la superficie del área de estudio es limitada y la ubicación al azar de los transectos fue difícil puesto que se buscaba la independencia de los mismos. Los transectos fueron ubicados a favor del gradiente del terreno recorriendo el ancho de la isla. Ubiqué cuatro transectos (Figura 5), tres en la zona de alta densidad de individuos y uno en la zona de bajo potencial para venados. Realicé 10 muestreos a caballo a una velocidad de 4 a 6km/h con un intervalo temporal de 10 o 11 días entre muestreos. Para evitar el doble conteo muestreé los transectos el mismo día en cada ocasión de muestreo.

Los datos registrados fueron: a) las distancias desde el observador al individuo o grupo con ayuda de un distanciómetro, b) el ángulo en el que se encontraba el individuo o grupo con respecto al norte geográfico con ayuda de una brújula magnética, c) el punto de ubicación desde el cual observé al individuo o grupo de individuos, d) el número de grupos de venados observados, e) el número de individuos de cada grupo, f) la estación climática (invierno o primavera) del momento de cada avistaje y g) si la zona donde se localizaba cada animal estaba quemada o no quemada. Además, clasifiqué a los animales que registré en tres categorías: animales con marcas e identificados, animales con marcas no identificados y animales no marcados. La identificación de los animales la hice con ayuda de binoculares, pero éstos no los utilicé para la detección de los venados.

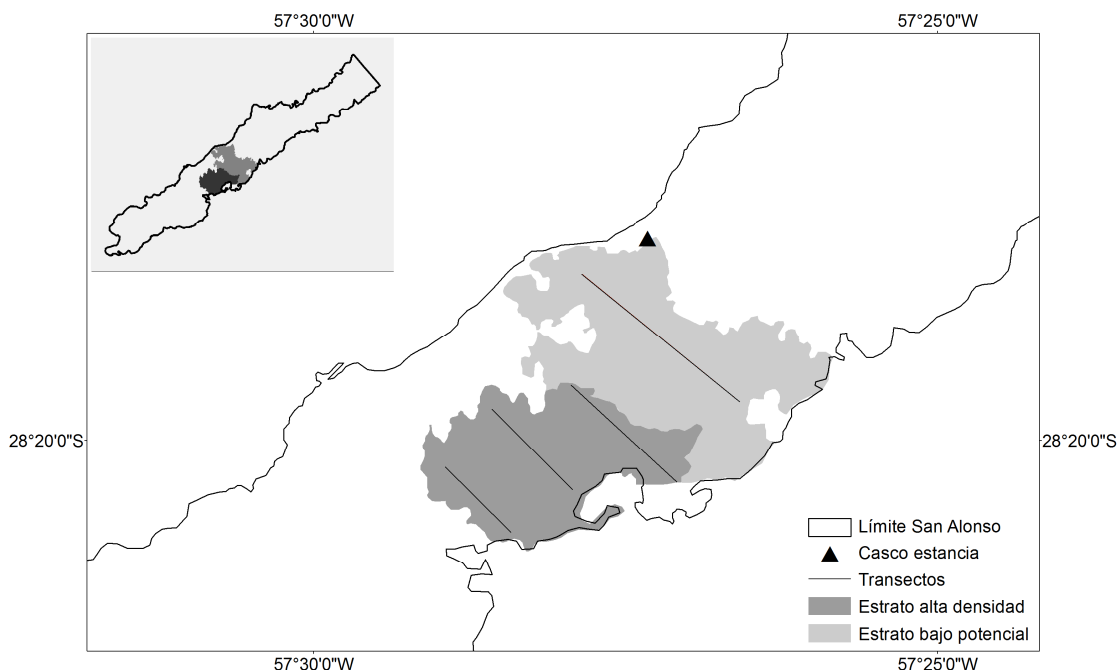


Figura 5. Mapa de ubicación de los transectos lineales recorridos a caballo para el registro de datos de los métodos terrestres en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, para estimar la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

Es importante describir que se realizaron dos quemas del pastizal en el área de estudio (Figura 6). El primer parche quemado, que abarcó 55ha, fue en junio del 2016, un mes antes de comenzar los muestreos y el segundo parche quemado, de 598,6 ha, fue en agosto del 2016, que coincidió días antes de comenzar el tercer muestreo terrestre. De este muestreo en adelante, el 52% del área de estudio estuvo quemada y los cuatro transectos se localizaban, parcial o totalmente, dentro de la superficie quemada.

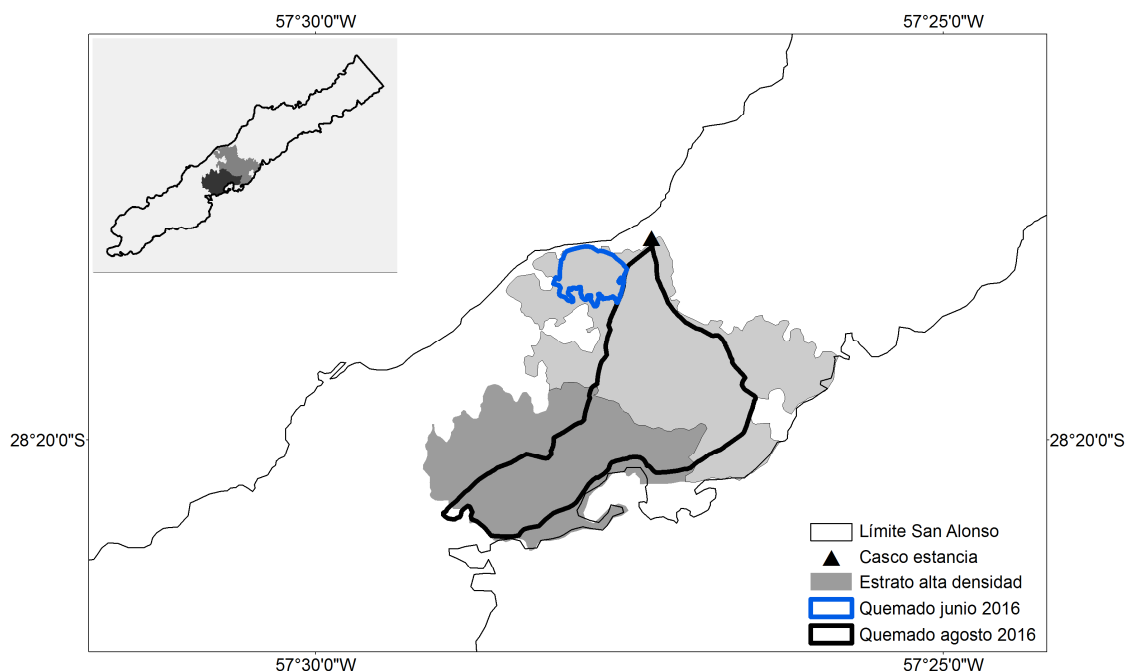


Figura 6. Mapa que muestra la superficie de área de pastizal quemada en cada uno de los estratos del área de estudio, sobre el cual se estima la población de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016. El polígono azul muestra la primera quema realizada en junio del 2016 y el polígono negro encierra la quema realizada en agosto del 2016.

Asumí que la curva de detección se mantuvo fija en los dos estratos del área de estudio, debido a que el terreno es homogéneo y está conformado por un área abierta de pastizal. Además, la superficie de pastizal raso, provocada por las quemas de pastizal que permitió una mejor detección, es similar en ambos estrato, ocupando el 50% del área del estrato de alta densidad y el 53.3% del estrato de bajo potencial para venados.

### *Análisis de datos del método de distancias*

Para realizar los análisis comencé con el cálculo de las distancias perpendiculares de los animales al transecto, las cuales son necesarias para aplicar el estimador de transectos lineales basado en distancias. Para obtener estas distancias, en primer lugar debía tener el punto de coordenada de la posición exacta de cada grupo o animal solitario que encontré. Este punto de coordenada lo obtuve gracias a los datos que recopilé en campo referentes al punto del transecto desde donde realicé la observación, la distancia calculada y el ángulo geográfico desde el transecto a la posición del animal. De esta manera obtuve la localización de cada animal o grupo y desde ahí dibujé las líneas perpendiculares al transecto y medí estas longitudes (Figura 7). Todos estos cálculos los realicé en el programa ArcGis®.

Posteriormente, utilizando el programa estadístico "Distance" (Miller 2016) dentro de R (R Core Team 2016), obtuve las densidades de los venados de las pampas por estrato. Además el programa calculó la abundancia de cada uno de los estratos y la abundancia absoluta para el área de estudio.

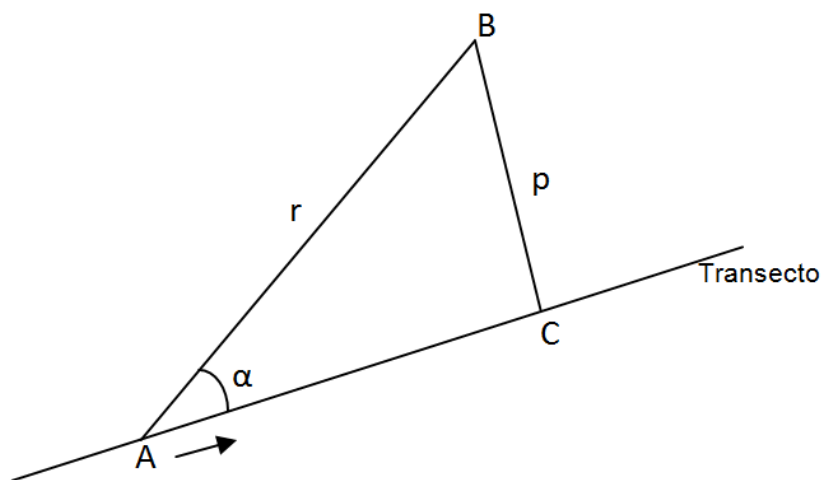


Figura 7. Esta imagen muestra los parámetros del modelo de transectos lineales basado en distancias. El observador se desplaza por la línea de transecto desde A hasta C. Desde el punto A, el investigador observó al grupo de animales o individuo solitario que se encuentra en el punto B. La distancia desde el investigador al grupo o individuo solitario es  $r$  y  $\alpha$  es el ángulo formado entre el transecto y  $r$ . La distancia perpendicular desde la ubicación del grupo o animal solitario al transecto viene dado por  $p$ .

Analicé las funciones *half normal* y *hazard rate* contenidas en "Distance" y varias covariables para determinar cuál fue el modelo que mejor explicó el ajuste de los datos. Estas covariables fueron: tamaño de grupo, área quemada y no quemada, estación climática (invierno, primavera) y tipo de estrato. Además apliqué diferentes niveles de truncamientos para mejorar el ajuste de los datos de distancias. Seleccioné el mejor modelo basándome en el que tuviera un menor valor del Criterio de Información de Akaike (AIC; Buckland et al. 1993). No comparé el AIC de modelos que tuvieran diferentes truncamientos (Miller et al. 2016). Si la diferencia entre los AIC de varios modelos es inferior a 2, es frecuente que también sea similar el estimador de la probabilidad de detección, por lo tanto, se puede seleccionar el modelo más simple (Miller et al. 2016).

Comprobé la bondad de ajuste realizando un test de Cramer-von Mises y realicé el correspondiente Q-Q plot, todo ello dentro del ambiente de R (R Core Team 2016). En este estudio se utilizó el término "probabilidad de detección" para describir la probabilidad de que un animal sea detectado en el área de muestreo.

#### *Análisis de datos del método de marca-reavistamiento*

Para calcular el estimado de abundancia de la población de venados de las pampas en el área de estudio usé el modelo captura-reavistamiento en el programa *Mark* (McClintock 2010). En este estudio, el evento de captura para marcar a los animales no tuvo que realizarse porque ya se encontraban marcados. El reavistamiento se correspondió con el evento en el que un individuo con marca fue observado en cada una de las ocasiones de muestreos y realicé historias de encuentros de cada animal marcado. Con estas historias de encuentros de individuos marcados, más los registros correspondientes a los animales marcados no identificados y los individuos no marcados, *Mark* estimó la probabilidad de detección y con ello, la abundancia de la población localizada bajo el área de estudio.

La función que seleccioné para el análisis de datos fue *Logit-Normal Mark Resight* (McClintock 2010). Elaboré varios modelos teniendo en cuenta si la probabilidad de detección fue homogénea o heterogénea entre los muestreos y si la estacionalidad influyó en la detección de individuos.

Únicamente tuve en cuenta la población juvenil y adulta, descartando las crías para el análisis, con el objetivo de asegurar el supuesto de población cerrada. Esto se aplicó para los dos métodos terrestres.

### 3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos

Este método consistió en realizar fotografías aéreas utilizando un dron. Con las imágenes obtenidas se procedió a armar los mosaicos. Estos mosaicos del terreno son obtenidos gracias al desarrollo de algoritmos que permiten la unión de imágenes superpuestas, estiman la precisión de la cámara y producen nubes de puntos que permiten obtener ortomosaicos (Nuñez Calleja 2016). Cada mosaico es una única imagen digital del terreno, el cual utilicé para el conteo de los venados de las pampas.

El dron utilizado en esta investigación fue un Phantom 3 Professional, fabricado por DJI. Este dron contó con una cámara modelo FC300X, de 12,4 megapíxeles efectivos, la cual permitió realizar fotografías con unas dimensiones de 4000x3000 píxeles y una resolución de 72 píxeles/pulgada. Las fotografías se realizaron en posición cenital (con un ángulo de 90° perpendicular al suelo). La distancia focal fue de 20 mm (gran angular) y la profundidad de campo fue de 2,8. En este estudio utilicé una ISO de 100 y la velocidad de obturación varió entre 1/500s y 1/1000s. La altura de vuelo fue de 60m sobre el nivel del terreno y la velocidad del vuelo fue promediada en 36km/h, aunque varió según las ráfagas de viento durante el vuelo.

La aplicación para teléfono móvil "pix4D" me permitió programar el dron para que volara una ruta predefinida (grilla) de manera autónoma. Cada grilla se correspondió con una superficie rectangular conformada por recorridos de ida y vuelta en los que el dron fue realizando fotografías. Estos recorridos estaban ubicados a una distancia que permitió el solapamiento de las imágenes lateralmente. El resultado final fue que el dron realizó una cobertura fotográfica en cada grilla que fue apta para la creación de un mosaico. Fue necesario otorgar una serie de parámetros para cada grilla y para esta investigación seleccioné los siguientes: 60m para la altura de vuelo (Figura 8), 70% de traslape frontal y lateral de las imágenes y un área muestreada de 600x350m. Estas características fueron seleccionadas acordes a la duración de la batería del dron, la cual fue de 20 minutos, de los cuales solo fueron efectivos 13 minutos.

Realicé tres muestreos con el dron y en cada uno realicé cuatro grillas. Ubiqué tres grillas en el área de alta densidad de venados y una grilla en el área de bajo potencial para venados (Figura 9). Las localizaciones de las grillas las diseñé de tal manera que pudiera volar las tres grillas de la zona de alta densidad de venados de las pampas desde un punto fijo, con el fin de minimizar cualquier perturbación de los venados debido a mi presencia. Los muestreos con el dron coincidieron, temporalmente, cuando el área se encontraba quemada. Dos de las grillas estuvieron ubicadas en áreas quemadas y en las otras dos grillas la mitad de la superficie coincidió con el área quemada.

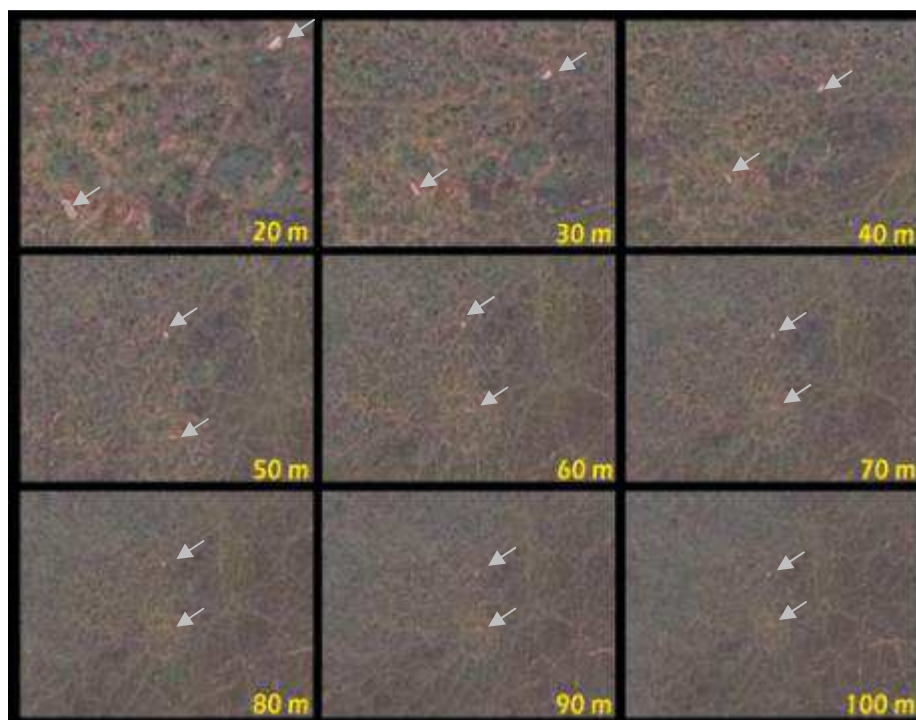


Figura 8. Mosaico de imágenes que muestran dos venados de las pampas (señalados con flechas). Las imágenes, sin aumento, están tomadas con la cámara de un dron y muestran el mismo lugar a diferentes alturas.

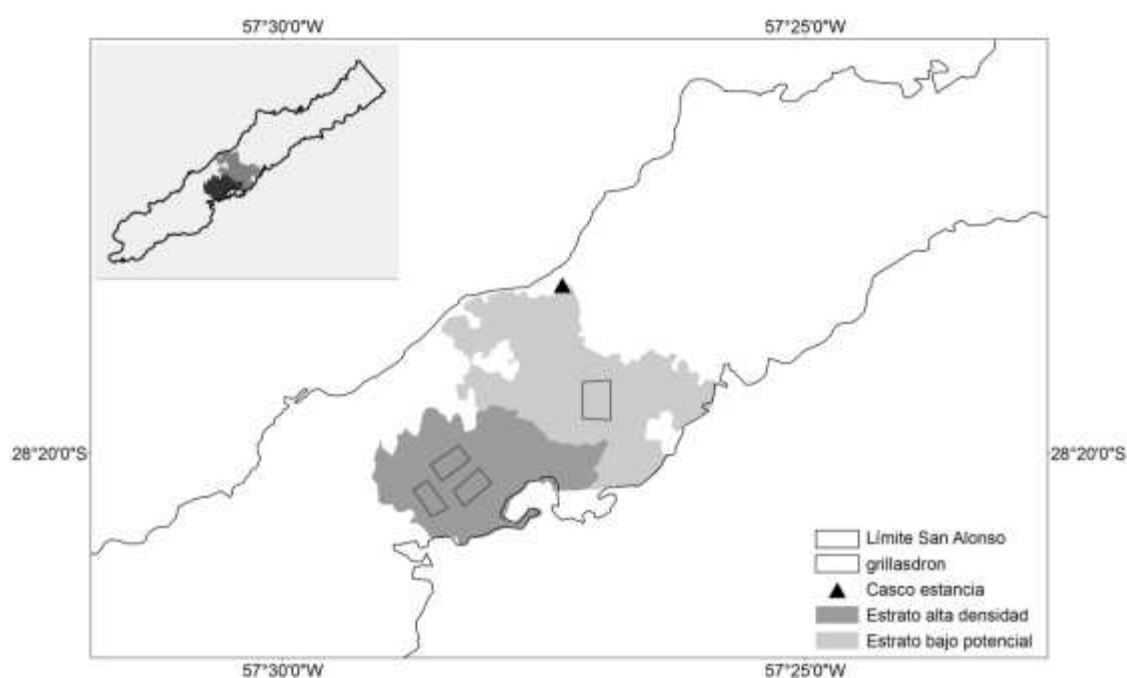


Figura 9. Mapa de ubicación de las grillas sobrevoladas con el dron en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

La hora de vuelo seleccionada se correspondió con las primeras horas del día para conseguir la mayor sombra posible proyectada por los animales, ya que al ser una especie críptica la sombra permite una mejor detección de los individuos durante la revisión de los mosaicos. No sobrevolé un mismo área en dos momentos diferentes del día con el fin de evitar el doble conteo de individuos y los vuelos los hice consecutivos y lo más rápidamente posible en una única ocasión de muestreo por estrato.

Para realizar el procesamiento de las imágenes y obtener un mosaico del área muestreada utilicé la versión "prueba" del software pix4D®. Para más información sobre el método utilizado por este software ver Nuñez Calleja (2016).

Después del procesamiento de los mosaicos en el programa versión "prueba" pix4D® se obtuvo como resultado un informe donde se evaluó la calidad de cada mosaico a través de una serie de indicadores. De ellos se destacó la importancia de estudiar el grado de solapamiento de las imágenes (Anexo 1). Otro de los indicadores que estudié para comprobar la calidad de los mosaicos fue la varianza en el parámetro de la geolocalización relativa. La precisión de la geolocalización podría estar sobrestimada si menos del 99,6% de las imágenes geolocalizadas y calibradas tienen un error entre -3 y 3 (Pix4D Support 2017).

Los mosaicos resultantes los revisé para contar los venados de las pampas utilizando el programa ArcGis®. Esta revisión la realicé con un aumento del 100% para tener mayor detección de individuos. Para verificar cada animal localizado revisé la imagen original, la cual tiene mayor resolución. Esto lo realicé con ayuda de ArcGis® debido a que estos mosaicos están georreferenciados. Asumí una detección de individuos en los mosaicos del 100%.

Este método consistió en seleccionar muestras del área de estudio independientes para proceder a los recuentos, y posteriormente utilizar los procedimientos de estimación para extrapolar los valores obtenidos al área de estudio total. Para realizar este análisis utilicé el paquete "Survey" (Lumley 2016), dentro de R (R Core Team 2016). Este programa utiliza el valor de las unidades de muestreo posibles que conformarían el área de estudio total para realizar los procesos de extrapolación. Este programa dio como resultados la abundancia de cada uno de los estratos y la abundancia total del área de estudio. Este análisis lo realicé teniendo en cuenta los datos registrados en los tres muestreos, con el fin de obtener una muestra más representativa de la realidad.

#### **4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos**

Realicé grabaciones de video utilizando el dron a través de transectos lineales. Ubiqué cuatro transectos (Figura 10), dos que representaron el estrato de alta densidad de venados (con un total, entre los dos transectos, de 2726,6m de longitud) y dos transectos ubicados en el área de bajo potencial para venados (con una longitud total de 2810m). Todos los transectos tuvieron un ancho de 101,63m, que se corresponde con el ancho de la superficie cubierta por el video del dron a la altura de vuelo de 60m. Los transectos estuvieron separados una distancia de 500m para mantener la independencia entre ellos. Los vuelos los realicé entre las 7:00h y las 8:00h, momento en el que los animales estaban activos y el sol proyectaba la sombra de los mismos. Realicé dos ocasiones de muestreo con este método.

El dron utilizado fue el mismo que usé para realizar el muestreo de dron con fotografías. La cámara de este modelo de dron grabó en 4K. Las dimensiones del video fueron de 3840x2160 píxeles a 25 fotogramas por segundo. Los 4 vuelos realizados en cada ocasión de muestreo fueron efectuados de manera consecutiva con una duración promedio de 7 minutos por vuelo. Realicé todos los vuelos desde una misma ubicación con el objetivo de evitar la perturbación de los animales debido a mi movimiento.

Todos los muestreos hechos con el dron realizando grabaciones de video coincidieron cuando el área estuvo quemada. Tres de los cuatro transectos estuvieron ubicados en áreas quemadas.

Estas grabaciones las revisé en un televisor marca LG de 50 pulgadas. En un primer momento revisé el video centrándome en el cuadrante derecho de la pantalla y posteriormente realicé una segunda revisión fijándome en el cuadrante izquierdo del televisor. Este método lo repetí dos veces por cada transecto. Asumí que obtuve una detección del 100%.

El análisis de la estimación de la abundancia también lo realicé con el paquete "Survey" (Lumley 2016), dentro de R (R Core Team 2016). Este análisis lo llevé a cabo con los datos registrados en las dos ocasiones de muestreos. Este paquete estadístico dio como resultado la abundancia absoluta de venados de las pampas en cada uno de los estratos y además, la abundancia total para el área de estudio. Estos estratos son los mismos sobre los que estimé el tamaño de la población en los métodos anteriores.

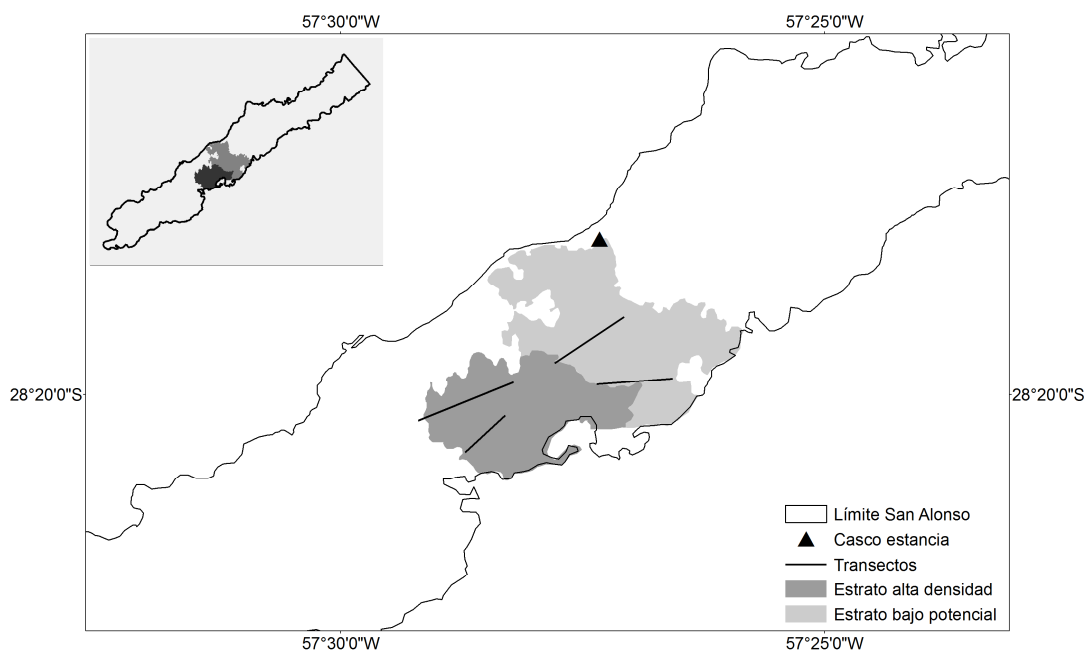


Figura 10. Mapa de ubicación de los transectos sobrevolados por el dron para realizar grabaciones de videos en los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial para venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

### 5) Método aéreo con avioneta: conteo completo en imágenes

Diseñé transectos lineales que sobrevolé con un avión tripulado CESSNA 206 perteneciente a CLT para realizar fotografías aéreas sobre las cuales hacer el conteo de los venados de las pampas. El diseño fue fijar siete transectos paralelos para contar los animales de manera sistemática. Estos transectos los separé 500m con el fin de mantener independencia entre las imágenes. Los recorridos tuvieron longitudes variables (Figura 11). El vuelo lo realicé a las 8:00h, momento en el que las sombras de los animales fueron lo suficientemente largas que facilitaron la detección de los mismos.

Coloqué una consola en la avioneta para la cámara fotográfica (Figura 12) diseñada por el Ing. Pedro Friedrich y Carlos De Ángelo (C. De Ángelo, Instituto de Biología Subtropical, CONICET, comunicación personal). La consola fue un soporte ajustado a la ventana del avión que permitió mantener la cámara fija para realizar las fotografías. La cámara fue un modelo Nikon D3200 con una lente NIKKOR 35mm AF-S. Ajusté los parámetros de la cámara a las condiciones climáticas de ese día, velocidad de obturación 1:4000, ISO:200, profundidad de campo 1,8 y enfoque automático.

La altura de vuelo se programó para 350m de altura. Coloqué un disparador remoto a la cámara para la automatización de la misma. Este disparador lo programé para capturar imágenes cada segundo. Las imágenes tomadas por esta cámara tuvieron una dimensión de 6016x4000 y la resolución de 300 píxeles/pulgada.

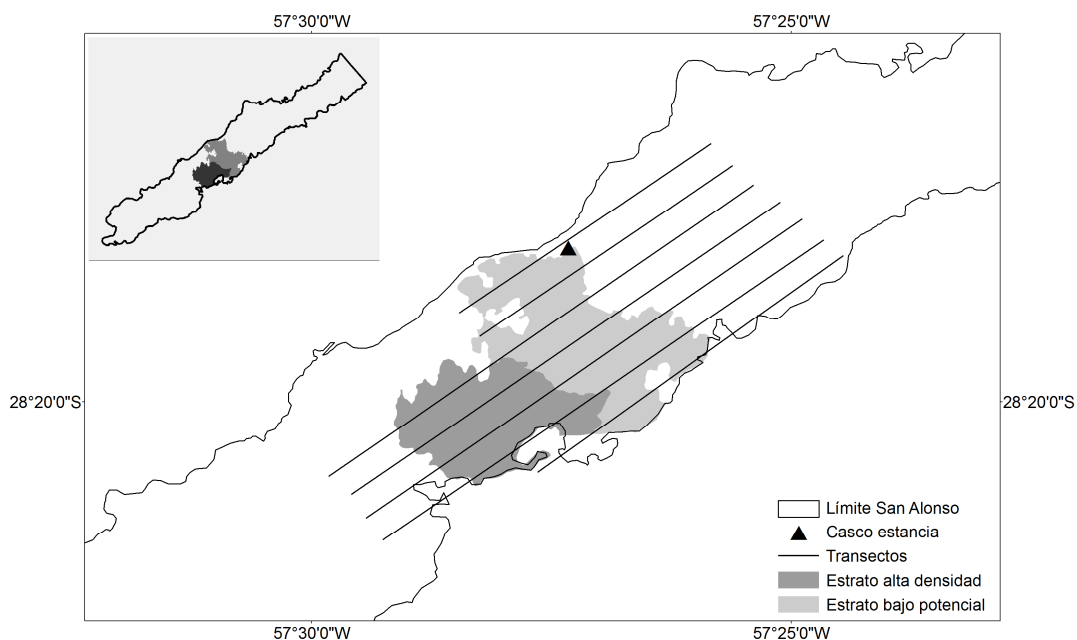


Figura 11. Mapa de ubicación de los transectos sobrevolados con la avioneta para realizar fotografías en un área que engloba los dos estratos definidos, estrato de alta densidad de venados y estrato de bajo potencial de venados, en el área de estudio en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.



Figura 12. Imagen de la consola acoplada a un avión CESSNA 206 donde se introduce la cámara fotográfica para realizar los muestreos aéreos con fotografías para estimar la población de venados de las pampas en San Alonso, en la Reserva Natural Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

Para procesar las imágenes durante el vuelo utilicé un programa de computadora llamado DigiCamControl. Este programa permitió ver las imágenes que va realizando la cámara durante el vuelo y así poder cambiar los parámetros de la cámara en caso de que fuera necesario.

Debido a varios fallos técnicos ocurridos durante el vuelo, fue imposible realizar la georreferenciación de las imágenes. Esto repercutió en que no pude ubicar las imágenes en el área de estudio seleccionado para esta investigación, debido a que el avión sobrevoló gran parte de la isla e incluso del estero, realizando fotografías al azar que no pude georreferenciar. Estos errores en la aplicación del método repercutió en la posibilidad de realizar un estimado que diera un resultado próximo a la realidad y esto hizo que lo excluyese de los análisis de datos, al no cumplirse adecuadamente los requisitos del método. Sin embargo, debido a que este método es ampliamente utilizado para estimar poblaciones de la especie en Argentina, lo retomo en la parte de discusión donde analizo sus ventajas e inconvenientes junto a los demás métodos utilizados en este estudio.

### Comparación de métodos

Para seleccionar el método que dio un estimado más próximo al valor real del tamaño poblacional del venado de las pampas comparé el estimado obtenido en cada método con la cifra conocida por CLT. De esta manera seleccioné el método que presentó mejor precisión y exactitud conforme al parámetro conocido (90 individuos).

Para categorizar los atributos metodológicos de cada método valoré cada parámetro según los siguientes criterios:

- Para el parámetro "esfuerzo en horas de campo" definí una serie de categorías: **bajo**, si invertí entre 1 y 2 horas en obtener los datos en campo; **medio**, si invertí entre 3 y 8 horas (tiempo máximo equivalente a una jornada laboral); **alto**, si dediqué más de 8 horas.
- Para el parámetro "esfuerzo en horas de revisión del material visual por muestreo" apliqué las siguientes categorías: **bajo**, si invertí entre 1 y 2 horas en la revisión del material visual; **medio**, si dediqué entre 3 y 8 horas (tiempo máximo equivalente a una jornada laboral); **alto**, si invertí más de 8 horas; **NA**, si el método no requiere la revisión de material visual.

- Para el parámetro "número de ocasiones de muestreos propuestos" apliqué las siguientes categorías: **bajo**, si únicamente requiere una ocasión de muestreo; **medio**, si la precisión del estimado mejora haciendo entre 2 y 5 ocasiones de muestreo; **alto**, si la precisión del estimado aumenta realizando más de 5 ocasiones de muestreo.
- Para el parámetro "posibilidad de cometer errores por doble conteo" apliqué una variable categórica **si/no**, si observé la posibilidad de cometer errores por doble conteo por el movimiento de los animales en campo o si lo detecté en el material visual revisado, o por el contrario, si no lo observé.
- Para el parámetro "categorías según el coste económico de cada método " definí tres categorías: **bajo**, si la inversión del método implica menos de 1000\$USD; **medio**, si el presupuesto del método se encuentra entre 1000 y 2000\$USD; **alto**, si la inversión implica más de 2000\$USD.
- Para el parámetro "detección completa de individuos en el área de muestreo" le otorgué una variable categórica **si/no**, dependiendo si asumí que los métodos tuvieron una detección completa en el área de muestreo o por el contrario no tuvieron una detección completa y se estimó la probabilidad de detección.
- Para el parámetro "impacto comportamiento individuos" definí tres categorías: **bajo**, si el método minimiza la invasión del investigador en la zona de venados evitando en mayor grado el movimiento de los animales por la presencia del mismo; **medio**, si el investigador invade el área donde se encuentran los animales lo que repercute en cambios en el comportamiento de los individuos; **alto**, si el método requiere la captura de animales.

## RESULTADOS

### 1) Método de distancias

Realicé un esfuerzo de muestreo de 63,1km de transectos recorridos en el área de estudio teniendo en cuenta todas las ocasiones de muestreo. Registré un total de 84 observaciones, 31 animales solitarios y 53 grupos, los cuales estuvieron conformados desde 2 hasta 11 individuos.

Seleccioné un truncamiento de 350m y realicé 32 modelos combinando las funciones claves con las covariables. Comparé los AIC de todos los modelos realizados (Cuadro 1). Tras el estudio de los modelos con un AIC menor de 2 (Cuadro 2) comprobé que el modelo de menor AIC fue aquel que tuvo en cuenta dos covariables, tamaño de grupo y área quemada y el segundo modelo fue explicado por la covariable tamaño de grupo. Seleccioné el segundo modelo (modelo36 en Cuadro 2) para explicar el ajuste de los datos por ser el modelo más simple con un AIC menor de 2.

El modelo seleccionado tuvo una función del tipo *hazard rate* con la covariable tamaño de grupo como la que afectó a la función de probabilidad de detección. El promedio de la probabilidad de detección fue de 0,45 (EE=0,08; Figura13). La densidad por estrato fue de 9.5 individuos/km<sup>2</sup> (95% IC=5,8-15,4) para el área de alta densidad de individuos y 2,7 individuos/km<sup>2</sup> (95% IC=0,1-64,8) para el área de bajo potencial para venados. Esto proporcionó una abundancia por estrato de 50 individuos (95% IC=31-82; EE=10,65) para el estrato de alta densidad de venados y de 20 individuos (95% IC=1-469; EE=8,38) para el estrato de bajo potencial. La abundancia absoluta estimada para la población localizada en el área de estudio fue de 70 individuos (95% IC=43-113; EE=14,9). El tamaño promedio de los grupos de venados fue de 1.84 individuos (EE= 0,34).

El modelo seleccionado pasó el test de Cramer-von Mises que mide la bondad de ajuste (Test Statistic = 0,059523, P = 0,81698). El valor de P no es significativo, lo que se concluye que el modelo puede ser considerado plausible. El correspondiente Q-Q plot se muestra en la Figura 14.

Cuadro 1. Comparación entre los diferentes modelos, analizados en el programa estadístico "Distance" con un truncamiento de 350m, para estimar la función de detección del venado de las pampas en el área de estudio de San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016. **AIC**: Akaike's information criterion

<b>Modelo</b>	<b>Función clave</b>	<b>Covariables</b>	<b>AIC</b>	<b>Delta AIC</b>
mm33	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo + quemado	884,064	0
mm36	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo	884,814	0,749
mm47	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo + estrato	884,954	0,890
mm39	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo + quemado + estrato	885,446	1,382
mm047	<i>Hazard-rate</i>	estación + tamaño grupo + estrato	885,751	1,687
mm045	<i>Hazard-rate</i>	estación + quemado + tamaño grupo	885,973	1,909
mm043	<i>Hazard-rate</i>	estación + tamaño grupo	886,564	2,500
mm048	<i>Hazard-rate</i>	estación + quemado + tamaño grupo + estrato	886,662	2,598
mm43	<i>Half-normal</i>	tamaño grupo + quemado	887,643	3,579
mm40	<i>Half-normal</i>	tamaño grupo	888,453	4,389
mm036	<i>Half-normal</i>	estación + tamaño grupo	888,701	4,637
mm038	<i>Half-normal</i>	estación + quemado + tamaño grupo	889,386	5,322
mm46	<i>Half-normal</i>	quemado + tamaño grupo + estrato	889,398	5,334
mm44	<i>Half-normal</i>	tamaño grupo + estrato	890,399	6,335
mm040	<i>Half-normal</i>	estación + tamaño grupo + estrato	890,638	6,574
mm041	<i>Half-normal</i>	estación + quemado + tamaño grupo + estrato	891,097	7,033
mm34	<i>Half-normal</i>	sin covariable	891,166	7,102
mm033	<i>Half-normal</i>	Estación	891,659	7,596
mm35	<i>Hazard-rate</i>	sin covariable	892,503	8,439
mm035	<i>Half-normal</i>	estación + quemado	892,768	8,704
mm41	<i>Half-normal</i>	Quemado	892,880	8,816
mm42	<i>Half-normal</i>	Estrato	893,025	8,961
mm037	<i>Half-normal</i>	estación + estrato	893,643	9,579
mm38	<i>Hazard-rate</i>	Estrato	893,808	9,744
mm37	<i>Hazard-rate</i>	Quemado	894,187	10,123
mm034	<i>Hazard-rate</i>	Estación	894,293	10,229
mm45	<i>Half-normal</i>	quemado + estrato	894,609	10,545
mm039	<i>Half-normal</i>	estación + quemado + estrato	894,764	10,700
mm48	<i>Hazard-rate</i>	estrato + quemado	895,605	11,541
mm044	<i>Hazard-rate</i>	estación + estrato	895,806	11,742
mm042	<i>Hazard-rate</i>	estación + quemado	896,003	11,939
mm046	<i>Hazard-rate</i>	estación + quemado + estrato	897,599	13,535

Cuadro 2. Comparación de diferentes modelos evaluados, obtenidos con el paquete "Distance" que tienen un truncamiento de 350m y un delta del AIC menor de 2, para estimar la función de detección del venados de las pampas en el área de estudio seleccionada en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

**AIC:** Akaike's information criterion; **D:** densidad de individuos/km<sup>2</sup>; **estrato A:** estrato de alta densidad de venados; **estrato B:** estrato de bajo potencial para venados; **95%IC:** intervalo de confianza al 95%; **Abundancia:** estimador de la abundancia absoluta para el área de estudio; **EE:** error estándar.

Modelo	Función Clave	Fórmula	AIC	Delta AIC	D estrato A	95% IC	D estrato B	95% IC	Abundancia	95% IC	EE
<b>Modelo33</b>	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo+quemado	884,064	0	9,3	5,0-17,2	2,3	0,1-55,7	66	40-110	14,6
<b>Modelo36</b>	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo	884,814	0,749	9,5	5,8-15,4	2,7	0,1-64,8	70	43-113	14,9
<b>Modelo47</b>	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo+estrato	884,954	0,890	10,1	6,2-16,3	1,9	0,4-10,1	68	43-107	14,3
<b>Modelo39</b>	<i>Hazard-rate</i>	tamaño grupo+quemado+estrato	885,446	1,382	9,7	5,5-17,3	1,9	0,4-10,2	66	40-109	14,8
<b>Modelo047</b>	<i>Hazard-rate</i>	estación+tamaño grupo+estrato	885,751	1,686	10,2	6,1-17,1	1,9	0,4-9,9	68	43-110	15,05
<b>Modelo045</b>	<i>Hazard-rate</i>	estación+quemado+tamaño grupo	885,973	1,909	9,2	4,9-17,1	2,3	0,1-41,1	66	39-111	14,8

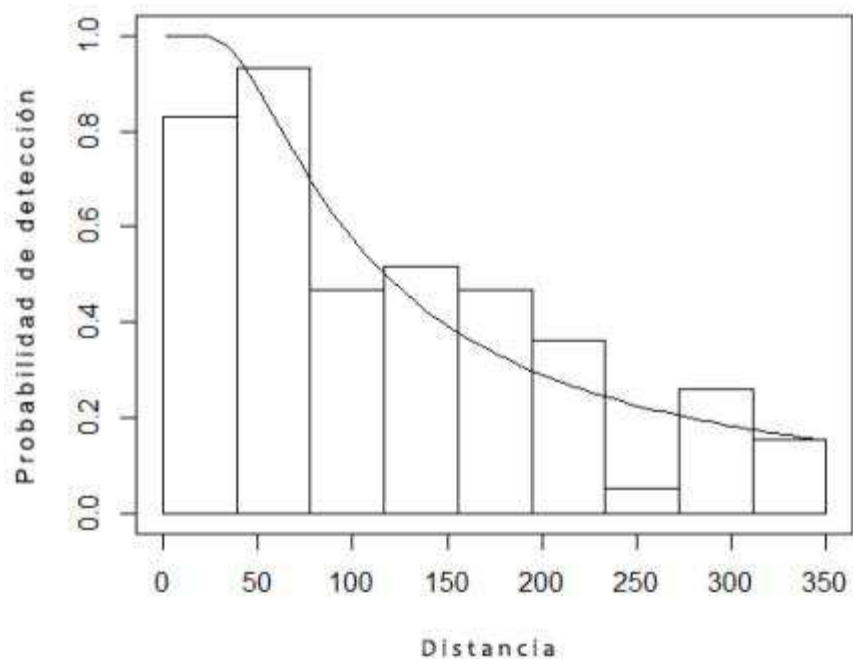


Figura 13. Probabilidad de detección como una función de la distancia para estimar la abundancia de la población de venados de las pampas del área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

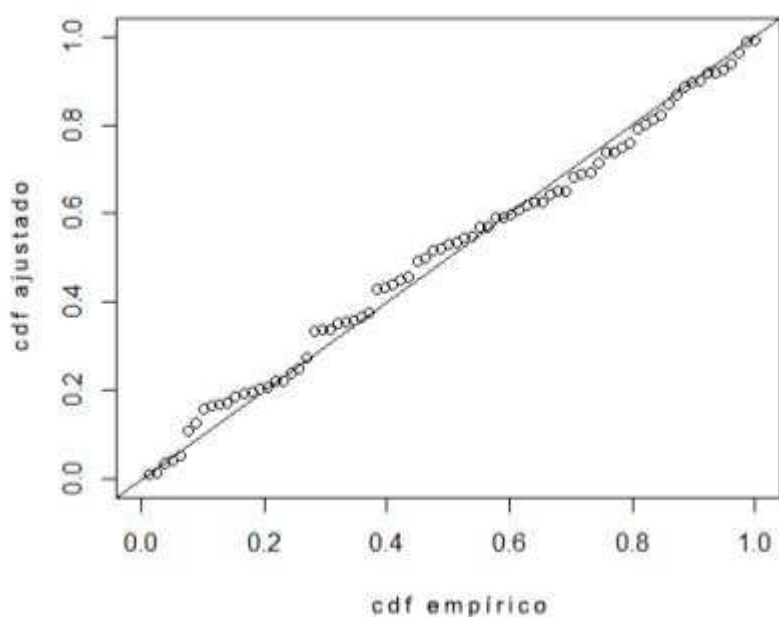


Figura 14. Función que mide la bondad de ajuste en el método de distancias para estimar la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

## 2) Método de marca-reavistamiento

Realicé un esfuerzo de muestreo de 63,1km de transectos recorridos en el área de estudio. Registré un total de 84 observaciones, 31 animales solitarios y 53 grupos, los cuales estuvieron conformados desde 2 hasta 11 individuos. Con el valor de AIC se concluyó que hay dos modelos con una diferencia de AIC menor de 2 (Cuadro 3), por lo tanto, ambos modelos pueden explicar el ajuste de los datos, ya que no se pueden diferenciar estadísticamente uno del otro. Este es el motivo por el que decidí realizar una ponderación de los datos obtenidos por estos dos modelos.

Cuadro 3. Comparación del valor de AIC de diferentes modelos para estimar la función de detección con el método de marca-reavistamiento de la población de venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

Modelo	AIC	Delta AIC	Pesos AIC
Modelo detección homogénea	111,667	0,000	0,558
Modelo detección por estaciones	112,168	0,500	0,435
Modelo detección heterogénea por muestreo	120,758	9,091	0,005

Para el modelo promediado, en la estación de invierno, el peso promedio de la probabilidad de detección estimada fue 0,153 (95% IC= 0,082-0,267; EE=0,04) y en la primavera, el peso promedio de la probabilidad de detección estimada fue de 0,193 (95%IC= 0,112-0,313; EE=0,04). Con estos valores estimados de la probabilidad de detección, el programa estimó el valor promedio de abundancia absoluta de la población localizada en el área de estudio, el cual fue de 57 individuos (95%IC= 44-71;EE=6,95). El valor de sigma muestra la heterogeneidad individual,  $\sigma = 0.0003101$  (95%IC=-2,278-2,279; EE=1,12). Este valor de la heterogeneidad individual está catalogado como bajo (McClintock et al 2006).

### 3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos

En cada una de las grillas programadas que recorrió el dron capturó un promedio de 389 fotografías. Con estas imágenes se confeccionó cada uno de los mosaicos. Se obtuvieron un total de 12 mosaicos entre las tres ocasiones de muestreo. La resolución de cada mosaico fue de 72 píxeles/pulgada. Se obtuvo una buena detección de los individuos en los mosaicos con un aumento del 100% (Figura 15) y esta detección obtenida en los mosaicos fue muy similar a la de las imágenes tomadas desde el avión (Figura 16).

Tras la revisión de los mosaicos conté un número de 18 venados en el primer muestreo, 22 individuos en el segundo y 17 ejemplares en el tercero. La abundancia obtenida para el estrato de alta densidad de venados fue de 121 individuos (95%IC=82-160; EE=19,9) y para el estrato de bajo potencial de venados fue de 18 individuos (95%IC=0-49; EE=16,1). La abundancia absoluta de venados de las pampas para el área de estudio fue de 139 individuos (95%IC=88-189; EE=25,6).

Encontré individuos solitarios y en grupo. Tuve en cuenta todos los venados sin diferenciar entre adultos o crías por la dificultad de la identificación de ambas edades desde las imágenes aéreas. Determiné errores por dobles conteos que fueron corregidos para el análisis de los datos.

Tras analizar los informes de calidad obtenidos por el software correspondientes a cada mosaico, concluyo que el grado de solapamiento fue de buena calidad en todos los informes salvo en uno, en el que el informe muestra un grado de solapamiento bajo para algunas zonas del mosaico, aunque no aparecen huecos en el mismo. En relación al parámetro de la varianza de la geolocalización relativa obtuve que en la mayoría de los mosaicos, el 100% de las imágenes tienen un error de la geolocalización relativa entre -3 y 3, lo que indica que podrían presentar un valor correcto en la precisión de las imágenes geolocalizadas. Sin embargo, hubo tres informes donde el porcentaje de imágenes fue menor de 99,6% en las dimensiones X e Y para este error, por lo tanto podría indicar que la precisión en la geolocalización podría estar sobrestimada. Estos errores en la varianza de la geolocalización relativa no afectaron al objetivo final de mi estudio, ya que solo se necesitó el mosaico para contar los individuos, pero no contemplé el parámetro espacial de los mismos.



Figura 15. Imágenes con un aumento del 100% de diferentes zonas de los mosaicos donde se observan venados de las pampas en el área de estudio en San Alonso con el método del dron, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.



Figura 16. Imagen de venados de las pampas a un aumento del 100% en un mosaico armado con imágenes del dron (A) y en una imagen aérea realizada con una cámara ubicada en un avión tripulado (B) en el área de estudio en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, 2016.

#### 4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos

Realicé un esfuerzo de muestreo de 5,53km de transectos sobrevolados en cada ocasión de muestreo. En la primera ocasión de muestreo registré 3 venados y en la segunda detecté 13 individuos en todo el área muestreada.

La abundancia para el estrato de alta densidad de venados fue de 105 individuos (95%IC=0-253;EE=75,6) y para el estrato de bajo potencial de venados fue de 64 individuos (95%IC=0-135;EE=36,5). La abundancia absoluta de venados de las pampas para el total del área de estudio fue de 169 individuos (95%IC=4-333;EE=83,9).

### **Comparación de los resultados obtenidos en los diferentes métodos**

La comparación de las abundancias para todos los métodos mostró que los métodos terrestres dieron estimados más bajos que los aéreos (Cuadro 4). Los estimados terrestres fueron precisos, sin embargo, los estimados aéreos son poco precisos, debido a que tienen amplios intervalos de confianza. El método de distancias fue el que mostró un estimado con mayor precisión y exactitud, en comparación a los demás métodos, en relación al parámetro conocido de la abundancia del tamaño poblacional del venado de las pampas por CLT (Figura 17).

Los métodos del dron estimaron que el tamaño de la población para el área de estudio fue superior a 100 individuos. Los dos métodos terrestres coincidieron en estimar que el tamaño mínimo de la población en el área de estudio fue de 43-44 individuos, sin embargo, el método de los mosaicos con el dron estimó que ese tamaño mínimo fue de 88 venados.

El total de ocasiones de muestreo fue mayor en los métodos terrestres que en los aéreos. En los métodos terrestres se realizaron 10 repeticiones de los transectos, sin embargo, en los métodos aéreos con dron realicé tres ocasiones de muestreo para los mosaicos y dos para las grabaciones de video.

Debido a que el área quemada abarcó un alto porcentaje del área de estudio es importante determinar cuántos individuos fueron registrados en estas áreas en cada uno de los métodos. En el método de distancias, el 65,8% de animales fueron localizados en áreas quemadas y en el método de marca-reavistamiento registré al 68,2%. A pesar que los datos de ambos métodos fueron obtenidos de manera simultánea, en el método de distancias realicé un truncamiento de los datos y por este motivo el porcentaje es menor que para el método de marca-reavistamiento. Para los métodos realizados con el dron, estos porcentajes fueron superiores a los métodos terrestres. En el caso de los mosaicos, el 86% de los animales fueron localizados en áreas quemadas y en el caso de los videos, el 87,5%.

A parte de las variables estadísticas existen otros atributos metodológicos, como la posibilidad de cometer errores por dobles conteos de individuos, el impacto sobre el comportamiento de los individuos, la duración de la investigación o los costos, que pueden influir en la aplicación de cada método. Estos atributos (Cuadro 5) influyen en la selección del mejor método para el manejo, por ello es necesario considerarlas de igual manera que las variables estadísticas ya que algunas pueden repercutir en el estimado de cada método.

Cuadro 4. Resumen de los estimados de abundancia de los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron, videos con dron y el método de fotografías aéreas con avión tripulado para estimar la población de venado de las pampas en el área de estudio (1250,9ha) en San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, en el año 2016.

Método	Total número individuos observados	Estimado abundancia	95% IC inferior	95% IC superior	EE
Distancias	187	70	43	113	14,9
Marca-reavistamiento	157	57	44	71	6,95
Mosaicos dron	57	139	88	189	25,6
Videos dron	16	169	4	333	83,9

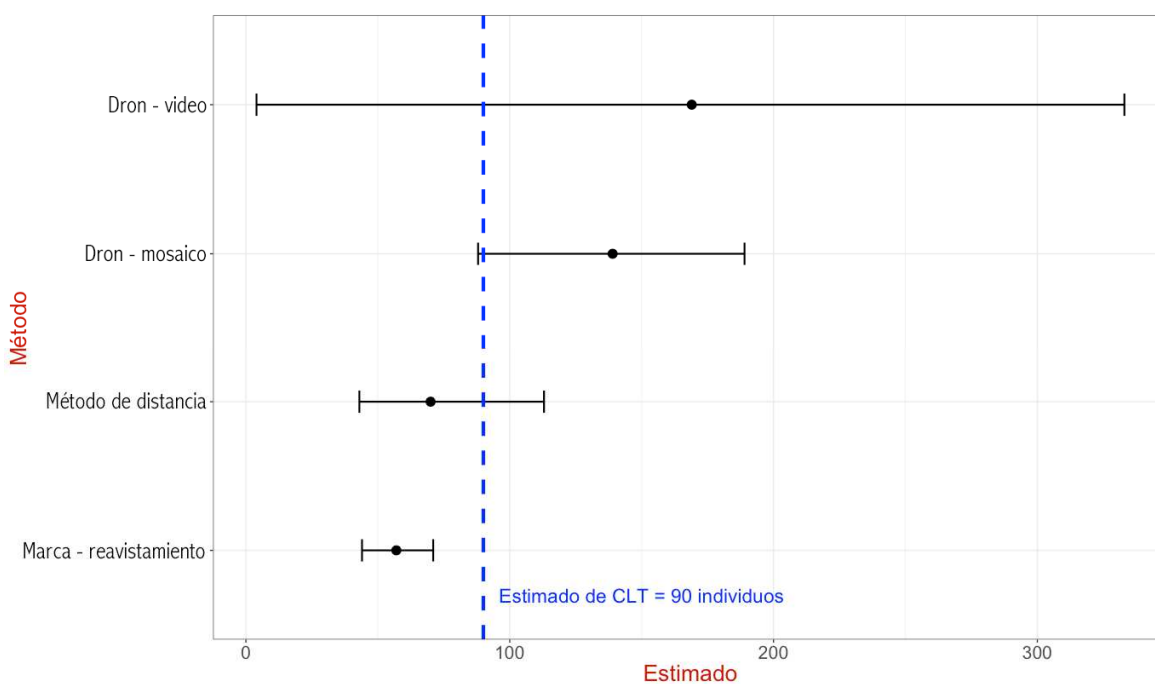


Figura 17. Comparación de los estimados obtenidos con los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron y grabaciones de videos con dron en el área de estudio, con el estimado de abundancia de venados de las pampas conocido por *The Conservation Land Trust* en la isla San Alonso, provincia de Corrientes, Argentina, en el año 2016.

Cuadro 5. Comparativa de los métodos de distancias, marca-reavistamiento, mosaicos con dron, grabaciones de videos con dron y fotografía con avioneta realizados en San Alonso en el año 2016, según atributos metodológicos y económicos.

Método	Esfuerzo en horas de campo	Esfuerzo en horas de revisión de material visual	Número de ocasiones de muestreos propuestos	Posibilidad de errores por doble conteo	Categorías según el coste económico de cada método*	Detección completa de individuos en el área muestreada	Impacto comportamiento individuos
Distancias	Medio	NA	Alto	Si	Medio	No	Medio
Marca-reavistamiento	Medio	NA	Alto	Si	Alto	No	Alto
Mosaicos dron	Bajo	Alto	Medio	Si	Medio	Si	Bajo
Videos dron	Bajo	Bajo	Medio	No	Medio	Si	Bajo
Fotografía con avioneta	Bajo	Alto	Medio**	No	Alto	Si	Bajo

\*En el anexo B aparece desglosado el presupuesto correspondiente a cada método

\*\* A pesar de que solo realicé un muestreo con la avioneta, se requeriría aumentar las ocasiones de muestreo para evitar posibles errores que impidan dar un estimado o incluso mejorar la precisión del mismo.

## DISCUSIÓN

### 1) Método de distancias

El resultado obtenido por este método denota una buena precisión del estimado. Además, se contempla que el resultado se aproxima a la cifra barajada por CLT sobre el tamaño de la población para toda la isla, la cual es de aproximadamente 90 individuos (CLT, comunicación personal).

Existen cinco condiciones, que describe Burnham et al. (1980), que deben ser asumidas para estimar la probabilidad de avistamiento con la técnica de líneas de transectos. Primero, todos los animales que están directamente sobre la línea de transecto deben ser vistos. Este supuesto fue cumplido por esta investigación en la mayoría de los casos. La localización de los animales estuvo asegurada debido a las condiciones del terreno plano y abierto. Sin embargo, los animales también podían detectarme con facilidad, lo que implicaba posibles desplazamientos de los mismos. Esta es una de las asunciones más importantes del método de la línea de transecto. Si esta premisa no se cumple, se obtiene una sobreestimación de la función de la probabilidad de detección y en consecuencia subestimaré el tamaño y la densidad de la población (Nichols y Conroy 1996).

El segundo supuesto hace referencia a que los animales deben ser detectados en su localización inicial, previamente a su movimiento causado como respuesta al investigador. En algunas ocasiones esta premisa no fue cumplida debido a que detecté al animal una vez que estaba huyendo. De hecho, el movimiento de los animales cuando las distancias son lejanas a la línea de transecto motiva su detección (ver White et al. 1989). Esto repercute en que se registran distancias perpendiculares de mayor longitud, lo que afecta a la curva de detección y puede disminuir la estimación de la densidad (Mandujano y Gallina 1993). El incumplimiento de este supuesto y la posibilidad de haber violado en alguna ocasión el primer supuesto, pueden ser la causa de que el margen inferior del estimado esté subestimando el tamaño de la población, comparando este valor con el que se piensa que tiene la población.

El tercer supuesto determina que las distancias y los ángulos deben ser medidos con precisión, lo cual fue cumplido con la ayuda de un distanciómetro y una brújula magnética. Para solventar el riesgo de contar a un animal dos veces (cuarto supuesto) decidí separar los transectos dos kilómetros en los últimos muestreos, cuando observé el riesgo de cometer errores por dobles conteos. El quinto supuesto hace referencia a que las observaciones son eventos independientes, por este motivo contemplé la variable "grupos" en el modelo.

La covariable del modelo seleccionado que mejor explica el ajuste de los datos es el *tamaño de grupo*. Es más fácil detectar a un grupo de individuos que a un ejemplar solitario, por esta razón esta covariable tiene un alto grado de influencia en el ajuste de los datos (ver Buckland et al. 2004). Por otro lado, las covariables *quemado* y *tamaño de grupo* son las que tienen más influencia en el modelo de menor AIC y, aunque no sea el modelo seleccionado para este método, es importante tener en cuenta esta variable debido a que tiene gran importancia en este estudio. Hubo un alto porcentaje del área de estudio que fue quemada y en estos parches quemados encontré al 65.8% de los animales registrados. La buena detección que tuve de los venados en las áreas de pastizal raso podría haber repercutido en el alto valor obtenido en la probabilidad de detección. Este valor fue mayor que el registrado por Zamboni et al. (2015) sobre la población de venados de las pampas en el Aguapey, la cual fue de 0,18 para el modelo de menor AIC. Esto puede explicarse por el tipo de hábitat de cada estudio. Estos autores discutieron que la detección aumentó en áreas abiertas mientras que la función de detección disminuyó abruptamente a partir de los 25m en áreas cerradas. En contraste, mi área de estudio fue un pastizal abierto homogéneo con una amplia superficie quemada, lo cual favoreció en alto grado la probabilidad de detección.

El muestreo de distancias es una técnica relativamente fácil de aplicar en campo, no es costosa económicamente en términos de recursos materiales y no requiere la identificación de individuos. Sin embargo, el método de distancias requiere un tamaño de muestra recomendado para obtener una estimación precisa. Buckland et al. (1993) proponen 40 distancias mínimas para estimar la población en el programa *Distance*, pero sugieren de 60 a 80 distancias para obtener un estimado fiable, lo que supondría observar a la mayoría de los individuos de la población teniendo en cuenta que ésta es de aproximadamente 90 individuos.

Como consecuencia de que el área de estudio fue pequeña, no conseguí registrar el número mínimo de observaciones en una única ocasión de muestreo para obtener un resultado preciso del estimado. Esto se asemeja al estudio de Mandujano y Gallina

(1993) donde ningún mes obtuvieron este tamaño de muestra recomendado y proponen que en áreas pequeñas, es necesario hacer repeticiones y realizar estimaciones por épocas, al no poder aumentar la longitud de los transectos. Por lo tanto, como consecuencia del pequeño tamaño del área de estudio, tuve que realizar repeticiones. Engel-Wilson et al. (1981) demostraron que para reducir la variación de los estimados se puede aumentar la longitud de los transectos o realizar réplicas. Seddon et al. (2003) también proponen la agrupación de los datos a través de muestreos repetidos para obtener precisión, asegurándose de que haya una estabilidad del tamaño poblacional entre los datos agrupados. Por otro lado, Hanowski et al. (1990) no están de acuerdo y señalan que el hecho de aumentar el número de réplicas en áreas pequeñas no tiene por qué reducir la varianza de los datos. Por lo que considero que alcanzar la precisión del estimado puede ser uno de los inconvenientes de aplicar el método de distancias en áreas pequeñas.

Las réplicas implicaron un alto esfuerzo de muestreo que hace que este método no fuera eficiente. Sin embargo, este método dio el mejor resultado estadístico, tanto por la precisión, como por la obtención de un valor tan próximo al número de animales conocidos.

## **2) Método de marca-reavistamiento**

Este método proporcionó un resultado con un alto grado de precisión y los valores encontrados en el intervalo de confianza de este método se encuentran dentro del intervalo de confianza del método de distancias. A pesar de que este método fue el que dio un resultado más bajo, el valor proporcionado por el intervalo superior coincide con el valor dado por el método de distancias, por lo tanto no está lejos del valor conocido de la población para el área de estudio. Además, los dos métodos terrestres coinciden en el valor del límite inferior de los estimados, por lo que el tamaño mínimo de la población del área de estudio, según variables estadísticas, se asume que es de 43-44 individuos.

La causa de que este estimado sea más bajo que el de distancias puede deberse al incumplimiento de varios supuestos. Por un lado, es posible que hubiera procesos de entradas y salidas de animales del área de estudio y eso provocó sesgos en el estimador. Además, el modelo seleccionado en el método de marca-reavistamiento considera que el muestreo es sin reemplazo (cualquier individuo sólo puede ser avistado una vez por cada muestreo) y que el número de individuos marcados es conocido, permitiendo que existan ocasiones en las que los animales marcados no sean identificados individualmente (McClintock 2010). Sin embargo, es importante anotar que hubo 52 individuos (25% del

total de animales que observé) que no pude catalogarlos como marcados o no marcados, debido a que no pude reconocerlos por la velocidad de huída, por lo tanto, no los incluí en el estudio. Este fue el motivo por el que no se cumplió la premisa que determina que todos los avistamientos de individuos marcados y no marcados en la población son registrados (McClintock 2010) y estos errores pudieron sesgar los resultados, por lo tanto este método no proporcionó un estimado muy confiable en esta investigación.

Por otro lado, es importante mencionar que el porcentaje de individuos marcados que se tuvo en cuenta en este estudio fue del 12% (considerando que la población es de 90 individuos). Sin embargo, en un estudio muy similar a éste sobre la comparación de métodos para estimar una población reintroducida de oryx de Arabia (Seddon et al. 2003) mencionaron que el método de marca-reavistamiento, en comparación con el método de distancias y el método basado en el conocimiento de los nacimientos y las muertes, tendría el potencial de dar las estimaciones más precisas del tamaño poblacional cuando el 30% de la población está marcada. Sin embargo, en mi estudio, el porcentaje de animales marcados es más bajo y esto también pudo estar sesgando el estimado.

En el ámbito práctico, no recomiendo aplicar este método. Es un método que requiere un número de animales marcados y esto se traduce en realizar nuevas capturas en el tiempo. Tanto el número absoluto como el porcentaje de animales marcados va a disminuir rápidamente en esta población, ya que no hay intenciones de liberar más animales con collares o de marcar más animales en la zona, ya que las capturas de animales son costosas y suponen un riesgo significativo para los ejemplares. Esto hace que según nazcan más ejemplares y se vayan muriendo los que tienen marcas, al final acaben desapareciendo los ejemplares marcados de la población en los próximos años.

### **3) Método aéreo con dron: conteo completo en mosaicos**

Los resultados obtenidos con este método dieron estimaciones superiores a los métodos terrestres. Este método dio un resultado con un intervalo de confianza amplio, lo que supone poca precisión del estimado, sin embargo, los límites de confianza del método de distancias (el más preciso, en este caso) contiene el valor inferior del límite de confianza de este método. Además el parámetro conocido (90 individuos) se encuentra dentro del intervalo de confianza de este método, aunque considero que la tendencia del intervalo de confianza es a sobrestimar la población.

Es importante mencionar que cuando realicé todos los muestreos de dron, el área ya se encontraba quemada. El alto porcentaje de área quemada que hay en la zona de estudio hace que aumente la detección de los venados al encontrarse más expuestos debido al pastizal raso. Esto se refleja en el alto porcentaje de venados que registré en estas áreas quemadas, el cual fue más elevado que el registrado en los métodos terrestres. Por lo tanto, considero que este método sobrestimó la población del área de estudio posiblemente por la combinación de las siguientes tres razones: 1) una alta densidad de venados que localicé en las áreas quemadas como consecuencia de la selección de estas áreas por la especie, 2) un alto número de hectáreas quemadas en el área de muestreo y 3) una extrapolación de las densidades encontradas en estas áreas quemadas al resto del área de estudio, el cual engloba superficies no quemadas que podrían no mantener esas altas densidades de venados de las pampas.

Es importante aclarar que los métodos aéreos estiman la población englobando todas las clases de edades de venados a diferencia de los terrestres, que se analizaron solamente sobre la población adulta. Esto también puede estar influyendo en que los estimadores aéreos den resultados más elevados que los terrestres.

La detección la consideré perfecta. Para explicar esta situación se analizan dos tipos de detección, la proveniente de la captura de los animales en las fotografías aéreas y aquella que determina la capacidad del observador de detectar todos los animales sobre los mosaicos. Esta doble detección la describen en detalle Thomas et al. (2010) sobre consideraciones en el diseño y análisis de muestreos de distancias para estimar tamaños de poblaciones. La detección imperfecta derivada de la aparición de los animales en las fotografías se puede obviar ya que las imágenes obtenidas por la cámara tienen un tamaño de píxel calculado de 2,5 cm y los venados de las pampas tienen una longitud corporal de 110 a 140 cm (Jackson 1987), por lo tanto, se asume que todos los venados presentes en la zona de muestreo son capturados por la cámara. Además, encontré venados de diferentes tamaños que se asemejan a adulto y cría en los mosaicos. Por otro lado, invertí un esfuerzo de 8 horas y 30 minutos promedio para revisar cada uno de los mosaicos, con el fin de detectar todos los venados presentes en los mismos.

La altura de vuelo seleccionada fue apropiada para la diferenciación de los animales. Un estudio que trabajó con ungulados en un área abierta demostró que a la altura de 100m tuvieron un éxito de identificación de especies del 99.1% (Barasona et al. 2014). Tanto este estudio como el mío contrastan con previos trabajos donde la revisión de imágenes revelaron que solo los elefantes eran fácilmente visibles y no pudieron identificar otras especies de mamíferos de tamaño medianos y pequeños (Vermeulen et

al. 2013). Esto pudo deberse a la altura de vuelo que fue de 100 a 300m en contraste con los 60m de mi estudio o los 100m del estudio de Barasona et al. (2014). Además la velocidad de crucero programada también pudo influir. En esta investigación la velocidad promedio fue de 36km/h, muy similar al estudio de ungulados, 40km/h, y ambas contrastan con los 80km/h promedio para el estudio de los elefantes.

No tuve en cuenta el error de geoposicionamiento asociado a la ubicación de las grillas sobrevoladas en las diferentes ocasiones de muestreo. Esto es debido a que mi área de estudio está representada por una superficie homogénea de pastizal donde no hay elementos que puedan sesgar las localizaciones de los animales. Además, el tiempo que transcurrió entre las ocasiones de muestreo otorgó la independencia temporal suficiente que permitió que los venados cambiaran sus ubicaciones. Considero que este error es importante tenerlo presente en áreas heterogéneas donde haya elementos del paisaje que puedan influir en la distribución espacial de los individuos.

Hay que tener presente que los animales se pudieron mover por el área muestreada mientras el dron realizó cada uno de los vuelos, ya que hizo recorridos de ida y vuelta para conseguir el solapamiento requerido para armar cada mosaico. Esto pudo repercutir en la probabilidad de cometer errores por dobles conteos. Prieto et al. (2014) describen que la incertidumbre en la estimación asociada al movimiento de los individuos puede ser baja como consecuencia de la velocidad de vuelo y el tiempo invertido en recorrer el área de muestreo. Aún así, en este estudio, identifiqué errores por doble conteo en los mosaicos, los cuales fueron corregidos para los análisis.

Barasona et al. (2014) exponen que los drones son una alternativa confiable y eficiente para estudiar patrones de distribución de la abundancia de ungulados en paisajes abiertos gracias a las imágenes de alta calidad que proporcionan los drones. Sin embargo, en este estudio es posible que se obtuvieran valores especialmente altos como consecuencia de la amplia superficie de pastizal quemado, lo que pudo generar que los lugares muestreados acumulasen mayor cantidad de animales, y la extrapolación de estimaciones procedentes de ellos generasen una mayor abundancia de la que hay en realidad sobre el terreno.

Si se estudia el dron a nivel metodológico, se destaca su facilidad de uso y su precio económico, lo que le hace ser considerado como una buena opción a la hora de buscar métodos que involucren vuelos fotogramétricos. Además, proporciona ahorro de tiempo en los muestreos de campo, sin embargo, la revisión de los mosaicos exige mucho esfuerzo humano en horas de revisión, las cuales fueron 8 horas y 30 minutos promedio por mosaico (34 horas de revisión de los mosaicos por muestreo), por lo tanto no lo hace

tan eficiente como se esperaba, por esta razón, no propongo este método para el monitoreo de la especie en San Alonso. Decidí dedicar un alto esfuerzo de muestreo a la revisión de cada mosaico para asegurarme una detección perfecta y además así, poder suprimir las metodologías de revisión de doble observador.

#### **4) Método aéreo con dron: conteo completo en grabaciones de videos**

El resultado de este estimador muestra unos valores más altos en relación a todos los métodos anteriores. Si comparo este estimado con el tamaño que se considera que tiene la población, puedo concluir que este método está sobrestimando la población. Además, la amplia cobertura del intervalo de confianza hace que este resultado se considere incierto. De igual manera que ocurrió con los mosaicos, los videos con dron fueron realizados cuando la mayor parte del área de estudio estuvo quemada, lo que promueve la concentración de animales en estos parches quemados aumentando la densidad de venados en estas áreas concretas. Esta alta densidad de venados en las zonas quemadas provocó una sobrestimación de la abundancia de la población al realizar los procesos de extrapolación de los resultados al área de estudio total.

Esta sobrestimación podría evitarse en futuros muestreos realizando un diseño de muestreo que contemple las áreas quemadas. Debido a que las quemas prescritas son parte de las estrategias de manejo de la población, se deberían tener en cuenta estos parches quemados en el diseño de muestreo y que sean definidos como estratos que albergan una alta densidad de venados, realizando un esfuerzo de muestreo acorde a cada estrato.

La detección la consideré perfecta. La cámara del dron grabó en 4k y obtuvo videos de 3840x2160 píxeles, lo que equivale a un tamaño de píxel calculado de 2,6cm, por lo tanto la cámara pudo capturar todos los objetos mayores de ese tamaño, donde estarían incluidos los venados.

La grabación de video permitió capturar a los animales en movimiento y esto mejoró la facilidad en la detección de los mismos. La ausencia de reacciones en el comportamiento de los animales podría ser un inconveniente porque los animales son más fácilmente visibles cuando se mueven que cuando están quietos (Vermeulen 2013). Por lo tanto, este método presentó mayor facilidad en la detección de los venados frente al método de los mosaicos, lo que influyó en menor tiempo invertido en el conteo de los animales. El

tiempo invertido en la revisión de cada mosaico fue de 8 horas y 30 minutos promedio frente a 35 minutos que tardé en revisar los videos de dos transectos, los cuales cubren un área similar al de un mosaico. Esta diferencia de tiempo en el conteo de los venados me lleva a priorizar el método del video frente al de los mosaicos con el dron.

La cámara de video 4K proporcionó una buena resolución a 60m de altitud para la detección de los venados de las pampas. Sin embargo, otro estudio similar demostró que este método no fue factible en la grabación de rinocerontes y furtivos, ya que los vuelos por encima de 50m de altitud no tenían suficiente calidad para identificar ciertos objetos de estudio (furtivos) y por debajo de esta altura podría ser peligroso volar para el funcionamiento del aparato y también podría perturbar al rinoceronte (Mulero-Pázmány et al. 2014). En mi investigación, al ser un hábitat de pastizal sin arbolado asegura la condición del aparato en el caso de volar a más baja altura, sin embargo, al ser un área abierta, la altura seleccionada facilita la detección de los animales y se evita la perturbación de los mismos.

Con este método no registré eventos de doble conteo de ejemplares, los cuales si registré en los mosaicos. Esto fue debido a la velocidad del dron y el avance en una única dirección, sin realizar los recorridos de ida y vuelta necesarios para realizar los mosaicos. Además, el tiempo promedio de cada vuelo y entre vuelos sucesivos fue bajo, por lo tanto, se disminuyó la posibilidad de que un venado se moviera entre transectos separados 500m, reduciendo la posibilidad de cometer errores de doble conteo de individuos que pueden sobrestimar la abundancia de la población.

Las condiciones de la isla son particulares al ser una llanura de pastizal limitada geográficamente. Considero de gran importancia no influir en gran medida en el comportamiento de los venados. Al no ser un área muy extensa, es fácil que los individuos detecten al investigador y se detecten entre ellos en los momentos de huida, modificando sus comportamientos. Esta condición influyó en la decisión de sugerir el dron como el método más apropiado para esta zona, ya que minimiza el impacto sobre los animales. Esto coincide con el estudio de Barasona et al.(2014), donde estudiaron que una de las ventajas de los drones respecto a otras metodologías es el bajo impacto sobre el comportamiento de la vida silvestre.

Esta técnica se puede presentar como un método innovador para realizar transectos lineales. Los transectos lineales sobrevolados con drones son realizados más rápidamente que a caballo (7 minutos frente a 30-40 minutos respectivamente por cada transecto) y sobre áreas inaccesibles a las que los investigadores difícilmente podrían acceder. Los métodos con mayor eficiencia en mano de obra y bajo coste son aquellos que permiten un mayor tamaño de muestra (Engeman 2005).

Este método no dio un resultado estadísticamente preciso para este estudio como consecuencia de que el tamaño de muestra no fue representativo del área de estudio y si el tamaño de las muestras es demasiado pequeño, las estimaciones serán imprecisas (Conroy et al. 2015). Sin embargo, existen una serie de variables que le dan un valor agregado por la factibilidad de la metodología. Estas variables se relacionan con el bajo esfuerzo humano en la recolección de los datos en campo, con la facilidad y rapidez en la detección de los venados durante el conteo en los videos y con la inmediatez en la obtención de datos procesados. Estas variables le otorgan a este método un alto grado de eficiencia que no se encontró en los demás métodos. Además, la cámara de video disminuye el error inherente a la experiencia del observador en campo y este método minimiza el riesgo de cometer errores por dobles conteos, por lo que considero que es el método más apto, a nivel metodológico, para ser implementado en el protocolo de monitoreo de la especie, siempre y cuando se mejore el estimado.

##### **5) Método aéreo con avioneta: conteo completo en imágenes**

A pesar de que la altura de vuelo con el método de la avioneta fue mayor que la altura utilizada para el dron, ambos métodos proporcionaron imágenes de alta calidad que permitieron la detección de los animales de manera similar. Esto se debe a que la cámara utilizada en la avioneta tiene mayor resolución que la cámara del dron. Sin embargo, analizando las variables económicas, se prioriza el dron al muestreo con avioneta. Aunque la avioneta pertenece a CLT, el presupuesto que contemplo es relativo al alquiler de una hora de vuelo a efectos de aportar una información más práctica para otros investigadores que quieran contemplar ambos métodos. El estudio de este presupuesto, a largo plazo, hace que priorice el dron sobre la avioneta para muestreos aéreos.

La obtención de imágenes con dron son especialmente utilizadas para el muestreo de áreas pequeñas, sin embargo, es más conveniente proponer vuelos tripulados para áreas más grandes (Nuñez Calleja 2016). Debido al tamaño del área de estudio priorizo el uso del dron frente a la avioneta, tanto por variables económicas como por facilidades en la aplicación del método, debido a que no está condicionado por la disponibilidad de avionetas y pilotos.

### **Comparación de métodos**

Una de las metas de esta investigación fue seleccionar aquellas metodologías de fácil accesibilidad para los investigadores que no requieran métodos tediosos difíciles de implementar. Por ello, se encaminó la investigación hacia técnicas que puedan ser realizadas por un único investigador y se descartaron aquellas que implican procesos con doble observador.

El resultado con mayor precisión estadística y mayor exactitud, comparada con datos estimados por CLT, fue obtenido por el método de distancias. Sin embargo, este método requiere un alto esfuerzo de muestreo para conseguir el número mínimo de observaciones que permitan dar un resultado preciso, por ello no lo catalogué como un método de fácil aplicación. Además, al ser un área pequeña y abierta, es fácil que los venados detecten al investigador y se detecten entre ellos en los momentos de huida, modificando sus comportamientos. Esta modificación de comportamiento puede repercutir tanto en la posibilidad de cometer errores por doble conteo debido a la posible huida de animales, como en realizar un registro erróneo de las ubicaciones de los animales (anotando localizaciones de los individuos alteradas por la presencia del investigador), lo que puede llevar a violar algunos de los supuestos que requiere el método de distancias. Todo esto influyó en la decisión de sugerir el dron como el método más apropiado para esta zona, ya que minimiza el impacto sobre los animales.

El método de las grabaciones de videos con dron resultó tener un mayor número de variables con categorías definidas como "bajo" y "medio", lo que implica que este método tiene ciertas ventajas con respecto a los demás. Además, permitió una detección completa en el área de muestreo, lo cual no se aseguró con los métodos terrestres, y no se registraron errores por dobles conteos de individuos, los cuales si se observaron (aunque fueron corregidos para este estudio) en los métodos terrestres y en los mosaicos. Esto fue debido a la velocidad del dron y el avance en una única dirección. Tras el estudio de estas variables, considero que el método de grabación de videos

podría ser apto para ser aplicado en el área de estudio, siempre y cuando se mejoren los parámetros estadísticos. Considero que este método podría llegar a tener un mejor estimado si se aumenta el tamaño de muestra, ya que la detección de individuos que proporciona la tecnología del dron en grabaciones de videos podría ser mayor que la proporcionada por los métodos terrestres. Por otro lado, la facilidad en la detección de los venados en los videos minimiza los errores asociados a la experiencia del observador, la cual es importante en los métodos terrestres.

## CONCLUSIONES

El método de distancias fue el método que determinó un estimado con mayor precisión estadística y exactitud (conforme al parámetro conocido) para el tamaño de la población de venados de las pampas en el área de estudio, el cual fue de 70 individuos (95% IC=43-113; EE=14,9). Sin embargo, este método requirió un alto esfuerzo de muestreo al necesitar un número de observaciones mínimas para obtener un resultado preciso. Por otro lado, el investigador causó un mayor impacto en el comportamiento de los individuos por su presencia y además existió la posibilidad de cometer errores de doble conteo de individuos al ser un área muy limitada espacialmente.

Según el estudio de los atributos de cada método, el método aéreo con dron con grabaciones de videos podría ser considerado como una buena propuesta para el seguimiento de la especie por las ventajas que presenta frente a los demás métodos, siempre y cuando se aumente el tamaño de muestra que permita obtener un estimado más preciso. Este método otorgó una alta detección en áreas abiertas y minimizó los posibles errores por doble conteo y el tiempo de muestreo.

El método de marca-reavistamiento otorgó un estimado que posiblemente estuvo sesgado por incumplimiento de varias premisas. Además este método requiere que un porcentaje de la población esté marcado, ya que carecen de un patrón natural fácilmente identificable. Esto implica realizar capturas de animales que ponen en riesgo a los ejemplares y que además son costosas, por lo que este método no es viable a largo plazo ya que el proyecto no tiene intención de seguir marcando más ejemplares en el futuro.

Los estimadores aéreos con el dron sobrestimaron la población del área de estudio, lo cual pudo estar influenciado por la amplia superficie quemada en el área que no fue contemplada en el diseño de muestreo por realizarse después de comenzar el estudio. El método de mosaicos con el dron permitió obtener un mosaico de alta calidad donde se visualizaron los venados, sin embargo, requirió un elevado esfuerzo de muestreo vinculado a la revisión de los mosaicos que repercutió en que no fuera seleccionado como un método eficiente. Además, se comprobaron errores por doble conteo.

El método de la avioneta falló como consecuencia de la falta de georreferenciación de las imágenes, que me impidió ubicarlas en el área de estudio. Este estudio demostró que el dron obtuvo imágenes de alta resolución con menor coste económico que las obtenidas con la avioneta. Por lo tanto, la tecnología del dron es susceptible de sustituir al método con avioneta en áreas de pequeño tamaño.

## RECOMENDACIONES

1. A pesar de que el método de distancias dio un buen estimado, recomendaría el dron con grabaciones de videos como un método apropiado para estimar el tamaño de la población del venado de las pampas en San Alonso, ya que el estudio de los atributos demuestra que tiene ciertas ventajas frente a los demás métodos. Sin embargo, considero necesario incrementar la intensidad de muestreo aumentando el número de ocasiones de muestreo y el tamaño de muestra hasta 11.4km (longitud total de transecto obtenido en el premuestreo de los métodos terrestres), con el objetivo de conseguir un buen estimado. Propongo realizar los muestreos una vez por año en otoño, sobre los meses de abril, mayo o junio, cuando haya terminado la época de mayor concentración de nacimientos y así realizar el estimado sobre la población juvenil y adulta.
2. Recomiendo que los vuelos del dron se realicen desde puntos fijos para disminuir el movimiento del investigador y evitar así modificar el comportamiento de los animales. Además recomiendo que los muestreos con el dron se realicen los días de vientos de baja intensidad.
3. Debido al esfuerzo invertido en la revisión del material obtenido con el dron (sobre todo en el método de los mosaicos) durante el proceso de identificación de los individuos, recomiendo el uso de software basados en algoritmos que permiten la identificación de especies de manera automatizada y que además disminuyan la subjetividad inherente al observador. Esto será de gran utilidad cuando haya mayor tamaño de muestra que implique mayor cantidad de material visual que requiera ser revisado.
4. Debido a la relación coste beneficio no recomiendo el método del avión tripulado y propongo que sea sustituido por el uso del dron, ya que permite obtener resultados similares en áreas pequeñas con menor coste económico.

5. Debido a que las actividades de quemas de pastizal son consideradas parte del manejo propuesto para la conservación del venado de las pampas en San Alonso, recomiendo realizar un diseño de muestreo que contemple dichas áreas para estimar el tamaño de la población. Estas áreas quemadas pueden ser consideradas como estratos de alta densidad de individuos en ciertos periodos de tiempo y ubicar las unidades de muestreo de tal manera que sean representativas tanto de los estratos no quemados como de los quemados.
  
6. Debido a la identificación de otras especies con el dron, como son yacarés (*Caiman* spp), oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*) y ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*), recomiendo considerar este método en estudios de estimación del tamaño poblacional de estas especies que se encuentren en un tipo de hábitat semejante al de este estudio, caracterizado por ser áreas de vegetación abiertas.

**LITERATURA CITADA**

- Arnason, A.N., C.J. Schwarz y J.M. Gerrard. 1991. Estimating closed population size and number of marked animals from sighting data. *The Journal of Wildlife Management* 55:716-730.
- Barasona, J.A., M. Mulero-Pázmány, P. Acevedo, J.J. Negro, M.J. Torres, et al. 2014. Unmanned Aircraft Systems for Studying Spatial Abundance of Ungulates: Relevance to Spatial Epidemiology. *PLoS ONE* 9
- Barnes, A., G. Hill y G. Wilson. 1986. Correcting for incomplete sighting in aerial surveys of Kangaroos. *Wildlife Research* 13:339-348.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham y J.L. Laake. 1993. *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman & Hall, London.
- Buckland, S.T. y D. R. Anderson. 2004. Introduction to advanced distance sampling. Páginas 1-5 en S. T. Buckland, D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers y L. Thomas, editores. *Advanced distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D. L. Borchers y L. Thomas. 2004. *Advanced distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Burnham, K.P., D.R. Anderson y J.L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife monographs* 72:3-202.
- Burnham, K.P., D.R. Anderson y J. L. Laake. 1979. Robust estimation from line transect data. *Journal of Wildlife Management* 43:992-996.
- Caughley, G. 1977. Sampling in Aerial Survey. *The Journal of Wildlife Management* 41:605-615.
- Caughley, G. y D. Grive. 1982. A correction factor for counting Emus from the air, and its application to counts in Western Australia. *Wildlife Research* 9:253-259.

- Conroy, M.J., J.P. Carroll, J.C. Senar y J.J. Thompson. 2015. *Métodos Cuantitativos para la Conservación de los Vertebrados (Una traducción del libro Quantitative Conservation of Vertebrates)*. University of Nebraska–Lincoln, USA.
- Cook, R. D. y J.O. Jacobson. 1979. A design for estimating visibility bias in aerial survey. *Biometrics* 35:735-742.
- Dellafiore, C. M., M. Demaría, N. Maceira y E. Bucher. 2003. Distribution and abundance of the pampas deer in San Luis province, Argentina. *Mastozoología Neotropical* 10:41-47.
- Dills, G. 1970. Effects of Prescribed Burning on Deer Browse. *The Journal of Wildlife Management* 34:540-545.
- Durban, J.W. y D.A. Elston. 2005. Mark-recapture with occasion and individual effects: abundance estimation through Bayesian model selection in a fixed dimensional parameter space. *Journal of agricultural, biological, and environmental statistics* 10:291-305.
- Efford, M.G., D.K. Dawson y C.S. Robbins. 2004. DENSITY: software for analyzing capture–recapture data from passive detector arrays. *Animal Biodiversity and Conservation* 27:217–228.
- Engel-Wilson, R.W., A.K. Webb, K.V. Rosenberg, R.O. Ohmart y B.W. Anderson. 1981. Avian censusing with the strip method: a computer simulation. *Studies in Avian Biology* 6: 445-449.
- Engeman, R. 2005. Indexing principles and a widely applicable paradigm for indexing animal populations. *Wildlife Research* 32:203–210.
- Engeman, R.M., G. Massei, M. Sage y M.N. Gentle. 2013. Monitoring wild pig populations: a review of methods. *Environmental Science and Pollution Research* 20:8077-8091.
- Feinsinger, P. 2013. Metodologías de investigación en ecología aplicada y básica: ¿cuál estoy siguiendo, y por qué?. *Revista chilena de historia natural* 86:385-402.

- Freitas Nery, M. y S. Marino Simão. 2012. Estimación de abundancia por captura-recaptura de los delfines Guiana en el sureste de Brasil. *Ciencias marinas* 38:529-541.
- Gilbert, P.F. y J.R. Grieb. 1957. Comparison of air and ground deer counts in Colorado. *The Journal of Wildlife Management* 21:33-37.
- Giménez Dixon, M. 1991. Estimación de parámetros poblacionales del venado de las Pampas (*Ozotoceros Bezoarticus Celer*. Cabr., 1943-Cervidae-) en la costa de la bahía de Samborombón (prov. Buenos Aires) a partir de datos obtenidos mediante censos aéreos. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Argentina.
- Goddard, J. 1967. The validity of censusing black rhinoceros populations from the air. *African Journal of Ecology* 5:18-23.
- Goddard, J. 1969. Aerial census of black rhinoceros using stratified random sampling. *African Journal of Ecology* 7:105-114.
- Gonzalez, S. y M.L. Merino. 2008. *Ozotoceros bezoarticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T15803A5183264.  
<<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T15803A5183264.en>> Consultado el 7 de Abril del 2017.
- González, S., J.J. Jackson, III y M.L. Merino. 2016. *Ozotoceros bezoarticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T15803A22160030.  
<<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T15803A22160030.en>>. Consultado el 7 de Abril del 2017.
- Gregory, R. y T. Blackburn. 1995. Abundance and Body Size in British Birds: Reconciling Regional and Ecological Densities. *Oikos* 72:151-154.
- Gros, P.M., M.J. Kelly y T.M. Caro. 1996. Estimating carnivore densities for conservation purposes: indirect methods compared to baseline demographic data. *Oikos* 77:197-206.
- Hanowski, J.M., G.J. Niemi y J.G. Blake. 1990. Statistical perspectives and experimental design when counting birds on line transects. *Condor* 92: 326-335

- Hayne, D.W. 1949. An examination of the strip census method for estimating animal populations. *Journal of Wildlife Management* 13:145–57.
- Heinonen, S. 2007. Esteros del Iberá: Importancia de su conservación. Informe técnico. The Conservation Land Trust, Buenos Aires, Argentina.
- Heyer, R., M.A. Donnelly, M. Foster y R. McDiarmid. 2014. Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians. Smithsonian Institution.
- Hodgson, A. J., M. Noad, H. Marsh, J. Lanyon y E. Kniest. 2010. Using Unmanned Aerial Vehicles for Surveys of Marine Mammals in Australia: Test of Concept; Final Report to the Australian Marine Mammal Centre. Kingston: Australian Government.
- Jackson, J. E. 1987. *Ozotoceros bezoarticus*. *Mammalian species* 295:1-5.
- Jackson, J. E. y J. Giulietti. 1988. The food habits of pampas deer *Ozotoceros bezoarticus* celer in relation to its conservation in a relict natural grassland in Argentina. *Biological Conservation* 45:1-10.
- Jiménez Pérez, I., A. Delgado, M. Srur y S. Heinonen. 2009. Proyecto de conservación, rescate y restauración del venado de las pampas en la provincia de Corrientes. Informe técnico. The Conservation Land Trust, Argentina.  
<[http://www.cltargentina.org/download/venado/proyecto\\_restauracion\\_venado.pdf](http://www.cltargentina.org/download/venado/proyecto_restauracion_venado.pdf)>. Consultado el 4 de abril de 2017
- Jiménez Pérez, I., A. Delgado, Y.E. Di Blanco, R. Abuín, B. Antúnez, E. Galetto, M. Masat, J. Peña, R. Pernigotti, F. Portón, G. Solís, K. Sporrying y S. Heinonen. 2015. Reintroducción del hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*) en la Reserva Natural Iberá (Argentina): ¿misión cumplida? *Edentata* 16:11–20.
- Laake, J., M.J. Dawson, y J. Hone. 2008. Visibility bias in aerial survey: mark–recapture, line-transect or both?. *Wildlife Research* 35:299-309.
- Lowry, M. S. 1999. Counts of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from aerial color photographs and from the ground: a comparison of two methods. *Marine Mammal Science* 15:143-158

- Lumley, T. 2016 "survey: analysis of complex survey samples". Paquete R versión 3.31-5
- Mandujano, S. y S. Gallina. 1993. Densidad del venado cola blanca basada en conteos en transectos en un bosque tropical de Jalisco. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México. ACTA ZOOL. MEX. (n.s.) 56:1-37
- McClintock, B. T. 2010. Mark–resight models. Páginas 18.1–18.34 en E. G. Cooch y G. C. White, editores. A gentle introduction to program MARK. Ithaca, New York.
- McClintock, B.T., G.C. White y K.P. Burnham. 2006. A robust design mark-resight abundance estimator allowing heterogeneity in resighting probabilities. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 11:231-248.
- McClintock, B.T., G.C. White, M.F. Antolin y D.W. Tripp. 2009. Estimating abundance using mark–resight when sampling is with replacement or the number of marked individuals is unknown. *Biometrics* 65:237-246.
- Merino, M. L. y M.D. Beccaceci. 1999. *Ozotocerus bezoarticus* (Artiodactyla, Cervidae) en Corrientes, Argentina: Distribución, población y conservación. *Iheringia, Série Zoologia* 87:87–92.
- Miller, D.L. 2016. Distance Sampling Detection Function and Abundance Estimation. Paquete R versión 0.9.6. <<https://CRAN.R-project.org/package=Distance>>. Consultado el 5 de febrero del 2017 .
- Miller, D.L., E. Rexstad, L. Thomas, L. Marshall y J.L. Laake. 2016. Distance Sampling in R. bioRxiv 063891; doi: <https://doi.org/10.1101/063891>. Consultado 2 de febrero del 2017.
- Mulero-Pázmány M., R. Stolper, L.D. van Essen, J.J. Negro y T. Sassen. 2014. Remotely Piloted Aircraft Systems as a Rhinoceros Anti-Poaching Tool in Africa. *PLoS ONE* 9
- Neiff, J. y A. Poi de Neiff. 2006. Situación ambiental en la ecorregión Iberá. p.177-184. En: A. Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina.

- Nichols, J.D. y M.J. Conroy. 1996. Techniques for estimating abundance and species richness. Páginas 177-234 en Wilson, D.E.; F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rudran y M. Foster, editores. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Norton-Griffiths, M. y H. Torres. 1980. Evaluation of ground and aerial census work in vicuña in Pampa Galeras, Peru. *Int. Union Conserv. Nat. and World Wildl. Fund Publ.*, Gland, Suiza.
- Núñez Calleja, P. 2016. Comparativa de software para la realización de mosaicos a partir de imágenes obtenidas por drones. Tesis de máster, Universidad de Ovido, España.
- Ojeda, R.A., V. Chilo y G.B. Díaz Isenrath. 2012. Libro rojo de mamíferos amenazados de Argentina. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos (SAREM). Argentina.
- Otis, D. L., K.P. Burnham, G.C. White y D.R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife monographs* 62:3-135.
- Packard, J., R. Summers y L. Barnes. 1985. Variation of Visibility Bias during Aerial Surveys of Manatees. *The Journal of Wildlife Management* 49:347-351.
- Parera, A. y D. Moreno. 2000. 'El Venado de las Pampas en Corrientes, Diagnóstico de su Estado de Conservación y Propuestas de Manejo. Publicación Especial de la Fundación Vida Silvestre Argentina, 41. (Ed. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina.)
- Pereda, M.I. 2016. Uso y selección de pastizales con quemas prescriptas por una población translocada de venado de las pampas en la Reserva Natural Iberá (Corrientes, Argentina). Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas, Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez Carusi, L. C., M.S. Beade, F. Miñarro, A.R. Vila, M. Giménez-Dixon y D.N. Bilenca. 2009. Relaciones espaciales y numéricas entre venados de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus celer*) y chanchos cimarrones (*Sus scrofa*) en el Refugio de Vida Silvestre Bahía Samborombón, Argentina. *Ecología austral* 19:63-71

Pernia, E. 1997. Sistemas aerofotográficos de pequeño formato para la evaluación de recursos forestales en América Latina. *Forest Systems* 6:229-245.

Pix4D Support (2017). Quality Report Help.

<<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558689#label13a>>. Consultado el 2 de Mayo del 2017.

Prieto, R., E. Méndez, J.J. Vales, I. Pino, I.R. Carpintero, L. Granado, G. Montoya, F. Giménez de Azcárate, F. Cáceres y J.M. Moreira. 2014. Aplicación de UAVS a la detección de fauna como soporte a los censos cinegéticos. *REDIAM. Revista de Teledetección* 41:121-131.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Vienna, Austria. <<http://www.R-project.org/>>. Consultado el 1 de febrero de 2017.

Rich, L. N., M.J. Kelly, R. Sollmann, A.J. Noss, L. Maffei, R.L. Arispe, ... y M.S. Di Bitetti. 2014. Comparing capture-recapture, mark-resight, and spatial mark-resight models for estimating puma densities via camera traps. *Journal of Mammalogy*, 95:382-391.

Ridpath, M. G., R.J. Begg, M.L. Dudzinski, M.A. Forbes y A. Graham. 1983. Counting the same populations of large tropical mammals from the ground and from the air. *Wildlife Research* 10:487-498.

Royle, J. A., R. B. Chandler, R. Sollmann y B. Gardner. 2014. *Spatial capture–recapture*. Academic Press, Waltham, USA.

Samuel, M., E. Garton, M. Schlegel y R. Carson, R. 1987. Visibility Bias during Aerial Surveys of Elk in Northcentral Idaho. *The Journal of Wildlife Management* 51:622-630.

Saugstad, S. 1942. Aerial census of big game in North Dakota. *Transactions of the North American Wildlife Natural Resources Conference* 7:343-356

Seber, G.A.F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*, 2nd ed. London: Griffin.

- Seddon, P. J., Ismail, K., Shobrak, M., Ostrowski, S., & Magin, C. (2003). A comparison of derived population estimate, mark-resighting and distance sampling methods to determine the population size of a desert ungulate, the Arabian oryx. *Oryx* 37:286-294.
- Shahbazi, M., J. Théau y P. Ménard. 2014. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing* 51:339-365.
- Short, J. y P. Bayliss. 1985. Bias in aerial survey estimates of kangaroo density. *Journal of Applied Ecology* 22:415-422.
- Sollmann, R., B. Gardner y J. L. Belant. 2012. How does spatial study design influence density estimates from spatial capture– recapture models? *PLoS ONE* 7
- Sollmann, R., B. Gardner, A.W. Parsons, J.J. Stocking, B.T. McClintock, T.R. Simons,... y A.F. O'Connell. 2013. A spatial mark–resight model augmented with telemetry data. *Ecology* 94:553-559.
- Thomas, L., S.T. Buckland, E.A. Rexstad, J.L. Laake, S. Strindberg, S.L. Hedley,... y K.P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47:5-14.
- Vermeulen C., P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo y P. Bouché. 2013. Unmanned Aerial Survey of Elephants. *PLoS One* 8
- Watson, R., C. Parker y T. Allan. 1969. A census of elephants and other large mammals in the M' Komazi region of northern Tanzania and Southern Kenya. *African Journal of Ecology* 7:11-26.
- White, C. 2005. Correcting wildlife counts using detection probabilities. *Wildlife Research* 32:211–216.
- White, G.C., R.M. Bartmann, L.H. Carpenter y R.A. Garrott. 1989. Evaluation of aerial line transects for estimating mule deer densities. *Journal of Wildlife Management* 53:625-635.
- Williams, B.K., J. D. Nichols y M. J. Conroy. 2002. Analysis and management of animal populations. Academic Press, San Diego, California, USA.

Zamboni, T., A. Delgado, I. Jiménez-Pérez y C. De Angelo. 2015. How many are there? Multiple-covariate distance sampling for monitoring pampas deer in Corrientes, Argentina. *Wildlife Research* 42:291-301.

### **COMUNICACIONES PERSONALES**

Carlos De Angelo. Instituto de Biología Subtropical (IBS). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de Misiones - Argentina. (email: carlos.deangelo@ibs.unam.edu.ar)

Ignacio Jiménez. The Conservation Land Trust, Corrientes, Argentina (email: i\_jimenez\_perez@yahoo.es).

## ANEXOS

ANEXO A. Figuras procedentes del informe de calidad obtenido por la versión prueba del programa pix4D para estudiar el grado de solapamiento de los mosaicos.

Imagen sacada del informe de calidad de el mosaico 1, obtenida con la versión "prueba" del programa pix4D®, que muestra el número de imágenes solapadas calculadas para cada píxel de el mosaico. Las áreas rojas y amarillas indican un solapamiento bajo, lo cual puede generar resultados poco confiables. Las áreas verdes muestran que la superposición es de más de 5 imágenes por cada píxel.

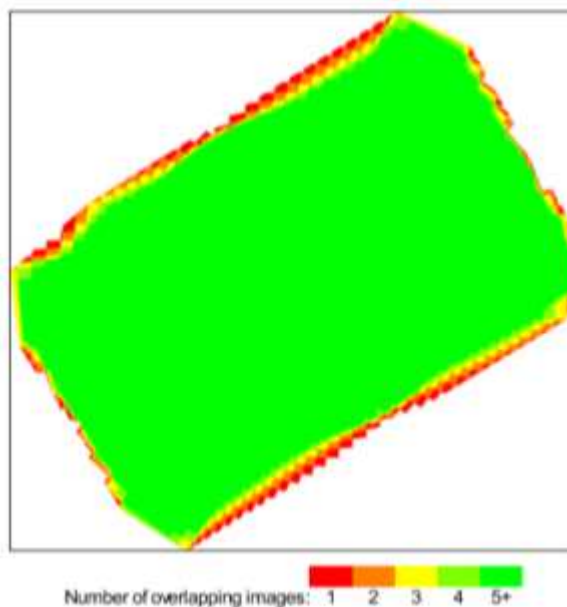
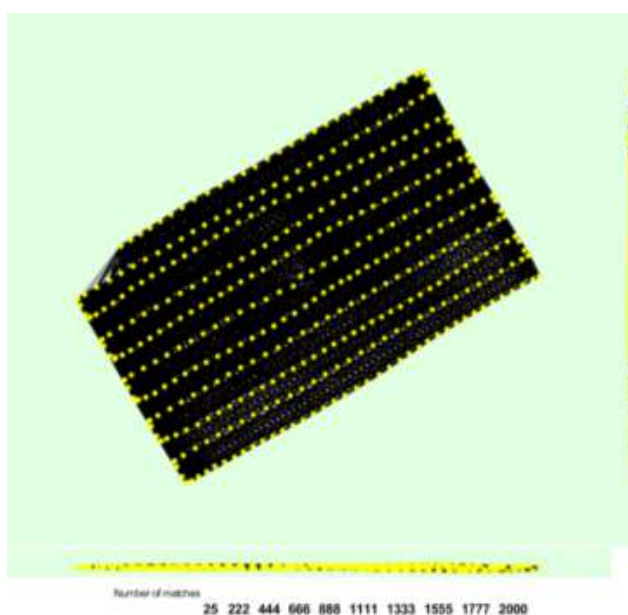


Imagen sacada del informe de calidad de el mosaico 1, obtenida con la versión "prueba" del programa pix4D®, que muestra las posiciones de las imágenes con los enlaces entre las imágenes coincidentes



ANEXO B. Resumen del presupuesto descrito para cada método y su categoría según el coste económico (*bajo*, si la inversión es menor a 1000\$USD; *medio*, si la inversión está entre 1000\$ y 2000\$USD; *alto*, si el presupuesto es mayor de 2000\$USD).

Métodos	Recursos materiales utilizados en esta investigación	Coste económico (\$USD)	Otros gastos no asumidos en esta investigación pero requeridos por el método	Categorías según el coste económico de cada método	Consideraciones
Método distancias	Binoculares	102	- Este método requirió mayor esfuerzo de muestreo en campo (diez ocasiones (días) de muestreo) que los métodos aéreos, lo que implicaría mayor presupuesto correspondiente a la contratación del investigador. El presupuesto aproximado para el investigador es de 100\$/día, lo que se correspondería a 1000\$ por toda la fase de campo.	Bajo	
	Distanciómetro	160		Medio	
	Brújula	13,54		Alto	
	Gps	91			
	Caballo	374			
Método marca reavistamiento	Binoculares	102	- A este presupuesto hay que añadirle el coste económico correspondiente al proceso de marcaje de los animales que en esta investigación no se contempló porque ya se encontraban marcados. Esto implicaría el coste económico correspondiente a los collares de radiotelemetría, las marcas artificiales en las orejas, la contratación de un veterinario y el material de anestesia (rifle, dardos, anestesia, vaporizador).  - Además hay que considerar el coste económico correspondiente a la contratación del investigador y del veterinario.	Bajo	El coste económico lo categoricé como <i>alto</i> teniendo en cuenta el presupuesto correspondiente al proceso de marcaje y reintroducción de todos los individuos realizado en los primeros años del proyecto.
	Caballo	374		Medio	
				Alto	
Método conteo completo en mosaicos con dron	Dron con 3 baterías	1249,99	- Hay que tener en cuenta la licencia del programa para la creación de los mosaicos. Pix4D ofrece alquiler mensual por 293\$USD.  - En este método realicé menos ocasiones de muestreo (tres ocasiones) lo que implicaría menor presupuesto en la contratación del investigador en comparación a los métodos terrestres. El presupuesto aproximado para el investigador es de 100\$/día, lo que se correspondería a 300\$ por la fase de campo.	Bajo	
				Medio	
				Alto	
Método conteo completo en grabaciones de video con dron	Dron con 3 baterías	1249,99	- Este método requirió menos ocasiones de muestreo que los métodos terrestres, lo que implicaría menor presupuesto en la contratación del investigador. El presupuesto aproximado para el investigador sería de 200\$ o 300\$, si se realizan dos o tres muestreos respectivamente.	Bajo	
				Medio	
				Alto	
Método conteo completo en imágenes con avioneta	Avioneta y piloto	*	* La avioneta pertenecía al proyecto de CLT pero reflejo el valor aproximado correspondiente al alquiler de una hora de avioneta y piloto para ser replicable a otros estudios. Este valor se encuentra entre 300\$ y 400\$/hora.	Bajo	Considero que el coste económico es <i>alto</i> porque el alquiler de la avioneta supondría un coste elevado para este método debido a las repeticiones de los muestreos a lo largo del tiempo.
	Equipo fotográfico y consola	719		Medio	
				Alto	