



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ciencias Naturales**  
**Maestría en Recursos Bióticos**

**“ESTADO POBLACIONAL DE LAS COLONIAS DE PERRITO DE LA PRADERA  
(*Cynomys ludovicianus*) EN SONORA, MÉXICO”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias - Recursos Bióticos

Presenta:

**EFRÉN MORENO ARZATE**

Dirigido por:

**DR. CARLOS ALBERTO LÓPEZ GONZÁLEZ**

Centro Universitario  
Septiembre 2013  
Querétaro, Qro.,  
México



# Universidad Autónoma de Querétaro

## Facultad de Ciencias Naturales

### Maestría en Recursos Bióticos

“ESTADO POBLACIONAL DE LAS COLONIAS DE PERRITO DE LA PRADERA (*Cynomys ludovicianus*) EN SONORA, MÉXICO”

Tesis  
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias - Recursos Bióticos

Presenta:  
**EFRÉN MORENO ARZATE**

Dirigido por:  
**DR. CARLOS ALBERTO LÓPEZ GONZÁLEZ**

Sinodales

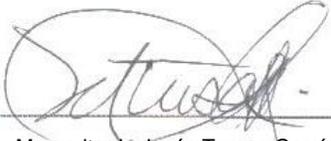
Dr. Carlos Alberto López González  
**Presidente**

Dr. Robert Jones Wallace  
**Secretario**

Dr. Rurik List Sánchez  
**Vocal**

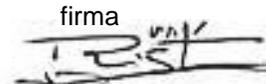
Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval  
**Suplente**

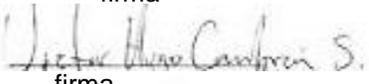
Dr. Rafael Ávila Flores  
**Suplente**

  
Dra. Margarita de Jesús Teresa García Gasca  
Director de la Facultad

  
firma

  
firma

  
firma

  
firma

  
firma

  
Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

El perrito de la pradera cola negra (*Cynomys ludovicianus*), es una especie amenazada en peligro de extinción. Dentro de México, *C. ludovicianus* se encuentra en dos poblaciones; la primera al noroeste de Chihuahua, y la otra en el noreste de Sonora. La población Sonorense se encuentra representada por dos colonias: La Mesa (92ha) y Las Palmitas (57ha). El objetivo del estudio fue conocer la situación poblacional de las colonias, por medio de observación directa, a través de los métodos de transecto en franja, distance sampling y cuadrantes, complementado con un factor de corrección de observación. En la colonia La Mesa los monitoreos mensuales se realizaron entre noviembre del 2010 a octubre del 2012 y en el caso de la colonia Las Palmitas, de mayo del 2011 a octubre del 2012. En la colonia La Mesa, la densidad con factor de corrección incluido estimó en el caso de transecto en franja una densidad que oscilo entre 0.0 a 1.99 ind/ha, con un promedio de 3.71 ind/ha. Con distance sampling oscilaron entre 0.0 a 8.35 ind/ha con un promedio de 0.64 ind/ha. Finalmente con los cuadrantes la densidad oscilo entre 0.00 a 1.78 ind/ha con un promedio de 0.83 ind/ha. En la colonia Las Palmitas, con transecto en franja oscilaron entre 0.38 2.47 con un promedio de 1.15 ind/ha. Finalmente con distance sampling oscilo de 1.34 a 6.69 ind/ha con un promedio de 1.58 ind/ha. Comparando los métodos el que mejor representó la densidad real fue el distance sampling. Con este método se estimó el tamaño poblacional, que en el caso de la colonia La Mesa fue de aproximadamente 711 individuos y en Las Palmitas 387 individuos. Además se puede observar una tendencia general en ambas colonias, las densidades del 2011 son más altas que las del 2012, en el caso de la colonia La Mesa disminuyó en un 66.02% en comparación a la densidad reportada en el 2011 y en la colonia Las Palmitas disminuyó en un 11.8 %. La tendencia en la disminución de la densidad se pudierá deber a que en el año 2011 fue menor la precipitación comparada a la del 2010, disminuyendo en un 46%, por lo que en el año 2012 posiblemente se encontraba menor disponibilidad de alimento, que se ve reflejado en una menor actividad de *C. ludovicianus*. Además en el caso de la colonia La Mesa se realizó una extracción de individuos que pudo generar una reestructuración en las interacciones sociales, que se vio reflejado en menores observaciones. Concluimos que es importante continuar con monitoreos sistemáticos para detectar las variaciones en la densidad de ambas colonias. Es necesario llevar a cabo estrategias de conservación que favorezcan el incremento de sus poblaciones, de este modo la creación de nuevas colonias de *C. ludovicianus* favorecerá estas metas.

**Palabra clave:** Perrito de la pradera, Sonora, colonias, densidad, tamaño poblacional.

## SUMMARY

The black tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*), is an endangered species. Within Mexico, *C. ludovicianus* is in two populations, the first northwest of Chihuahua, and the other in northeastern Sonora. The Sonoran population is represented by two colonies: La Mesa (92ha) and Las Palmitas (57ha). The aim of the study was to determine the population status of the colonies, through direct observation, through the strip transect methods, distance sampling and quadrants, complemented by a correction factor of observation. In the colony of La Mesa the monthly monitoring were conducted from november 2010 to october 2012 and in the case of the colony Las Palmitas, may 2011 to october 2012. In the colony of La Mesa, the density estimated correction factor included in the case of strip transect a density ranged from 0.0 to 1.99 ind / ha, with an average of 3.71 ind / ha. With distance sampling ranged from 0.0 to 8.35 ind / ha with an average of 0.64 ind / ha. Finally with density quadrants ranged from 0.00 to 1.78 ind / ha with an average of 0.83 ind / ha. In the colony Las Palmitas with strip transect ranged from 2.47 to 0.38 averaging 1.15 ind / ha. Finally with distance sampling ranged from 1.34 to 6.69 ind / ha with an average of 1.58 ind / ha. Comparing the methods in the case of colony La Mesa, the method presented less variation was the distance sampling. With this method the population size was estimated that in the case of colony La Mesa was approximately 711 individuals and 387 individuals in Las Palmitas. Also you can see a general trend in both colonies, the densities of 2011 are higher than those of 2012, in the case of colony La Mesa decreased by 66.02% compared to the density reported in 2011 and the Las Palmitas decreased by 11.8%. The trend in the decrease in density could be because in 2011 the precipitation was lower compared to 2010, decreasing by 46%, so that in 2012 was possibly reduced availability of food, which is reflected in a lower activity of *C. ludovicianus*. Also in the case of colony La Mesa underwent removal of individuals who could generate a restructuring in social interactions, which was reflected in lower observations. We conclude that it is important to continue with systematic monitoring to detect variations in the density of both colonies. It is necessary to carry out conservation strategies that favor the growth of their populations, thus creating a new colonies of *C. ludovicianus* promote these goals.

**Keyword:** Prairie dog, Sonora, colony, density, population size

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mi estancia en la maestría.

A Naturalia Comité para la Conservación de Especies Silvestres A. C. por el apoyo económico y material de campo otorgado dentro de los proyectos “Fortalecimiento e implementación de un programa de monitoreo de especies clave para la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos Bavispe y la RPC Cuenca del Río San Pedro” y “Protocolo para la traslocación de perritos de la pradera cola negra (*Cynomys ludovicianus*) en la Reserva Los Fresnos, Cuenca del Río San Pedro, Sonora”. Así mismo las facilidades que brindaron y permitieron la realización de el presente trabajo y la presentación de los resultados en congresos nacionales e internacionales. Además de permitir el uso de datos generados durante mi estancia en Naturalia A.C. y permitir su uso para integrarlos a mi trabajo de Maestría.

A la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos Bavispe, por su constante apoyo a lo largo de éste trabajo, así como su director el Dr. Mario Cirette Galán, por el apoyo otorgado por medio de personal de la reserva, particularmente muchas gracias Isaías Ochoa y María Rosa Maldonado por apoyarme en los monitoreos.

A BIDA, A. C. por su apoyo, orientación y calidez. Particularmente a Daniel Toyos, Ramón y Jorge, quienes siempre estuvieron con migo en este proceso.

Al Posgrado en Recursos Bióticos de la Autónoma de Querétaro por el apoyo para congresos, cursos y simposios a los cuales asistí durante mi estancia en el estudio de mi maestría.

A mis sinodales, por dar tiempo en la lectura y revisión del manuscrito de tesis.

Asimismo quiero dar un gran agradecimiento a la secretaria de Posgrado, de la Facultad de Ciencias Naturales, Licenciada María del Pueblito y Yolanda Hernández, por toda su orientación así como comprensión durante todo el proceso de titulación.

A mí querida madre Fili Magdalena Arzate, por siempre apoyarme en todo momento en mis decisiones y ser el soporte más fuerte siempre. Eres la persona que más admiro en este mundo terrenal, querida madre.

A mi querido padre, aunque ya te encuentras en el azul, yo sé que siempre estas al pendiente de nosotros y esto es un logro que te quiero compartir, querido padre.

A mi carnalita Claudia Moreno por apoyarme en todo momento y el gusto de poder compartir de las experiencias más bellas en campo e influir de una gran manera en este bello camino que ando. Muchas gracias a mi carnal Iván Moreno, por

demostrarme que en el la vida uno siempre tiene que reír, gracias por ponernos el ejemplo con tu gran bondad, que tienes carnal. Los quiero mucho carnales.

A Dr. Carlos A. López González, por ser siempre unos de mis soportes más fuertes, no tengo manera de agradecer lo que ha contribuido en mí, gracias por ser mi maestro en muchos aspectos. Gracias por todo y ser en los últimos años una de las personas que ha dirigido mi camino.

A todas las personas que participaron en el trabajo de campo y escritorio, espero que las chocoaventuras que nos pasó durante el trabajo de campo les haya gustado. Su ayuda fue realmente muy valiosa: Lucia Pérez Weil Rogelio Pérez Weil, Zaira González, Luz Carina Guerra, Lucia Loremy, Daniela Gutiérrez y Javier.

A mis compas entrañables: Angélica, Heriberto, Karen, Luisa y un muy especial agradecimiento a Sarita Vázquez por estar siempre apoyándome en todo momento.

A todos los rostros desconocidos que encontramos en el camino, que van en busca de un sueño y de mejores oportunidades al cruzar la frontera, porque nos brindaron una lección de vida y una visión del mundo que no conocíamos, y que sin duda forma parte de este trabajo...esperando que tengan un muy buen viaje, siempre.

Muchas gracias a todos ellos, este trabajo no se hubiera podido realizarse sin su ayuda.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
INDICE.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCION .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Métodos de estimación .....	4
Transecto en franja (Transecto de ancho fijo) .....	5
Estudios con la aplicación de distance sampling (Transecto de ancho variable) .....	6
Observación directa por medio de cuadrantes .....	8
Traslocación (reubicación) .....	9
III.HIPÓTESIS .....	10
IV. OBJETIVOS.....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos .....	11
V. MÉTODOS.....	11
Área de Estudio.....	11
Transecto .....	14
Transecto en franja (Transecto de ancho fijo) .....	16
Distance sampling (Transecto de ancho variable).....	17
Factor de corrección.....	18
Cuadrantes.....	19
Influencia de la aplicación de los diferentes métodos en la colonias de <i>C. ludovicianus</i> .....	22
Definición del método más apropiado para las colonias de <i>C. ludovicianus</i> en Sonora. ....	23
Tamaño poblacional .....	23
Correlación densidad-precipitación .....	24
Análisis Estadístico .....	24

Ubicación espacial de las Madrigueras activas en las colonias de <i>C. ludovicianus</i> .....	25
VI. RESULTADOS.....	26
Obstrucción vertical.....	26
Densidad poblacional La Mesa vs Las Palmitas .....	26
Correlaciones de la estimación de la densidad poblacional de los.....	30
distintos métodos dentro de las colonias de <i>C. ludovicianus</i> .....	30
Definición del método más apropiado para las colonias de <i>C. ludovicianus</i> en Sonora. ....	32
Densidad La Mesa-Las Palmitas.....	33
Tamaño poblacional .....	34
Ubicación espacial de las observaciones en poblaciones de <i>C. ludovicianus</i> en las colonias La Mesa y Las Palmitas .....	36
Ubicación espacial de las Madrigueras activas en las colonias de <i>C. ludovicianus</i> .....	38
Influencia de la Precipitación en la densidad poblacional dentro de las colonias de <i>C. ludovicianus</i> .....	39
VII. DISCUSION .....	43
VIII. RECOMENDACIONES DE MAJENO .....	55
IX. CONCLUSIONES .....	56
LITERATURA CITADA.....	57
APÉNDICES.....	66
Apéndice 1. ....	66
Apéndice 2. ....	67
Apéndice 3. ....	68

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pagina</b>
1	<i>Ubicación de las colonias de C. ludovicianus de La Mesa y Las Palmitas.</i>	13
2	<i>Ubicación de los transecto en franja en las colonias Las Mesa y Las Palmitas.</i>	18
3	<i>Localización geográfica de los cuadrantes dentro de la colonia La Mesa.</i>	20
4	<i>Cuadrante integrando la distancia media del ámbito hogareño.</i>	22
5	<i>(A) Resultados de los monitoreos en la colonia La Mesa, añadiéndole el factor de corrección con el método de distance sampling. (B) Resultados con el método de transecto en franja. (C) Resultados con el método de cuadrante.</i>	28
6	<i>(A) Resultados de los monitoreos en la colonia Las Palmitas, añadiéndole el factor de corrección con el método de distance sampling. (B) Resultados con el método de transecto en franja.</i>	30
7	<i>Correlación de la densidad de los distintos métodos aplicados. (A) Distance sampling Vs transecto en franja. (B) Transecto en franja Vs cuadrantes. (C) Distance sampling Vs cuadrantes, en la colonia La Mesa.</i>	31
8	<i>Correlación de la densidad de distance sampling con transecto en franja en la colonia Las Palmitas.</i>	32
9	<i>Resultados de todos los monitoreos en las dos colonias, utilizando el método de distance sampling con el factor de corrección integrado.</i>	33
10	<i>Estimado poblacional calculado con el método de distance sampling en la colonia La Mesa.</i>	34
11	<i>Promedio de los tamaños poblacionales con el método de distance sampling, transecto en franja, aplicados en la colonia Las Palmitas.</i>	35
12	<i>Ubicación espacial de las observaciones a lo largo del transecto en la colonia La Mesa (Izquierda) y Las Palmitas (Derecha).</i>	37
13	<i>Distribución espacial de las madrigueras activas en las colonias La Mesa (arriba) y Las Palmitas (abajo).</i>	38
14	<i>Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2011 con precipitación del periodo 2010(A) y (B) 2011, en la colonia La Mesa.</i>	39
15	<i>Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2012 con precipitación el periodo 2011 (A) y 2012 (B) dentro de la colonia La Mesa.</i>	40
16	<i>Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2011 con precipitación del ciclo (A) 2010 y 2011 (B) dentro de la colonia Las Palmitas</i>	41
17	<i>Correlación de densidad poblacional del ciclo 2012 con precipitación del ciclo 2011 (A)-2012 (B) de la colonia Las Palmitas.</i>	42
18	<i>Resultados de las densidades de distintos estudios de estados que entran dentro de la distribución de C. ludovicianus, en donde se le incorpora los resultados obtenidos en el presente estudio.</i>	51

## I. INTRODUCCION

El perrito de la pradera cola negra (*Cynomys ludovicianus*) es una especie importante dentro de los pastizales de Norte América, ya que se ha demostrado que favorece el incremento en la diversidad de especies, tanto de fauna como de flora (Ceballos y Pacheco 2000; Cully *et al.* 2010; Royo y Báez 2001; Winter *et al.* 2002). El género *Cynomys* es exclusivo de América del Norte, representado por cinco especies: *Cynomys ludovicianus*, *C. mexicanus*, *C. leucurus*, *C. gunnison*, *C. parvidens*. En México se encuentran dos de las cinco especies; *C. mexicanus* y *C. ludovicianus*. Representando la distribución más amplia, *C. ludovicianus*, históricamente esta especie se distribuía desde el sur de Canadá hasta el norte de México (Hall 1981; Hoogland 2003).

La gran mayoría de las poblaciones de *C. ludovicianus* están distribuidas dentro de los Estados Unidos. Particularmente dentro de las grandes planicies, se ha identificado que presenta su origen (Goodwin 1995) observándose en 11 estados de la Unión Americana (Hall 1981). A diferencia de Canadá en donde únicamente se encuentra dentro de la provincia de Saskatchewan (Hall 1981).

Dentro del territorio nacional, *C. ludovicianus* se distribuye en dos sistemas de poblaciones ubicadas en Chihuahua y Sonora (Ceballos y Mellink 1993; Ceballos y Pacheco 2000). Hasta hace poco, una de estas poblaciones o colonias, ubicada en los pastizales del noroeste de Chihuahua, municipio de Janos, fue identificada como la más grande de Norteamérica (Ceballos y Mellink 1993); recientemente esta designación es ocupada por una colonia en Texas (Carlos A. López González

*com. pers.*). La segunda población habitada en el noreste del Estado de Sonora, en el límite de los municipios de Santa Cruz y Cananea (Castillo 2004). Hoy en día, esta especie está presente únicamente en el 2% de su distribución histórica (Ceballos y Mellink 1993; Ramírez y Keller 2010).

Existen atributos del terreno que propicia la reducción del área de las colonias de *C. ludovicianus*, como la pendiente de la topografía, ya que *C. ludovicianus* prefieren zonas con mínima pendiente, condiciones que también se buscan en prácticas como: la agricultura y ganadería (Hoogland 2006; Ramirez y Keller 2010). Por lo cual, los propietarios de estos predios, argumentan que *C. ludovicianus* compite directamente con el ganado por espacio y alimento (O' Meilia *et al.* 1982; Collins *et al.* 1984). Además, argumentan que los huecos de las madrigueras cotidianamente provocan fracturas en las patas del ganado (C. Lauro Molina *com pers* 2012).

La situación entre los ganaderos, agricultores y las colonias de *C. ludovicianus* a menudo provoca una situación conflictiva, que en muchas ocasiones ha culminado con la exterminación de las colonias (Ceballos y Mellink 1993; Magle y Crooks 2008). Sin embargo, se ha demostrado que la práctica de ganadería, es capaz de tolerar la presencia de colonias de *C. ludovicianus*, ya que, si bien el espacio donde forrajea el ganado se ve disminuido, la presencia de *C. ludovicianus* promueve el crecimiento de especies de mayor calidad, ejerciendo una acción compensatoria sobre el aparente “daño” realizado (O' Meilia *et al.* 1982).

Las colonias presentes en el Estado de Sonora, son las de mayor distribución occidental, además de presentar la ubicación latitudinal más sureña de la especie, aisladas de las poblaciones de Chihuahua por la Sierra Madre Occidental (Castillo 2004).

Las poblaciones ubicadas en los límites de la distribución presentan características particulares (Lawton 1993). Por ejemplo se ha observado que las condiciones en el hábitat para *C. ludovicianus* en el norte de su distribución difieren en gran medida a las condiciones del hábitat, que en el sur de su distribución (Ávila-Flores *et al.* 2010, 2012). Debido a que los pastizales ubicados en el desierto son más áridos y exhiben una menor productividad primaria, aunado a una mayor diversidad de especies vegetales, con sequias más continuas a diferencia de los pastizales de América del Norte (Sims *et al.* 1978; Ceballos *et al.* 2010; Ávila-Flores *et al.* 2012), que son considerados más productivos (Gauthier *et al.* 2003).

Estas diferencias en el hábitat pueden originar diferencias en el tamaño poblacional de las colonias, por lo cual es de relevancia conocer las tendencias poblacionales, así como el área ocupada por las colonias en los límites de distribución, como las colonias ubicadas en Sonora. En este sistema de colonias, se ha observado una disminución en la extensión ocupada por la colonia La Mesa, debido a que ha disminuido de tamaño entre 2004 y 2011. En el estudio realizado por Castillo (2004), se reportó que la colonia La Mesa presentaba una extensión de 183 ha; posteriormente Carreón *et al.* (2010), indicaban que la colonia tenía una extensión de 123 ha. Finalmente en el mes de marzo del 2010, se delimitó de

nuevo el perímetro de la colonia obteniendo como resultado 92.3 ha y 56.6 ha en la colonia Las Palmitas (Moreno-Arzate y López-González 2011). Por el cual el conocimiento del tamaño poblacional y el área ocupada (Biggins *et al.* 2006), es fundamental para delimitar las colonias de *C. ludovicianus*.

A consecuencia de esto es de gran relevancia conocer la población de las colonias de *C. ludovicianus*, por lo que se debe estimar su tamaño poblacional (Biggins *et al.* 2006). Para llevar a cabo esto es importante conocer el área ocupada por estas, se debe de utilizar como el límite de la colonia la zona que presenta forrajeo por parte de *C. ludovicianus* (Hoogland 1995; Biggins *et al.* 2006).

Por lo anterior, el presente estudio enfatiza en la evaluación de la variabilidad de la densidad poblacional de *C. ludovicianus* en dos colonias, a partir del método de conteo visual (Walker *et al.* 2000; Biggins *et al.* 2006), transecto en franja (Burnham *et al.* 1980), y cuadrantes (Severson y Plumb 1998); contribuyendo a la generación de información técnica necesaria para futuras acciones de conservación, como lo es la creación de nuevas colonias de *C. ludovicianus* en la Cuenca del Rio San Pedro.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Métodos de estimación**

Entre los métodos más utilizados para realizar estimaciones poblacionales en el caso de escalas pequeñas se encuentran las observaciones directas, en donde se está observando y contando el número de individuos de *C. ludovicianus* visibles en transectos o periodos de tiempo en áreas determinadas (Fagerstone y Biggins

1986). En el caso de superficies mayores se utilizan vuelos aéreos así como fotografía e imágenes de satélite (Sidle *et al.* 2002).

Recientemente se reconoce al método de captura-recaptura como el de mayor precisión en las estimaciones de densidad poblacional de perritos (Biggins *et al.* 2006; Severson y Plumb 1998). Sin embargo, también se reconoce como el de mayor costo económico en su aplicación y de su elevado esfuerzo de trabajo de campo (Fagerstone y Biggins 1986; Menkens y Anderson 1993; Hoogland 1995).

Entre otros métodos, se encuentra el conteo de madrigueras activas, posiblemente el menos recomendable para realizar estimados poblacionales (Severson y Plumb 1998; Biggins *et al.* 2006). Este método consiste en contabilizar el número de madrigueras con evidencia de actividad (excretas frescas, suelo recién removido, accesos despejados, etc.) a lo largo de transecto de longitud variable (Biggins *et al.* 1993). El método más apropiado si no se cuenta con recurso suficiente para aplicar captura-recaptura, es la observación directa de los individuos *C. ludovicianus* (Severson y Plumb 1998).

### **Transecto en franja (Transecto de ancho fijo)**

Este método es uno de los más utilizados para el estudio de la fauna silvestre (Burnham *et al.* 1980; Varman y Sukumar 1995; Harris y Burnham 2002; Jang y Loh 2010). Los datos obtenidos por medio del transecto pueden ser analizados de distintas maneras. Entre los procedimientos analíticos más utilizados se encuentra el método de King, que se basa en la siguiente fórmula:

$$D = n/2l\hat{a}$$

Dónde:

D= Densidad poblacional

n= Número de observaciones

l= Longitud del transecto

$\hat{a}$ = Ancho del transecto

Previo a la aplicación de la ecuación es importante conocer las características del área de estudio. De preferencia los transectos deben ser ubicados aleatoriamente, dentro del área, para lo cual se registran el número de observados así como su distancia perpendicular. En el caso de grupos la distancia perpendicular es medida al centro geométrico del grupo de observados. Los transectos se pueden realizarse bajo diferentes medios; caminando o en automóvil.

En todo momento el método se basará en el objeto de estudio, para el cual será importante conocer su biología y ecología, para aplicar un muestreo más eficiente.

### **Estudios con la aplicación de distance sampling (Transecto de ancho variable)**

La aplicación de muestreos que utilizan la distancia para estimar abundancia y la densidad de las poblaciones biológicas es utilizada con frecuencia (Rabinowitz

1997). Entre los métodos principales se encuentran los transectos lineales y los puntos de conteo a lo largo de un transecto. Su aplicación ha sido muy diversa en el estudio de árboles, arbustos, hierbas, insectos, anfibios, reptiles, aves, peces, mamíferos marinos y terrestres (Thomas *et al.* 2002).

La idea es la misma en su aplicación, en donde el observador registra la distancia perpendicular desde la línea que sigue el transecto al punto donde se encuentra el individuo observado. Dentro de los supuestos principales, menciona que todos los objetos que estén sobre la línea del transecto deben de ser detectados. Los individuos y grupos observados más alejados del transecto serán más difíciles de detectar, por lo que se reduce la posibilidad de detección al aumentar la distancia (Thomas *et al.* 2002). Los datos obtenidos de los análisis con el software Distance 4.0 considera el diseño y el análisis de los datos con funciones matemáticas, seleccionando el mejor modelo que se adecue de una mejor manera a los datos obtenidos (Buckland *et al.* 2001).

Para el programa Distance 4.0 es recomendable contar con un mínimo de 40 encuentros por cada especie, en donde se sugiere entre 60 a 80 encuentros para obtener una estimación fiable. Se puede utilizar distance sampling con menos encuentros pero el límite de confianza de las estimaciones presentará mayor variación (Painter *et al.* 1999).

La aplicación de distance sampling en su gran mayoría se ha utilizado con el estudio poblacional de aves (Rosenstock *et al.* 2002; Harrison y Kilgo 2004; Newson *et al.* 2005; Somershoe *et al.* 2006). En el caso de los mamíferos su

aplicación ha sido más restringida. Gómez *et al.* (2003) aplicaron transectos lineales en bosque tropical para determinar la densidad de ardilla roja amazónica (*Sciurus spadiceus*). Los transectos aplicados presentaron variación en la longitud, en donde oscilaron entre los 2.5 a 5 km y se distribuyeron en dos parques protegidos en Bolivia. Los monitoreos los dividieron en dos periodos, en donde el promedio de ambos fue de 12.2 ind/km<sup>2</sup>. En el estudio encontraron, que la variación en la abundancia entre las épocas podría estar correlacionada con la disponibilidad de los recursos alimenticios entre las dos épocas estudiadas.

Bolaños y Naranjo (2001), trabajaron con la comunidad de ungulados (*Tayassu tajacu*, *Tayassu pecari*, *Tapirus bairdii*, *Mazama americana* y *Odocoileus virginianus*) en la Reserva de la Biósfera Montes Azules. En el estudio aplicaron 23 transectos lineales, realizando observaciones directas y búsqueda de rastros, en total se recorrieron 426 km. Se estimó la abundancia relativa y en el caso de la estimación de la densidad, se realizó por medio del Distance 3.5. Se observó que *Tayassu tajacu* fue la especie más abundante de las cuatro. Además la distribución de las especies no se presentó de la misma manera, ya que en algunos transectos no se identificó la presencia de *O. virginianus* y *T. pecari*. Los autores mencionan que este patrón se puede deber a la frecuente cacería de estas especies.

### **Observación directa por medio de cuadrantes**

La estimación de la abundancia y la densidad a través de observación directa por medio de áreas delimitadas ha sido aplicada frecuentemente en Estados Unidos

para el estudio de *C. ludovicianus* y *C. leucurus* (Avila et al. 2010). Entre los más utilizados se encuentran los cuadrantes, en donde se delimita el área con señalizadores (banderillas de colores). En la aplicación de los conteos visuales en áreas delimitadas, el principal supuesto menciona que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser detectados en cada uno de los cuadrantes. Asimismo el segundo supuesto menciona que se deben de considerar que las zonas donde se establezcan los cuadrantes deben de presentar las mismas características de hábitat como topográficas y altura de la vegetación (Severson y Plumb 1998).

### **Traslocación (reubicación)**

La vulnerabilidad de muchas colonias de *C. ludovicianus* y la variabilidad de las densidades poblacionales estimadas, a partir de los diferentes métodos de conteo, proporcionan información técnica para realizar actividades de traslocaciones. Diversos estudios se han enfocado en creación de nuevas poblaciones a partir de la traslocación de sitios de conflicto (sistemas agropecuarios e urbanización) a sitios con tolerancia y condiciones para el establecimiento de esta especie. En México se han realizado actividades de traslocación de *C. mexicanus* del estado de Coahuila hacia el estado de Zacatecas, únicamente se ha realizado una traslocación, coordinada por Gustavo Cervantes quien extrajo individuos de *C. mexicanus* en el estado de Coahuila para establecer una nueva colonia en el estado de Zacatecas (Juan Carlos Bravo com. Pers 2013).

Para realizar el proceso de traslocación es crucial conocer una aproximación del tamaño poblacional de la colonia, a través de censos, identificando grupos

sociales específicos, además se debe mantener una supervisión constante de los individuos capturados, manteniendo intactas las interacciones sociales (Truett *et al.* 2001) y desparasitando a todos los individuos (Hoogland 2006). El porcentaje de extracción en el proceso de traslocación no debe superar el 25% de la población total estimada para la colonia, no afectando la supervivencia a largo plazo en la colonia de origen (Long *et al.* 2006). Sin embargo algunos autores recomiendan un mínimo de 60 individuos para establecer una colonia nueva (Robinette *et al.* 1995; Dullum *et al.* 2005).

Asimismo en el año 2010 se realizó un estudio epidemiológico para evaluar la presencia de *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, y ectoparásitos en los individuos de *C. ludovicianus* de la colonia La Mesa. Este estudio tuvo la finalidad de evaluar y eliminar el riesgo de un brote de enfermedad en caso de que se realizara una translocación. De acuerdo a los resultados preliminares de aquel estudio, no existe riesgo epidemiológico para los individuos de *C. ludovicianus*, ya que los resultados de hemoaglutinación y microaglutinación para *Y. pestis* y *F. tularensis*, respectivamente han sido negativos en ambas zonas (Zapata 2012).

### III.HIPÓTESIS

-La densidad poblacional de las colonias está relacionada con el área ocupada de las mismas.

-Los métodos de conteo poblacional de *C. ludovicianus* en dos distintas colonias, reflejarán diferencias en las estimaciones.

#### **IV. OBJETIVOS**

##### **Objetivo general**

-Estimar el tamaño poblacional de las colonias de *C. ludovicianus* y la variación de los conteos poblacionales a partir de distintos métodos

##### **Objetivos específicos**

-Evaluar la densidad *C. ludovicianus* por medio de observación directa a través de tres métodos en la colonia La Mesa.

-Evaluar la densidad de *C. ludovicianus* por medio de observación directa a través de dos métodos en la colonia Las Palmitas.

-Estimar el efecto de la topografía en la cuantificación de individuos dentro de ambas colonias.

-Determinar el grado de correlación entre la densidad poblacional y las variables climáticas en ambas colonias.

#### **V. MÉTODOS**

##### **Área de Estudio**

Las colonias se encuentran dentro de la cuenca del río San Pedro (30° 37' 12" a 31° 19' 48" latitud norte, 109° 48' 36" a 110° 37' 12" longitud este) de la ecorregión denominada por The Nature Conservancy (TNC), como *Apache Highlands* (Figura 1). El área es considerada prioritaria para la conservación por la Comisión de Cooperación Ambiental del Tratado de Libre Comercio (Bredehoeft *et al.* 1999).

La cuenca del río San Pedro se localiza a lo largo de los límites de los desiertos Sonorense y Chihuahuense. Recibe gran influencia de las montañas Rocallosas en los Estados Unidos y de la Sierra Madre, esta región es una zona considerada megadiversa y se le considera parte del “El Archipiélago Madreanense de las Islas del Cielo” (Felger y Wilson 1994).

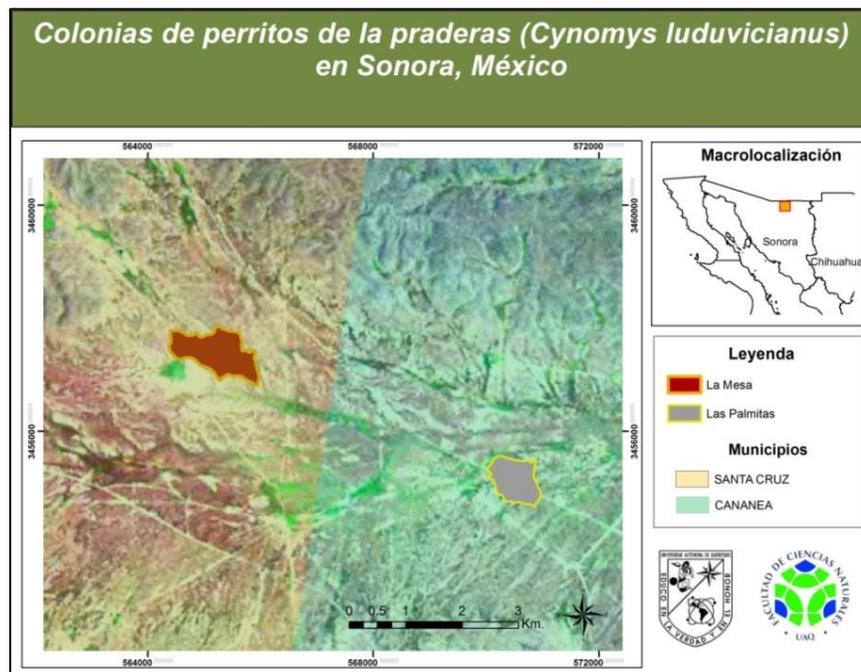
Esta área presenta más de 80 especies de mamíferos y 60 de reptiles y anfibios, al menos 26 de las cuales están en alguna categoría de protección (Marshall *et al.* 2004). La orientación norte-sur del ecosistema ribereño provee un corredor migratorio de importancia hemisférica a aproximadamente 400 especies de aves migratorias.

La cuenca del río San Pedro cuenta con aproximadamente 190 especies de plantas, las cuales se distribuyen en diez tipos de vegetación; pastizal natural, bosques de encino, pastizal inducido, bosques de táscate, mezquital, agricultura de riego, matorral xerófilo, bosques de pino-encino, bosque de encino-junípero y vegetación ribereña (López-Saavedra *et al.* 2008).

En la cuenca se han identificado varios tipos de suelos de acuerdo al mapa edafológico, en donde el suelo Cambisol se localiza en el extremo noroeste de la cuenca y tiene una cubierta de vegetación natural de pastos nativos. En el caso de Fozem, es el suelo con mayor área de distribución en la cuenca y se extiende en las porciones bajas de las sierras, lomeríos bajos y mesas. Presenta vegetación de pastizales naturales, matorrales desérticos y bosques de encinos. El área también presenta Fozem háplico combinado con Regosol éutrico. Otros tipos de suelo son el Litosol, que es más delgado y con menor profundidad; el Regosol que no presenta

capas diferenciadas y usualmente es de coloración clara; el Vertisol que es rico en arcilla de coloración café rojiza, y por último están los suelos de tipo Xerosol que se presentan en regiones áridas con una capa superficial clara y pobre en humus (Garza 2008).

Respecto a los análisis de suelo que se realizaron en la colonia La Mesa, los dos sitios que analizados mostraron que el suelo presenta una textura areno-limosa, con un pH entre 6.2 y 6.7. Asimismo la altura de la vegetación no está por encima de los 14 cm y se observó una cobertura del suelo del 60%. Se han identificado 34 especies de plantas, principalmente de las familias *Asteracea*, *Convolvulaceae* y *Poaceae* (Castro-Noriega & Castillo-Gámez 2010).



**Figura 1.** Ubicación de las colonias de *C. ludovicianus* de La Mesa y Las Palmitas.

## **Transecto**

Este método consistió en recorrer un transecto a pie, llevando a cabo el conteo de individuos de *C. ludovicianus* visibles durante el recorrido. La longitud del transecto en la colonia La Mesa, presentó una longitud aproximada de 2,100 m. En el caso del transecto en la colonia Las Palmitas, presentó una longitud de 1,100 m (Figura 2). Cada transecto fue recorrido durante tres días de cada mes, generando un total de seis repeticiones. Cada día se llevaron a cabo dos recorridos, uno por la mañana, iniciando entre las 700 y las 800 h y otro por la tarde entre los 1400 y 1500 h.

Se recorría el transecto caminando a una velocidad promedio de 3 km/h. En el caso de la colonia La Mesa los censos duraban aproximadamente entre 40 a 60 minutos y en la colonia Las Palmitas entre 30 a 50 minutos. El tiempo varió en función de la cantidad de observados durante el recorrido del transecto. Los datos generados de los avistamientos fueron utilizados para llevar a cabo dos estimaciones. En el caso de la colonia La Mesa se realizó un total 22 monitoreos mensuales, los cuales corresponden al periodo noviembre 2010-octubre 2012. Para la colonia Las Palmitas en total fueron 17 monitoreos, del periodo de mayo 2011-octubre 2012.

Durante el recorrido del transecto, nos colocamos en un punto del transecto perpendicular al individuo o grupos de *C. ludovicianus*, observamos y anotamos la distancia al individuo, utilizando un distanciómetro (*Rangefiner Bushnell Scout*

1000 ARC), los individuos observados, la distancia al principio del transecto desde la que se realizó el registro y finalmente el lado del transecto en el que se encontraron los individuos. Las observaciones de los individuos fueron corroboradas con la ayuda de binoculares (*Bushnell Waterproof 10 x 42*). Los resultados de ambos métodos se capturaron en hojas de Excel separadas, para posteriormente calcular su densidad mediante dos procedimientos.

El tiempo vario en función de la cantidad de observados durante el recorrido del transecto. Los datos generados de los avistamientos fueron utilizados para llevar a cabo un muestreo doble con distance sampling (transecto de ancho variable) y transecto en franja (transecto de ancho fijo). Esta es una técnica que se ha utilizado en distintos estudios para comparar diferentes métodos, evaluar la precisión y conveniencia de la aplicación en el campo (Ralph y Scott 198). Asimismo este método cuenta con tres supuestos que se deben de cumplir al momento de su aplicación (Burham *et al.* 1983):

- a) Los observados sobre el centro del transecto son detectados con certeza
- b) Los objetos son detectados en su ubicación inicial
- c) Las medidas a las observaciones deben de ser exactas

En total se realizaron 22 monitoreos mensuales, en el la colonia La Mesa, que corresponden al periodo noviembre 2010-octubre 2012. Para la colonia Las Palmitas se realizaron 17 monitoreos, el cual corresponden al periodo mayo 2011-octubre 2012.

### **Transecto en franja (Transecto de ancho fijo)**

En este método se registran todos los observados que se ubiquen dentro del ancho del transecto, en cualquiera de los lados del centro de la línea. Lo cual es un censo completo de franja, en donde no se miden las distancias de los observados y todas aquellas observaciones que queden fuera de la franja no se consideran para el análisis. La densidad por este método se calculó con la fórmula propuesta por Bukland *et al.* 1993:

$$D = n/2wL$$

**Dónde:**

**D:** Densidad ind/ha

**n:** Número de individuos de *C. ludovicianus* observados dentro de la franja

**w:** Ancho del transecto

**L:** longitud del transecto

En el caso del ancho del transecto se definió utilizando la distancia de 400 metros a cada lado. En donde solo se consideró a los individuos que estuvieran dentro de la franja para los análisis.

### **Distance sampling (Transecto de ancho variable)**

Para estimar la densidad mediante el segundo procedimiento se utilizó el programa *Distance 4.0* (Thomas *et al.* 2005). El programa se basa en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$nA \times f(0)/2L$$

#### **Dónde:**

*n*: es el número de individuos observados

*A*: es el área de muestreo (en km<sup>2</sup>)

*L*: es la longitud del transecto

*f* (0): es la probabilidad de detección calculada a partir de las distancias perpendiculares de observación

Los registros se dividieron en observaciones individuales y grupales, ingresándose al mismo tiempo. Los valores de densidad son el resultado de la combinación de los mejores modelos matemáticos, en los cuales se evaluaron las distintas funciones como uniforme, semi-normal y de tasa de riesgo, con ajustes polinomiales y en base a cosenos, a fin de ajustar las funciones de detección. Para la elección del mejor modelo de ajuste de la función de detección se utilizó el criterio de información de Akaike (Buckland *et al.* 2001).

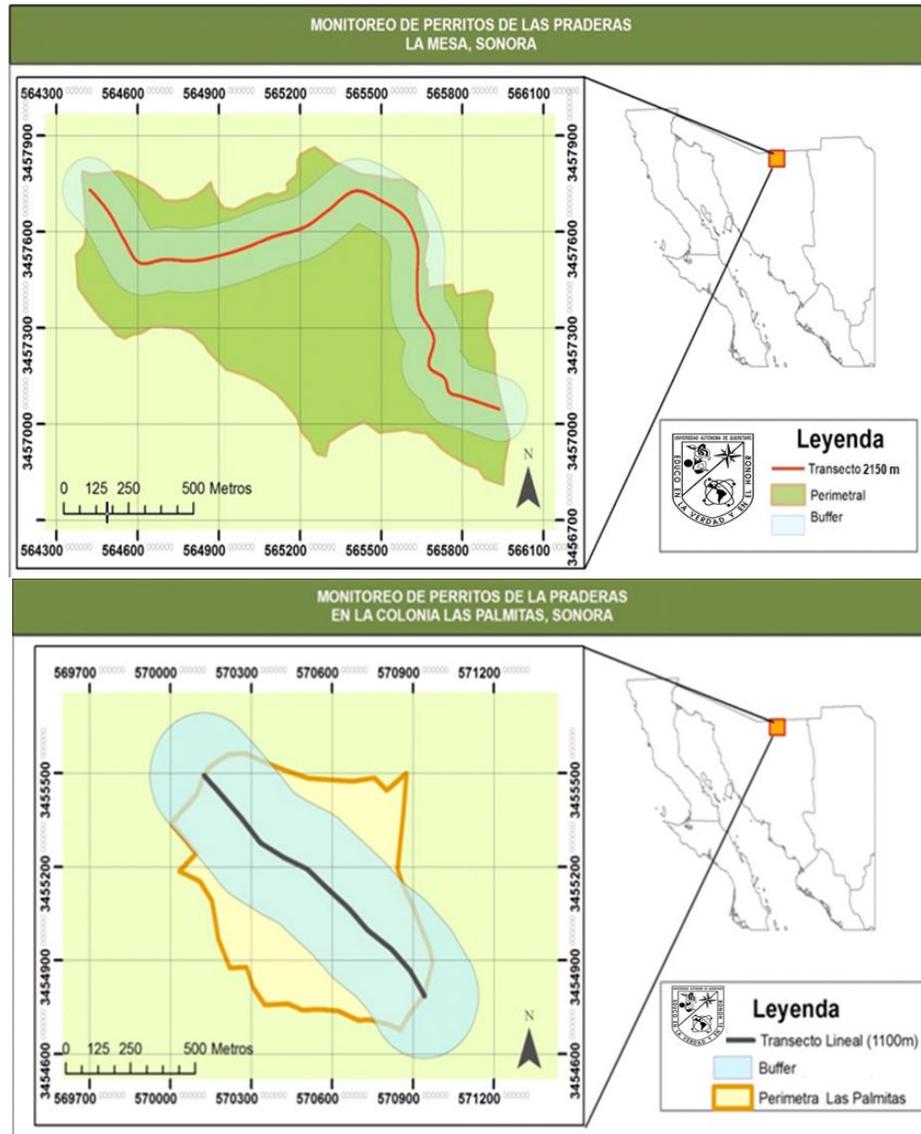


Figura 2. Ubicación de los transecto en tranja en las colonias Las Mesa y Las Palmitas.

### Factor de corrección

Las colonias difieren en cuanto a su topografía, la colonia La Mesa se ubica en una zona con pequeños lomeríos, exhibiendo pequeñas cárcavas con presencia de manchones de mezquite, mientras que la colonia Las Palmitas se ubica en una zona plana con topografía regular y poca presencia de mezquite. Bajo el supuesto de que las características de hábitat que compone las colonias influyen de manera negativa sobre la eficiencia de observación (Severson y Plumb 1998), se aplicó un

factor de corrección para disminuir el efecto de la obstrucción vertical (Menkens *et al.* 1990).

Este factor de corrección se estimó al calcular el porcentaje de obstrucción vertical por colonia, el cual se realizó por medio de una tabla de madera con una altura de 200 x 30 cm de ancho. Se trazaron secciones de 10 cm, en donde se pintaron intercalando el color rojo y blanco para distinguir los límites de las secciones. Con la tabla se realizaron mediciones en diez puntos de observación, ubicados sobre el transecto separados a cada 200 m en el caso de la colonia La Mesa y cada 100 m en Las Palmitas. En cada punto de observación se realizaron seis mediciones (tres a cada lado del transecto) a una distancia de 25, 50 y 100 m, conjuntando un total de 60 mediciones por colonia.

Menkens *et al.* (1990), define como un evento de obstrucción vertical, todas aquellas mediciones que sean obstruidas visualmente del suelo hasta los 40 cm, considerando que este puede ser el tamaño que puede llegar a desarrollar un individuo de *C. ludovicianus*. La densidad se calcula entonces considerando el porcentaje de obstrucción vertical con la siguiente formula:

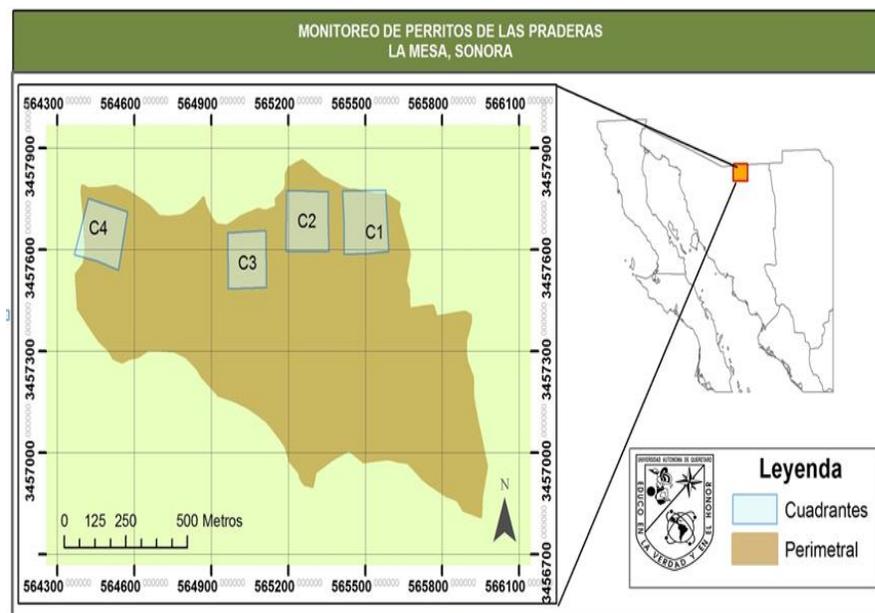
$$\frac{\text{Densidad ind/ha}}{1 - (\% \text{ Obstrccion vertical}/100)}$$

### **Cuadrantes**

Este método solamente se aplicó en la colonia La Mesa, en donde se observó a los individuos de *C. ludovicianus* que se encontraron dentro de cuatro cuadrantes

que fueron delimitados y ubicados al azar dentro de la colonia. Cada cuadrante presentó una extensión de 2.56 ha (160 x 160 m) (Figura 3). Se colocaron banderas de colores, en las esquinas y al centro de cada uno de los lados, para hacer más visible la delimitación del perímetro.

Los conteos de los individuos de *C. ludovicianus* dentro de cada cuadrante se realizaron uno por día, en donde se realizó durante dos periodos diferentes: matutino (700 a 1000 h) y vespertino (1400 a 1700 h). El punto de observación se localizó a una distancia entre 30 y 40 m, al norte del centro de cada cuadrante y con la ayuda de Binoculares (*Bushnell Waterproof 10 x 42*), se contaron los individuos de *C. ludovicianus* visibles en intervalos de 15 minutos. Obteniéndose un total de 10 conteos matutinos y 10 vespertinos por día. Los resultados fueron integrados a una base en el programa Excel, registrando la fecha, así como datos del estado del tiempo de cada uno de los conteos. La estimación de la densidad se realizó en el mismo programa.



**Figura 3.** Localización geográfica de los cuadrantes dentro de la colonia La Mesa.

Para estimar la densidad de cada cuadrante se utilizó la fórmula:

$$D = n/am$$

**Dónde:**

**n:** Número máximo de perritos observados,

**am:** Área muestreada.

Considerando que los individuos de *C. ludovicianus* se pueden desplazar fuera de los cuadrantes del área muestreada (Badii *et al.* 2012), se le integró un área de amortiguamiento (Buffer), en función de la mitad del área de actividad documentada en la literatura (6 ha, Hoogland 1996). La estimación del área del amortiguamiento alrededor del cuadrante se calculó con la fórmula:

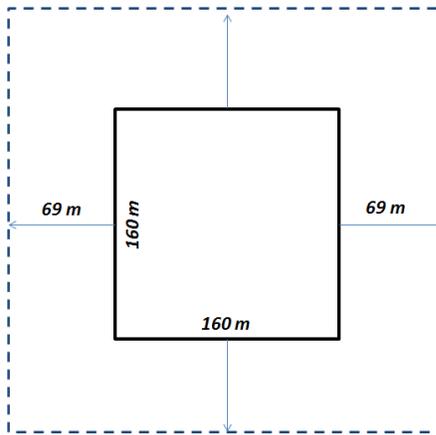
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

**Dónde:**

**A:** Ámbito hogareño

**$\pi$ :** 3.14

De manera general obtuvimos que los individuos de *C. ludovicianus* recorrían una distancia de 138 m. Este valor fue el que se utilizó para agregar el Buffer al cuadrante, aumentando 69 m a cada lado del cuadrante. Obteniendo en total un área muestreada de 8.8 ha, este valor fue el que finalmente se utilizó para estimar de la densidad (Figura 4).



**Figura 4.** Cuadrante integrando la distancia media del ámbito hogareño

### **Influencia de la aplicación de los diferentes métodos en la colonias de *C. ludovicianus***

Para determinar la relación que presentaron los diferentes métodos que estimaron la densidad de *C. ludovicianus* (método de distance sampling, transecto en franja y cuadrantes para el caso de la colonia La Mesa y en la colonia Las Palmitas el método de distance sampling y transecto en franja) se aplicó una correlación lineal simple de Pearson entre métodos de muestreo.

### **Definición del método más apropiado para las colonias de *C.***

#### ***ludovicianus* en Sonora.**

En el presente estudio se utilizaron tres métodos de estimación poblacional (transecto en franja, distance sampling y cuadrantes), en donde se seleccionó el método más apropiado y que reflejara en campo la densidad estimada. Esto se realizó en función de tres parámetros:

- Amplitud de detectabilidad
- Facilidad en su aplicación
- Bajo costo económico

#### **Tamaño poblacional**

Para estimar el número total de individuos de *C. ludovicianus*, se utilizó el promedio de cada mes para realizar la estimación del tamaño poblacional por mensual. Finalmente el mes con la mayor densidad durante los monitoreos en ambas colonias, fue el que se seleccionó para definir el tamaño poblacional más aproximado.

**Dónde:**

$$Tp = \bar{D} * E$$

**Tp:** Tamaño poblacional

**$\bar{D}$ :** Promedio de la densidad

E: Extensión de la colonia

### **Correlación densidad-precipitación**

Se evaluó la relación directa de densidad poblacional estimada bajo el método de distance sampling, con la precipitación local en diferentes periodos a nivel de sitio, por medio de una correlación de Pearson. Asimismo, se utilizaron los datos de precipitación disponibles más actualizados y cercanos al área de estudio, en donde fue el caso de la estación meteorológica ubicada en estado de Arizona Fort Huachucas Libby, los datos se descargaron del servidor Weather Warehouse (Weather Source 2013). Los resultados obtenidos del monitoreo se dividieron en dos ciclos en cada una de las colonias, resultando el ciclo del 2011 y el 2012. En el caso del ciclo 2011 se realizó la correlación con la precipitación del 2010 y 2011. Para el el ciclo 2012 se realizó la correlación con la precipitación del 2011 y 2012. Los datos se evaluaron mediante el procedimiento CORR de SAS (SAS 2006).

### **Análisis Estadístico**

Para conocer las posibles diferencias significativas entre los sitios de estudio, así como las diferencias entre métodos de muestreo aplicados (distance sampling, transecto en franja y cuadrantes). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA), mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS 2006). El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + M_j + S*M_{ij} + e_{ijk}$$

**Dónde:**  $Y_{ijk}$  es el valor observado del  $K$ -ésima densidad en el  $i$ -ésimo sitio bajo el  $j$ -ésimo método de muestreo;  $\mu$  es el valor promedio de la población;  $S_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo sitio;  $M_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo método de muestreo  $S*M_{ij}$  es el efecto de la interacción del  $i$ -ésimo sitio con el  $j$ -ésimo método y  $e_{ijk}$  es el error.

### **Ubicación espacial de las Madrigueras activas en las colonias de *C.***

#### ***ludovicianus***

La estimación del número y distribución de madrigueras activas se avalúo a través de recorridos a pie dentro de la colonia La Mesa y Las Palmitas. Se utilizaron como criterios de madriguera activa las siguientes variables: rastro de actividad, presencia de excrementos alrededor, poca acumulación de pasto en la madriguera e individuos observados de *C. ludovicianus*, mientras las utilizaban. Las madrigueras que presentaron un gran cumulo de pasto en su entrada, así como nula evidencia de su uso, se clasificaron como no activas. A las madrigueras activas se le asignó un número único, el cual fue georreferido por medio de una unidad portátil de geoposicion global (GPS), donde se utilizaron coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) con el Datum WGS84. Posteriormente los datos fueron ingresados a una base de datos en Excel e importados a un Sistema de Información Geográfica en el software Arc Map 10.1, para realizar los mapas que ejemplifican la ubicación espacial de las madrigueras activas en cada una de las colonias.

## **VI. RESULTADOS**

### **Obstrucción vertical**

Se calculó la obstrucción vertical en ambas colonias de estudio, logrando observar que la colonia La Mesa presentó una topografía de mayor irregularidad en comparación con la colonia Las Palmitas, obteniendo una mayor obstrucción de visión en las estimaciones de las poblaciones de 36.6%, dentro de la colonia La Mesa. En el caso de la colonia Las Palmitas, la obstrucción vertical fue de solo 11.1%. Estos resultados fueron aplicados como factor de corrección dentro de cada colonia para calcular la densidad estimada de las poblaciones.

### **Densidad poblacional La Mesa vs Las Palmitas**

#### **Colonia La Mesa**

-Distance sampling (transecto de ancho variable)

A partir de la utilización de distance sampling, los resultados obtenidos, la función media-normal con coseno fue la que se ajustó mejor a los criterios de robustez del modelo, criterio de forma, eficiencia y ajuste del modelo (Buckland *et al.* 1993). En cuanto a la densidad se puede observar una disminución en el 2012, en comparación con el año 2011. De forma puntal, el mes de julio del 2011 presentó los mayores valores de densidad con 8.34 ind/ha. Caso contrario, el mes de diciembre del 2011 presentó una densidad nula, por lo cual, se expresaron diferencias significativas entre periodos de muestreo dentro de la colonia ( $gI=21$

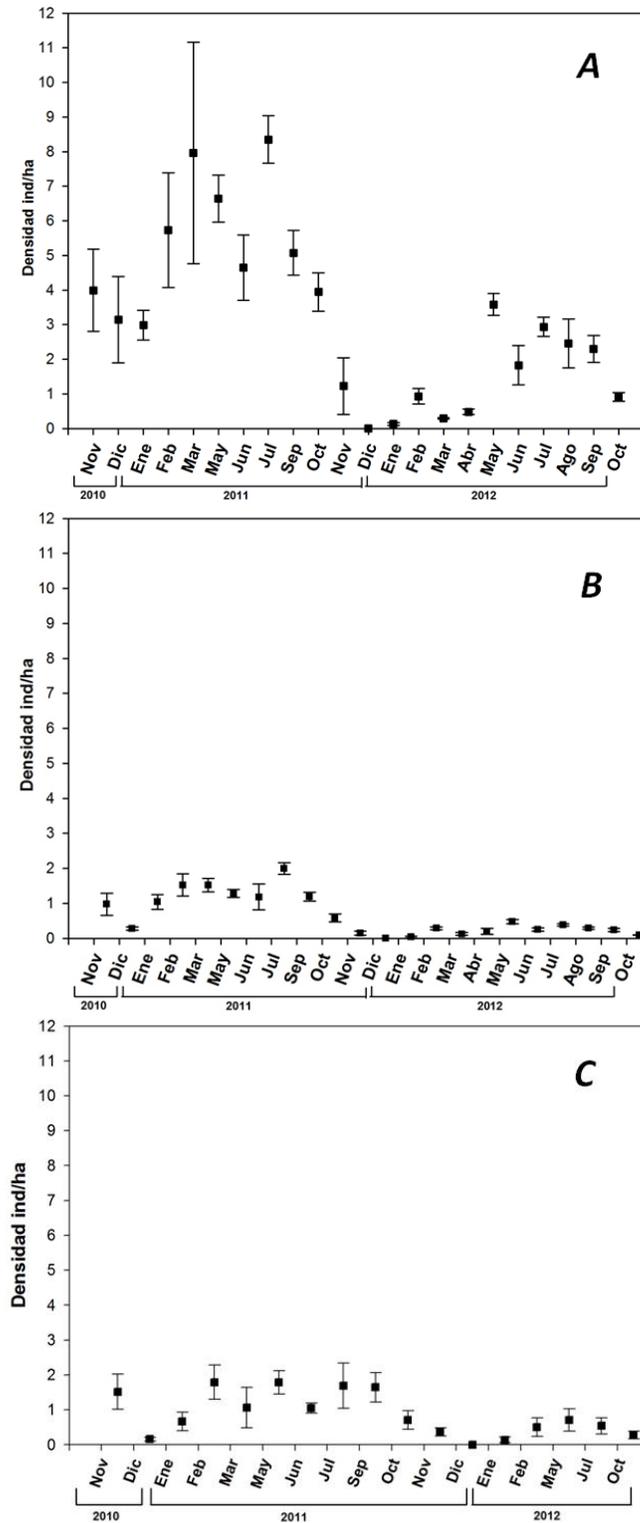
$f=20.02$   $p=<0.001$ ). De forma general dentro de la colonia se observó que el promedio de individuos fue de 3.06/ha (Figura 5. A.).

- Transecto en franja (transecto de ancho fijo)

A partir del método de transecto en franja fue posible observar un patrón de disminución de la densidad de la población, tendencia similar al aplicar el método de distance sampling. Durante el periodo de monitoreo el mes de julio del 2011 presentó la mayor densidad, con 1.99 ind/ha, caso contrario al mes de diciembre del mismo año, en donde hubo nula observación de individuos dentro de la colonia. Por lo cual, se evidenciaron diferencias significativas entre periodos de muestreo ( $gl=21$   $f=100.97p=<0.001$ ), en donde el promedio por unidad de superficie fue de 1/ha (Figura 5.B). Además comparando el método de distance sampling con el transecto se expresó diferencias significativas ( $gl=21$   $f=83.97p=<0.001$ ).

- Cuadrantes

En general a partir del método de cuadrantes se observó una tendencia similar a la estimada con los métodos antes mencionados dentro del periodo de muestreo de octubre del 2010 a octubre del 2012. Con los cuadrantes se estimó que los meses con la mayor densidad se presentaron en febrero y mayo del 2011 con 1.78 ind/ha, en contra parte se observó una nula actividad dentro del mes de diciembre del 2011, expresando diferencias significativas ( $gl=16$   $f=12.71$   $p=<0.001$ ), en donde el promedio por unidad de superficie fue de 2.14 ind/ha (Figura 5. C).



**Figura 5.** (A) Resultados de los monitoreos en la colonia La Mesa, añadiéndole el factor de corrección con el método de distance sampling. (B) Resultados con el método de transecto en franja. (C). Resultados con el método de cuadrante.

## **Colonia Las Palmitas**

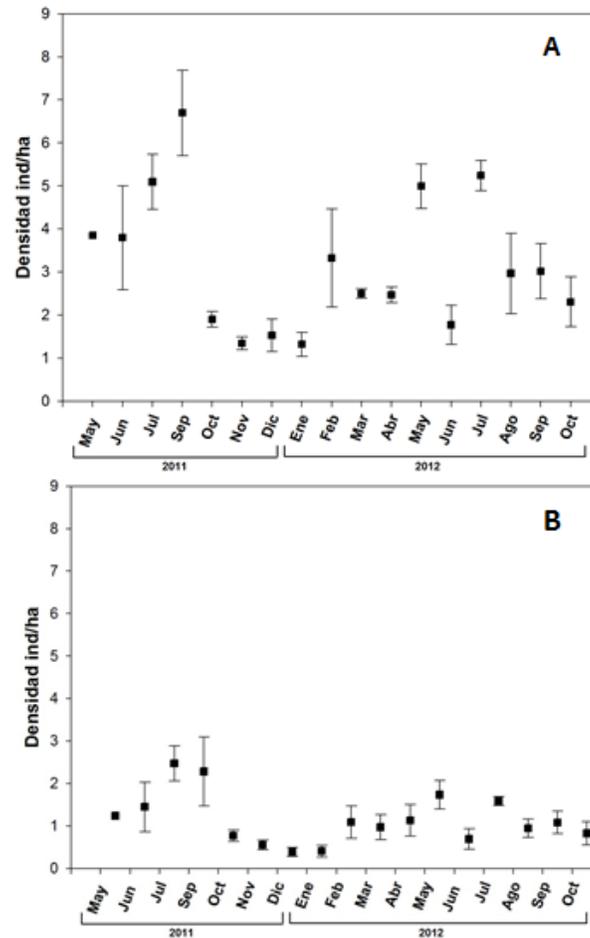
### **-Distance sampling**

De manera general los resultados obtenidos muestran que las densidades en el año 2012 disminuyeron en comparación a las del año 2011, siguiendo el mismo patrón que se presentó en la colonia La Mesa.

Durante los monitoreos el mes en el que se documentó la densidad más alta fue septiembre del 2011 con 6.69 ind/ha. Al contrario del mes de noviembre en el cual se presentó la menor densidad con 1.34 ind/ha. En cual se expresaron diferencias significativa entre los periodos de muestreo ( $gl=16$   $f=19.85$   $p<0.001$ ), en donde el promedio por unidad de superficie fue de 3.23 ind/ha (Figura 6. A.).

### **-Transecto en franja**

Con el método de transecto en franja la tendencia de disminuir la densidad poblacional del periodo 2011 a 2012 se mantiene. Durante los monitoreos el mes que presentó la densidad más alta fue septiembre del 2011 con 2.28 ind/ha. El mes con la densidad más baja fue el mes de enero del 2012 con 0.40 ind/ha. Expresando diferencias significativas entre los periodos de monitoreo ( $gl=16$   $f=21.78$   $p<0.001$ ), asimismo en cuanto al promedio por unidad de superficie fue de 1.21 ind/ha (Figura 6. B.). Además podemos encontrar que se expresó diferencia significativa entre el método de distance sampling y transecto en franja ( $gl=16$   $f=18.57$   $p<0.001$ ).



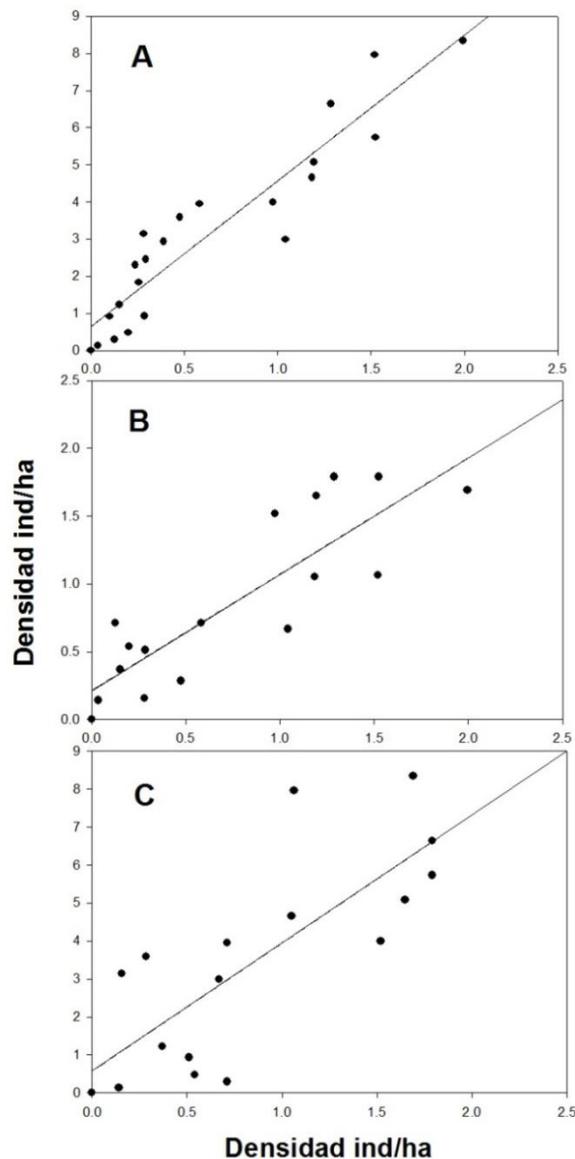
**Figura 6. (A).** Resultados de los monitoreos en la colonia Las Palmitas, añadiéndole el factor de corrección con el método de distance sampling. **(B)** Resultados con el método de transecto en franja.

### Correlaciones de la estimación de la densidad poblacional de los distintos métodos dentro de las colonias de *C. ludovicianus*

#### Colonia La Mesa

En el caso de los datos obtenidos por medio de los tres métodos aplicados en la colonia La Mesa, en el primer caso se puede apreciar qué se presenta una distribución lineal muy evidente, donde la correlación de distance sampling con transecto en franja fue muy alta ( $r^2=0.86$ ) (Figura 7. A.). Asimismo, para la

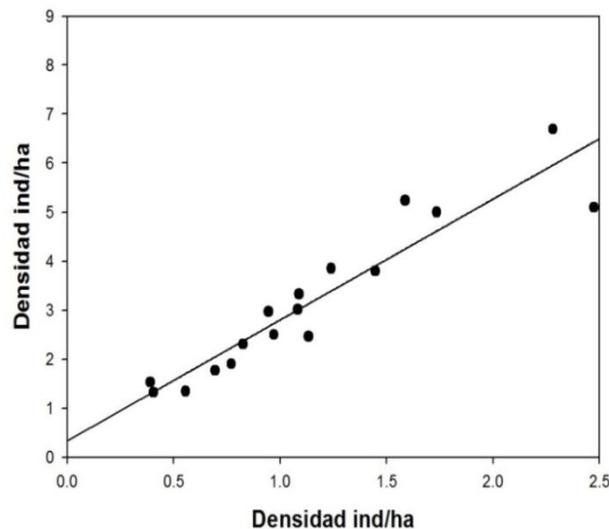
correlación de transecto en franja con cuadrantes se puede, observar que se presentó una correlación alta ( $r^2=0.72$ ), en donde los datos presentaron una distribución un poco más dispersa que en el primer caso (Figura 7. B.). Finalmente para la correlación de distance sampling con cuadrantes, de igual manera que los dos caso anteriores, fue una correlación elevada ( $r^2=0.57$ ), además fue donde se presenta la distribución más dispersa que las dos anteriores (Figura 7. C.).



**Figura 7.** Correlación de la densidad de los distintos métodos aplicados. **(A)** Distance sampling Vs transecto en franja. **(B)** Transecto en franja Vs cuadrantes. **(C)** Distance sampling Vs cuadrantes, en la colonia La Mesa.

## Colonia Las Palmitas

En el caso de los datos obtenidos por medio de los dos métodos aplicados en la colonia Las Palmitas, en donde se puede apreciar que se presenta una distribución lineal muy marcada, donde la correlación de distance sampling con transecto en franja fue alta ( $r^2=0.87$ ) (Figura 8).



**Figura 8.** Correlación de la densidad de distance sampling con transecto en franja en la colonia Las Palmitas.

### **Definición del método más apropiado para las colonias de *C.***

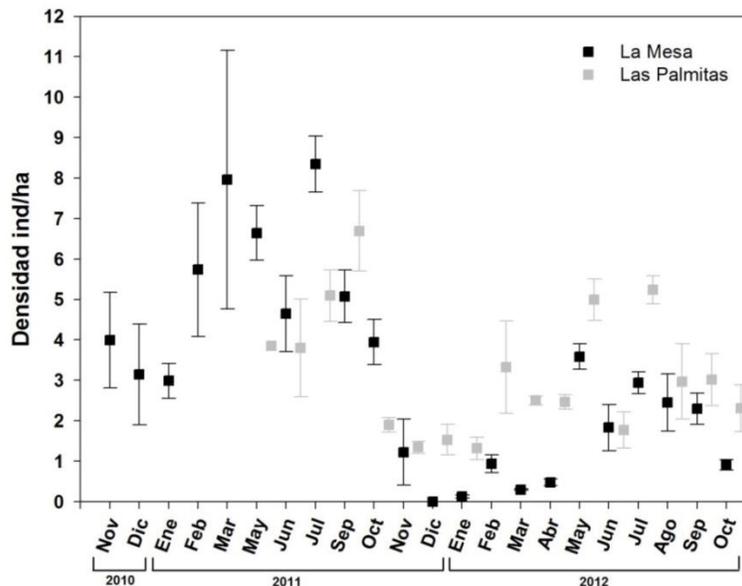
#### ***ludovicianus* en Sonora.**

El método de distance sampling de este punto en adelante fue el considerado para hacer los de más análisis, ya que esté pudiera acercarse un poco más a la densidad real que el método de los cuadrantes y el transecto en franja. Con este método podemos estimar la densidad abarcando una área más extensa de la colonia, sin considerar límites a las observaciones, además de que nos permite contabilizar individuos en movimiento, lo cual proporciona una idea más precisa del tamaño real de la colonia, por ser esta misma una colonia dinámica. Además

de que su aplicación es más fácil operativamente, en donde no se requiere mucho esfuerzo de muestreo, así como bajo costo económico.

### Densidad La Mesa-Las Palmitas

En cuanto al tiempo de muestreo dentro de la colonia La Mesa el monitoreo fue más extenso, con 22 meses muestreados, y en comparación con Las Palmitas con 17 meses. Con lo cual fue posible observar una mayor densidad poblacional en la colonia La Mesa con 8.34 ind/ha, en comparación de Las Palmitas con 6.69 ind/ha. Observando la misma tendencia entre periodos de muestreo 2011–2012 dentro de ambas colonias, en el caso de la colonia La Mesa disminuyó la densidad en un 66.02 % en comparación a la densidad reportada en el 2011 y en la colonia Las Palmitas disminuyó en un 11.8%, expresando diferencias significativas entre las colonias ( $gl=1$   $f=99.58$   $p<0.001$ ) (Figura 9).

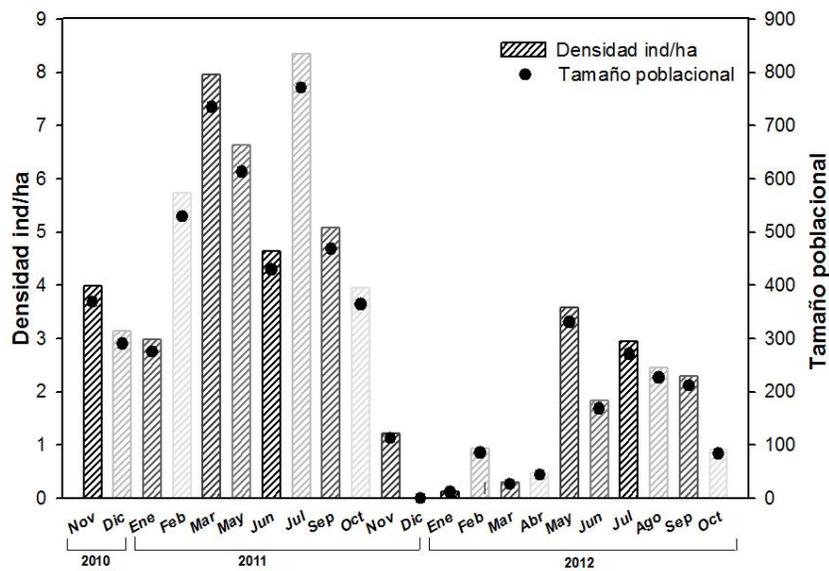


**Figura 9.** Resultados de todos los monitoreos en las dos colonias, utilizando el método de distance sampling con el factor de corrección integrado.

## Tamaño poblacional

### Colonia La Mesa

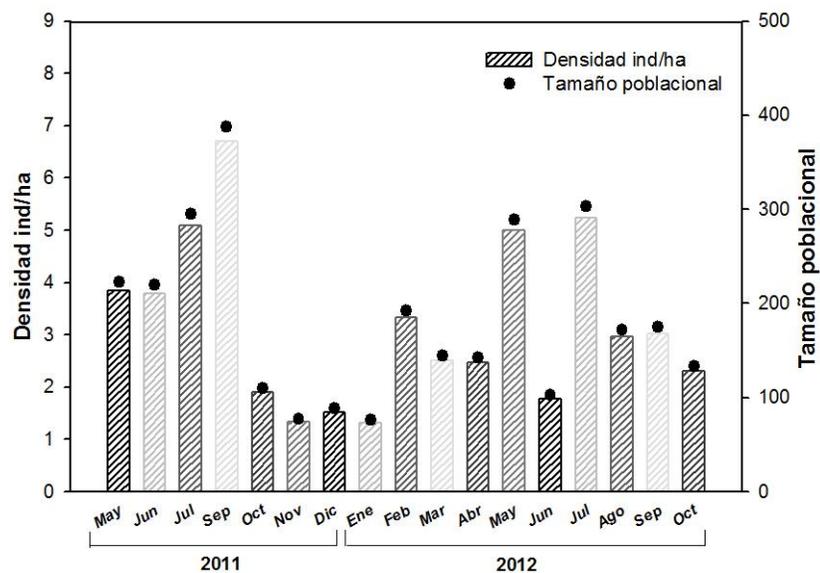
Los resultados de los tres métodos aplicados dentro de la colonia, hacen evidente que distance sampling presenta mayor robustez, así como una aproximación a densidad real observada en campo. De forma particular se puede apreciar que el mes de julio del 2012 se registró el mayor tamaño poblacional, con aproximadamente 770 individuos. En contra parte el mes con el menor tamaño poblacional se presentó en diciembre con observaciones nulas (Figura 10).



**Figura 10.** Estimado poblacional calculado con el método de distance sampling en la colonia La Mesa.

### Colonia Las Palmitas

De forma general los valores promedio de los tamaños poblacionales con los dos métodos aplicados, expresan 17 monitoreos mensuales en total, en el que el mes de septiembre del 2011 fue el de mayor densidad poblacional con aproximadamente 387 individuos, en contra parte, el mes de enero del 2012 fue donde se presentó el menor tamaño de la población con 76 individuos (Figura 11).

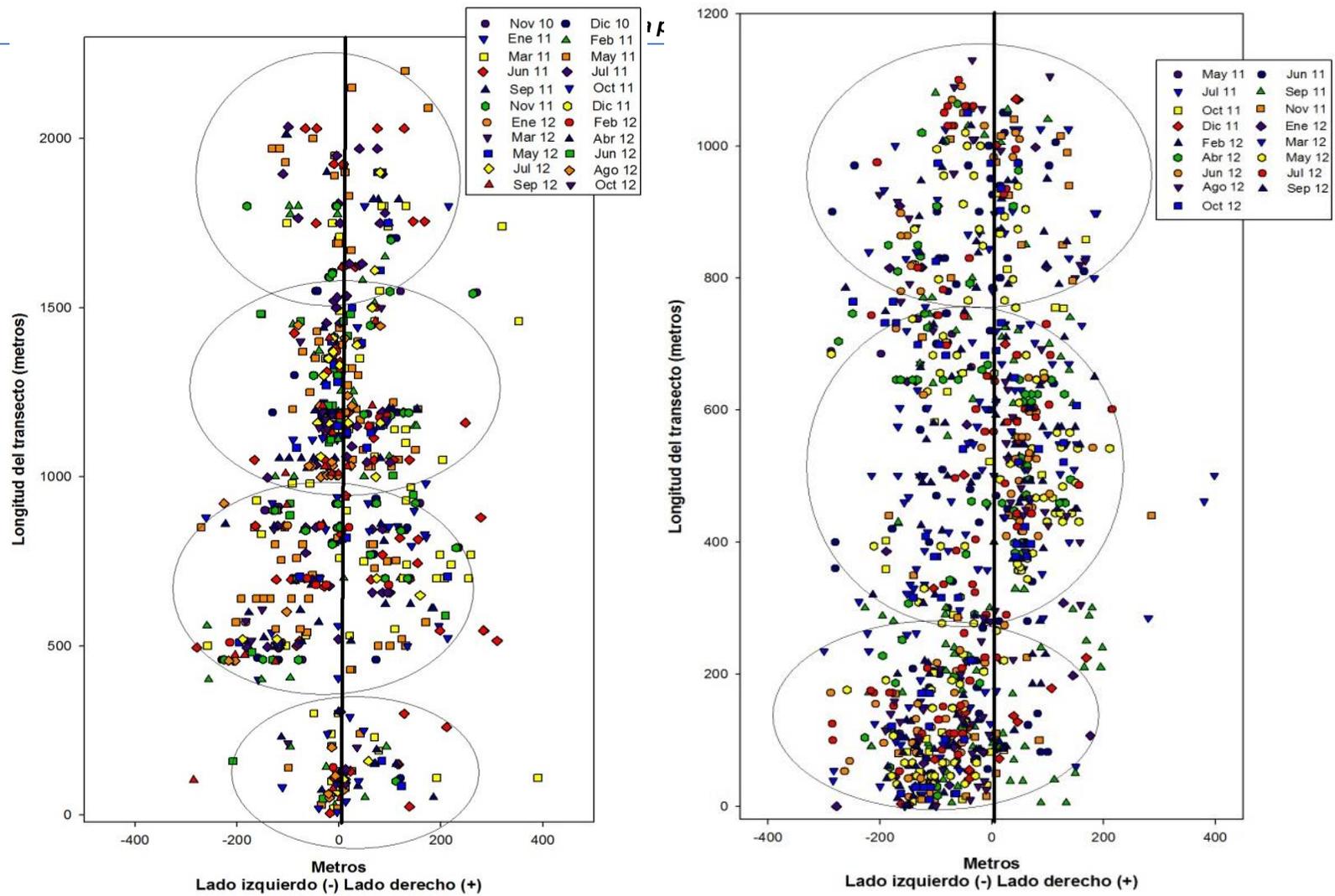


**Figura 11.** Promedio de los tamaños poblacionales con el método de distance sampling, transecto en franja, aplicados en la colonia Las Palmitas.

## **Ubicación espacial de las observaciones en poblaciones de *C. ludovicianus* en las colonias La Mesa y Las Palmitas**

La estimación de mayor densidad poblacional se obtuvo a partir de los censos correspondientes al mes de noviembre del 2010 a octubre del 2012, tomando en cuenta solo el mayor promedio de observaciones de cada muestreo. Fue posible observar que la distribución espacial a lo largo del transecto dentro de la colonia La Mesa, se concentró en cuatro grupos. Además de observar que la mayoría de los registros se documentan en la parte media del transecto. Aunado, a qué adentro de la asimetría del lado izquierdo se presentán más observaciones que del lado derecho.

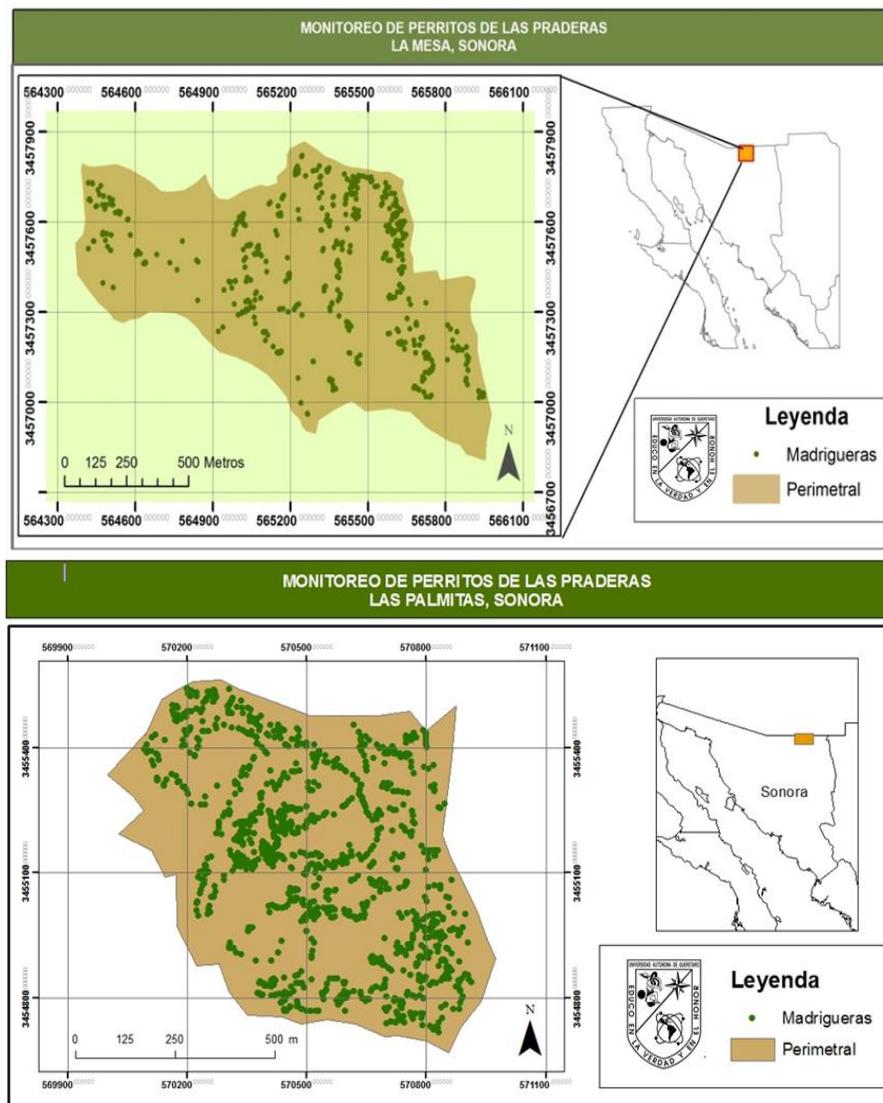
Para el caso de Las Palmitas se utilizaron datos obtenidos de los censos correspondientes del mes de mayo del 2011 a octubre del 2012, en donde la mayoría de las observaciones se concentran en tres grandes grupos. De la misma forma que dentro de la colonia La Mesa, dentro de Las Palmitas el mayor porcentaje de observaciones se obtuvo en la asimetría izquierda (Figura 12).



**Figura 12.** Ubicación espacial de las observaciones a lo largo del transecto en la colonia La Mesa (Izquierda) y Las Palmitas (Derecha).

## Ubicación espacial de las Madrigueras activas en las colonias de *C. ludovicianus*

En la colonia La Mesa se encontraron un total de 532 madrigueras activas. En el caso de la colonia Las Palmitas se puede observar una mayor concentración de madrigueras, ya que se registraron un total de 1,302 (Figura 13).

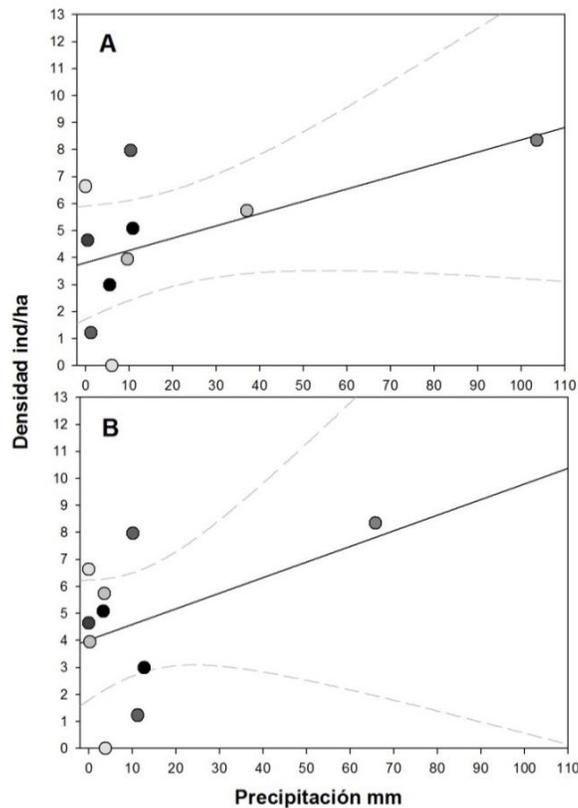


**Figura 13.** Distribución espacial de las madrigueras activas en las colonias La Mesa (arriba) y Las Palmitas (abajo).

## Influencia de la Precipitación en la densidad poblacional dentro de las colonias de *C. ludovicianus*

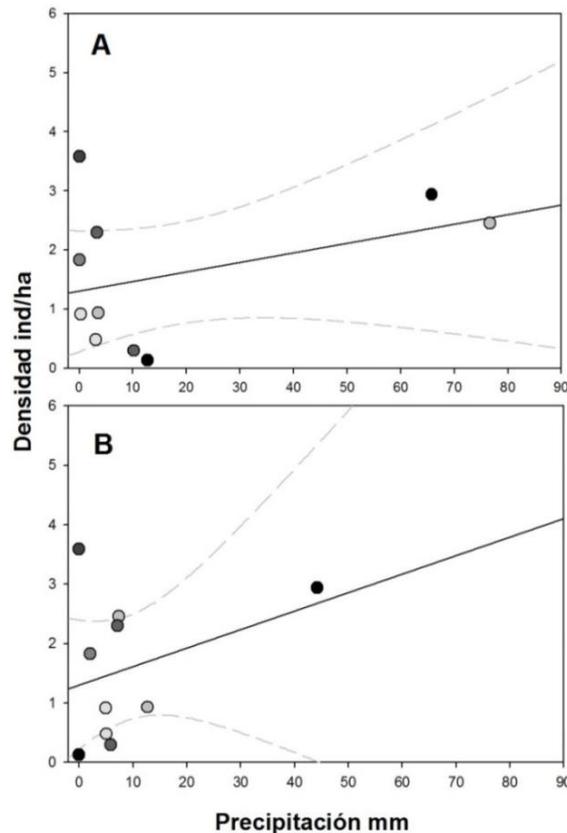
### Colonia La Mesa

Los datos de precipitación en la región de estudio presentaron intervalos de 0 a 12 mm. De forma general se aprecia que la correlación de la precipitación con la densidad del periodo 2010, fue relativamente baja ( $r^2=0.11$ ). En el caso de la precipitación del periodo 2011, la mayoría de los datos se presentaron en intervalos de 0 a 15 mm. De manera general se presentó una correlación moderada ( $r^2=0.22$ ) (Figura 14).



**Figura 14.** Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2011 con precipitación del periodo 2010 (A) y (B) 2011, en la colonia La Mesa.

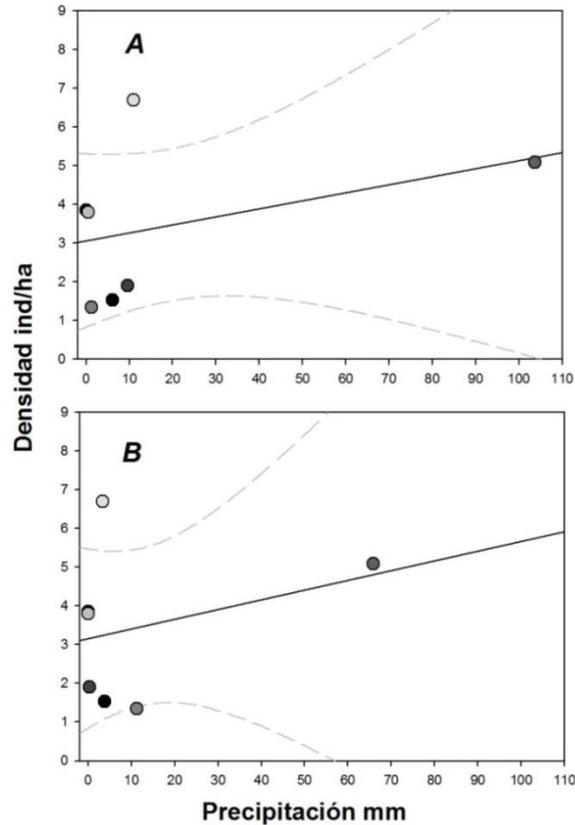
Para el caso de la correlación de la densidad del periodo 2012, con la precipitación del periodo del 2011, se obtuvo una correlación media ( $r^2=0.26$ ). Asimismo, en el caso del periodo 2012 se obtuvo una correlación moderada ( $r^2=0.34$ ) (Figura 15).



**Figura 15.** Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2012 con precipitación el periodo 2011 (A) y 2012 (B) dentro de la colonia La Mesa.

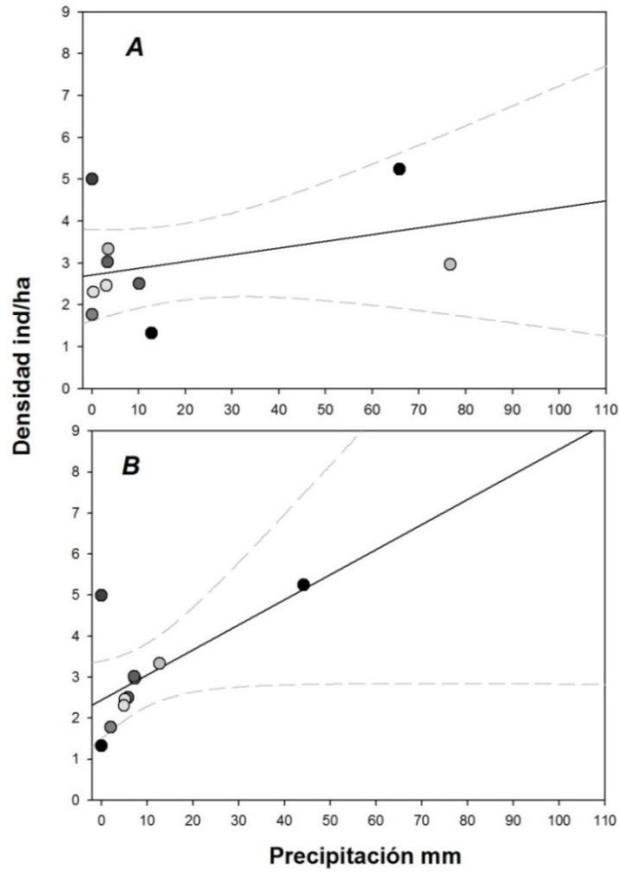
### **Colonia Las Palmitas**

De forma general, para el caso de la correlación de la densidad del ciclo 2011, con la precipitación del periodo del 2010, presentó una correlación moderada ( $r^2=0.37$ ), en donde la mayoría de los datos se agruparon en un intervalos de 0 a 15 mm. Asimismo en el caso de la precipitación del periodo 2011, se obtuvo una correlación moderada ( $r^2=0.36$   $p<0.05$ ) (Figura 16).



**Figura 16.** Correlación de la densidad poblacional del ciclo 2011 con precipitación del ciclo (A) 2010 y 2011 (B) dentro de la colonia Las Palmitas.

En este caso los datos se agruparon en un intervalo de 0 a 20 mm. De manera general la correlación de la densidad del ciclo 2012, con la precipitación del periodo 201, presentó una correlación moderada ( $r^2=0.30$ ). Además en el caso de la precipitación del periodo del 2012, se obtuvo una correlación moderada ( $r^2=0.30$ ) (Figura 17).



**Figura 17.** Correlación de densidad poblacional del ciclo 2012 con precipitación del ciclo 2011 (A)-2012 (B) de la colonia Las Palmitas.

## VII. DISCUSION

Un aspecto de gran relevancia en el monitoreo de las poblaciones de fauna silvestre, es el estudio de las características del hábitat, debido a que la información obtenida aporta elementos de evaluación con los cuales se pueden identificar el estado de conservación de una sito o área determinada, así como las especies presentes (Belward 1991). En el caso de los métodos de observación directa, es importante considerar las cuestiones topográficas en los estudios de fauna silvestre, en donde se ha observado que finalmente estas características influyen en la detección del observador al momento de realizar el censo (Menkens *et al.* 1990; Severson y Plumb 1998).

En la colonia La Mesa que presentó una mayor obstrucción vertical (36.6%), en comparación con la colonia Las Palmitas (11.1%), de igual manera se traduce a que en la colonia La Mesa se presentan condiciones topográficas más irregulares y con mayor cantidad de vegetación arbustiva. Este porcentaje de obstrucción vertical se pudo presentar, debido a que en la colonia se presentan tres pequeñas cañadas con manchones de mezquite (*Prosopis sp.*) que atraviesan la colonia. Por ello se ha identificado la ubicación de distintas madrigueras construidas adjuntas a mezquites. En otros sitios donde se presentan colonias de *C. ludovicianus*, se han reportado manchones de mezquite (Weltzan *et al.* 1997; Ceballos *et al.* 2010), por lo que es importante considerar la obstrucción vertical que presenta en cada sitio donde se encontrarán colonias de *C. ludovicianus*, para obtener resultados más adecuados al sitio.

El comportamiento que presentan los individuos de *C. ludovicianus* de la colonia La Mesa, de construir madrigueras adjuntas a mezquites no es común y ha sido reportada en muy pocas ocasiones y pudiendo ser el reflejo el alto pastoreo por parte del ganado (Weltzan *et al* 1997; Ceballos *et al* 2010). Asimismo estas características determinan que los individuos de *C. ludovicianus* sean más susceptibles a depredación, ya que la principal defensa en contra los depredadores es la observación, facilitándose en sitios con vegetación baja (Hoogland 1996, 2006). Esta pudierá ser la causa por la cual durante el monitoreo de las colonias, se observó mayor cantidad de coyotes (*Canis latrans*) en la colonia La Mesa (n=27), que en la colonia Las Palmitas (n=12). Además, en la colonia La Mesa se logró el avistamiento de tejón norteño (*Taxidea taxus*) en el mes de septiembre del 2010, el cual fue sorprendido buscando en las madrigueras de *C. ludovicianus*. Estas dos especies mencionadas, se ha identificado que son los dos principales depredadores de colonias de *C. ludovicianus* (Hoogland 1995)

La especie *C. ludovicianus* ha sido ampliamente estudiada en Estados Unidos, bajo distintos métodos para estimar el área ocupada por las colonias, así como conocer su tamaño poblacional (Menkens *et al.* 1990; Powell *et al.* 1994; Ceballos *et al.* 1999; Magle *et al.* 2007). Sin embargo, la gran mayoría de los métodos aplicados presentan de alguna manera diferentes grados de sesgo. De acuerdo a los resultados de diversos estudios, concuerdan que el método de mayor precisión en la estimación de la densidad poblacional de *C. ludovicianus*, es el método de captura-recaptura, posteriormente de observación directa y finalmente del conteo de madrigueras activas (Severson y Plumb 1998; Biggins *et al.* 2006; Magle *et al.*

2007). Para poder realizar el método de captura-recaptura es necesario contar con suficiente recurso humano y económico (Fagerstone y Biggins 1986; Menkens y Anderson 1993; Hoogland 1996).

Es probable que el método de conteo de madrigueras activas de *C. ludovicianus* sea el más utilizado en los Estados Unidos (Fagerstone *et al.* 2005; Gershman *et al.* 2005) sin embargo, algunos autores mencionan que probablemente sea el método menos recomendable para realizar estimados poblacionales (Biggins *et al.* 1993; Severson y Plumb 1998 y Biggins *et al.* 2006). Las madrigueras que se ubican en las colonias presentan periodos de uso y desuso durante un largo periodo de tiempo, en donde se ha logrado identificar que las madrigueras presentan un mecanismo de heredabilidad a futuras generaciones a lo largo del tiempo (Hoogland 1995).

Particularmente en el estudio se identificó que el método de transecto en franja, en el caso de la densidad calculada, está en función de la distancia considerada a cada lado para definir el ancho del transecto, que finalmente se traduce en el área efectiva de muestreo. En donde en la mayoría de los casos, si se requiere documentar la gran parte de los individuos, por lo general se define un ancho de una distancia grande. Por lo que el área efectiva para realizar el cálculo se incrementará considerablemente e influirá directamente en un descenso de la densidad estimada (Burnham *et al.* 1980), como fue el caso del presente estudio.

En el caso de los transectos ubicados en ambas colonias presentaron un ancho de 400 metros a cada lado, este número influyó para que las densidades resultarán

relativamente bajas comparadas con el método de distance sampling. De alguna manera la mayoría de los registros en ambas colonias se documentaron a una distancia menor de 200 m a cada lado del transecto, si se hubiera definido esta distancia para calcular el área efectiva de muestreo probablemente resultaría que la densidad estimada hubiera sido mayor, ya que el área efectiva de muestreo sería menor. Es importante realizar muestreos prospectivos para conocer de alguna manera como se comportarán las distancias de las observaciones, para tener una mayor información y definir qué parámetros se considerarán para delimitar el área efectiva de muestreo. En el caso de los resultados obtenidos con el método de distance sampling y transecto en franja, se puede observar que refleja diferencia significativa ( $gI=21$   $f=83.97$   $p<0.001$ ), en cuanto al promedio de estimación en la colonia La Mesa, esto no concuerda con el estudio realizado por Grego y Macri (2009), en donde no se encontraron diferencias significativas entre los transectos de ancho fijo (transecto en franja) y transecto de ancho variable. Esto podría ser resultado de que el área efectiva de muestreo no se incrementó exponencialmente, ya que el ancho del transecto era muy pequeño.

En el caso del presente estudio los datos de densidad para distance sampling y transecto en franja fueron los mismos para los dos métodos, ya que fueron registrados simultáneamente. La mayoría de los autores mencionan que es importante que los datos tengan que ser colectados simultáneamente en la misma área, para poder obtener comparaciones adecuadas (Edwards *et al.* 1981). La aplicación del doble muestreo es una técnica que ha sido utilizada en distintos estudios (DeSante 1986), como densidad poblacional de distintos grupos de fauna

silvestre, por ejemplo zorros (Novaro *et al.* 2000), liebres (Krebs *et al.* 2000), venados (Mandujano 2005) roedores (Brown *et al.* 1996).

La aplicación del transecto en franja y distance sampling, no se violaron ninguno de los supuestos para cada uno de ellos, ya que en el caso del primer supuesto de que los observados que sean detectados sobre el centro del transecto con certeza, ya que más del 30% de las observaciones se encontraron en a menos de 10 metros a ambos lados del centro del transecto. En el caso del segundo supuesto, donde menciona que los objetos son detectados en su ubicación inicial, tampoco fue violado, debido a que durante los censos se fue registrando la distancia perpendicular a la observación, en su posición inicial. Finalmente, para el tercer supuesto el cual menciona que las medidas deben de ser exactas, de igual manera este supuesto no es violado, debido a que durante la toma de las distancias se realizó por medio de un distanciometro, el cual alcanza a medir una distancia aproximada de 913 m, en donde antes de aplicar el monitoreo fue probado y calibrado para estar seguros en la precisión en la medición.

En cuanto al método de los cuadrantes, se puede observar que presentaron una estimación de la densidad muy similar a la del transecto en franja. La densidad estuvo dada por la extensa área efectiva de muestreo, donde inicialmente el área fue de 2.56 ha. La aplicación del factor de corrección se realizó en función de que se asume que los individuos que se observan dentro los cuadrantes delimitados pueden llegar a salir de esa área, debido a que los individuos no son estáticos, de una manera completa (Badii *et al.* 2012) y tienden a desplazarse para realizar sus actividades de alimentación e interacciones sociales. En este estudio fue la

primera vez que se aplicó un área buffer a el método de los cuadrantes para estimar densidades de *C. ludovicianus*, debido a qué distintos autores mencionan la importancia de considerar las áreas buffer en los métodos utilizados para estimar densidades de fauna silvestre, debido a que el buffer le da mayor superficie, qué resulta en una mayor área efectiva de muestreo (White *et al.* 1982).

En el caso de los resultados de las correlaciones ente métodos, se puede apreciar que existe una fuerte correlación entre el método de distance sampling y transecto en franja. Además en el caso de la correlación de distance sampling y transecto en franja con cuadrantes, se muestran datos más dispersos, lo que genera una correlación moderada (Figura 7), por lo que probablemente su aplicación en la colonia La Mesa, nos brindaría resultados similares, en donde los tres métodos de aplicación tendrían respuesta similar a los factores climáticos en el estudio. De alguna manera estas correlaciones podrían estar dadas, a que en el caso del método de distance sampling y transecto en franja, son métodos donde se va desplazando el observador mientras se realiza el conteo, por lo tanto son métodos dinámicos, por ende se correlacionan de una mejor manera. Caso contrario del método de cuadrantes, el cual es un método en donde los registros se documentan dentro de una parcela delimitada, por lo que es un método estático (Badii *et al.* 2012). Asimismo, durante los monitoreos en la colonia La Mesa, pudimos identificar qué el método de distance sampling presentó una mayor amplitud de detección durante los recorridos, así como una mayor facilidad para su aplicación logística y una densidad más cercana a lo real, ya que nos permite documentar individuos en movimiento a lo largo de toda la colonia.

De manera general utilizando el método de distance sampling con factor de corrección, en el caso de la colonia La Mesa, se pudo observar que la densidad del 2012 disminuyó un 66.02% conforme a la reportada a la del año 2011. Esta disminución, se pudirá deber a distintas causas, entre estas se encuentra la extracción de aproximadamente 60 individuos de la colonia La Mesa, en el mes de octubre del 2011 (Hale *et al.* 2013). El efecto de la captura se reflejó posterior a ella, en el mes de noviembre del 2010, la densidad fue de 3.01 ind/ ha comparado con el mes de noviembre del 2011 la densidad fue de 0.72 ind/ha, esto refleja una disminución del 76.07% de un año para otro. De alguna manera se pudirá deber a que provocaron pánico en la colonia, además de una reestructuración en las interacciones sociales (Robinette *et al.* 1995), por lo cual se vio reflejado en una disminución en las observaciones de *C. ludovicianus*.

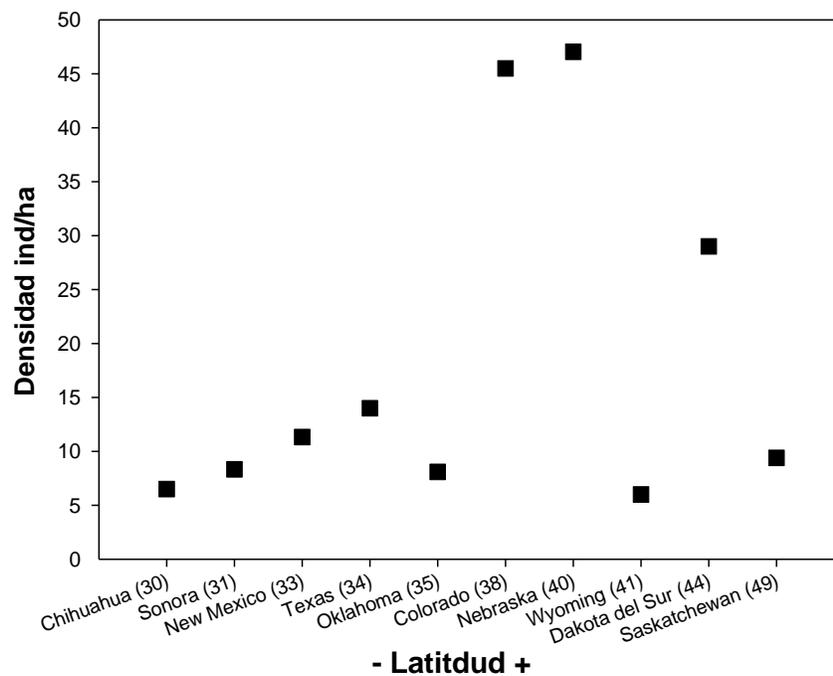
Otro de los posibles efectos de la extracción de los individuos de *C. ludovicianus*, pudirá ser el cambio en la expansión de la colonia, donde en las madrigueras donde fueron extraídos individuos, sitios aledaños a estas, ya no se presentará una expansión por esa orientación, debido a que se verá limitada la expansión por falta de individuos para la colonización de nuevos sitios (Northcott *et al.* 2008). Asimismo se ha identificado que entre otros posibles efectos de una extracción, es que las familias que se vieron desarticuladas por la captura, serán más susceptibles a la depredación, ya que se ha observado que las interacciones sociales son cruciales en la supervivencia, en el caso de los juveniles presentaran menos supervivencia, ya que no aprenderán de manera adecuada las técnicas

anti-depredadoras qué debería de enseñarle los individuos adultos, qué fueron capturados (Loughry 1992).

Utilizando el método de distance sampling, podemos observar que la densidad estimada durante el estudio osciló entre 0 a 8.34 ind/ha. Comparando el promedio más alto con los de otros estudios, se observa que la densidad es muy similar a las qué se presentán en Chihuahua (6.5ind/ha, Ávila-Flores 2009), New Mexico (11.33ind/ha, Facka *et al.* 2008) y Texas (14ind/ha, Alison *et al.* 2010), los estudios qué se realizaron en estos sitios, se encuentran dentro de la distribución del desierto Chihuahuense (Rzedowski 1978). Las densidades pudieran ser similares, debido a que en el desierto Chihuahuense, se ha identificado qué sus pastizales, son los que presentán menor productividad, en cuanto su biomasa comparado a los pastizales más al norte (Sims *et al.* 1978; Avila *et al.* 2012).

Asimismo podemos observar que las densidades más altas se muestran en los estados de Colorado (45ind/ha, Johnson y Collinge 2003) y Nebraska (47ind/ha, Peitz y Cribbs 2008). Esto se podría deber a que *C. ludovicianus* tiene sus orígenes en las grandes planicies de Estados Unidos, como lo son Colorado y Nebraska (Goodwin 1995), por lo tanto, es donde se encuentran las mejores condiciones para las colonias. Las colonias de *C. ludovicianus* ubicadas en Saskatchewan (Stephens 2012), el cual se ubica en la distribución más al norte, identificando qué son similares las densidades estimadas reportadas dentro del presente estudio (Figura 18). De alguna manera se ha identificado que la probabilidad de presencia y la densidad de población disminuyen gradualmente

desde el centro hasta el borde de su área geográfica de su distribución. En donde potencialmente, los hábitats de alta calidad disminuyen al presentarse una mayor distancia desde el centro del área de distribución geográfica (Brown 1984), lo cual concuerda con la distribución observada en las colonias de *C. ludovicianus* de Saskatchewan en Canadá y Janos, en Chihuahua, que presentan densidades relativamente bajas en comparación con las del centro de distribución (Colorado y Nebraska).



**Figura 18.** Resultados de las densidades de distintos estudios de estados que entran dentro de la distribución de *C. ludovicianus*, en donde se le incorpora los resultados obtenidos en el presente estudio.

En cuanto a la distribución de las observaciones a lo largo del monitoreo se puede observar que en el caso de la colonia La Mesa, los individuos se distribuyeron en cuatro grupos, ubicando los grupos de menos abundancia en los extremos del

transecto, en contra parte de los grupos centrales que presentaron la mayor abundancia de individuos, este patrón puede ser resultado de las mejores condiciones del hábitat, como la altura del pasto, ya que en la parte central presenta menor altura en relación a los extremos (reflejo de la actividad de forrajeo) (Hoogland 1996; 2006). Esta observación concuerda con otros estudios en los cuales reportan mayor actividad de las colonias en las partes centrales que en las periferias (Hoogland 1995).

Para la proporción de individuos por madriguera activa dentro de la colonia La Mesa, se contabilizaron 532 madrigueras y una aproximación poblacional de 770 individuos (a partir del método distance sampling), estimando una proporción de 1.31 individuos de *C. ludovicianus* por cada madriguera activa. Asimismo en la colonia Las Palmitas (n=1302), con un tamaño poblacional aproximado de 387 individuos, se presenta una proporción de 0.29 perritos por cada madriguera activa. Gran parte de las madrigueras en ambas colonias son utilizadas ocasionalmente y de modo temporal.

Además en el caso de la colonia La Mesa se encontró un mayor número de madrigueras inactivas, ya que se contabilizaron un total de 225 madrigueras inactivas y en el caso de la colonia Las Palmitas 116. Lo que nos podría indicar una mayor movilidad espacial en cuanto a la ubicación espacial de las madrigueras a lo largo del tiempo, así como una mayor cantidad de individuos jóvenes, en donde se ha identificado que son estos los encargados de realizar la mayoría de madrigueras nuevas en las colonias (Hoogland 1995).

En otras colonias, se ha determinado que un grupo familiar (cotier), está conformado por 5 a 10 individuos, pueden llegar a utilizar un total de 70 madrigueras en una extensión de 0.3 ha (Hoogland 1996). Nuestros datos corroboran que el número de madrigueras activas presentes, no presenta una relación proporcional al tamaño poblacional, por ende no debe ser considerado un buen indicador de la misma (Gray 2009).

Asimismo, en el caso de las correlaciones de la densidad con la precipitación de un año anterior, se muestra que resultados bajos, ya que todas las correlaciones son bajas, con coeficientes de determinación  $r^2$  menores a 0.40. Donde se observa que en ambas colonias las mayores densidades poblacionales, se concentran en los meses de julio y septiembre, mismo periodo en el cual se concentra la mayor cantidad de precipitación y también presenta el mayor incremento de materia vegetal, situación que aprovechando los perritos incrementando la actividad de forrajeo (Hoogland 2003).

De manera general las colonias ubicadas en Sonora, no presentan una correlación alta con la densidad, probablemente, a que se encuentran en el desierto Chihuahuense, y son más susceptibles a cambios abruptos en los regímenes de precipitación, por lo que sus individuos tienen que estar preparados para sobrevivir en condiciones climáticas secas por periodos de tiempo largo, caso contrario a las colonias de *C. ludovicianus* que se presentan más al nort, con regímenes constantes de lluvia (Forrest 2005).

Finalmente debido a que se ha observado que las colonias pequeñas, pueden ser más susceptibles a la extinción (Lomolino y Smith 2001; Magle y Crooks 2009), las colonias ubicadas en Sonora son de gran relevancia ya que poseen esta característica, por lo que una buena estrategia de conservación pudierá ser la creación de nuevas colonias de *C. ludovicianus* por medio de traslocaciones (Merriman *et al.* 2004).

Utilizando el método del distance sampling, se puede observar que en el caso de la colonia La Mesa en cuanto a su tamaño poblacional fue de aproximadamente 770 individuos y aproximadamente 388 individuos en la colonia Las Palmitas. En otros sitios y eventos de translocación, se ha recomendado una extracción no mayor al 25% de la población total estimada, para no afectar la supervivencia de la colonia origen en el largo plazo (Long *et al.* 2006). De modo complementario varios estudios (Robinette *et al.* 1995; Dullum *et al.* 2005) recomiendan un número mínimo de 60 individuos para lograr establecer una colonia nueva.

En base a estas experiencias previas, se sugiere la extracción de hasta 30 individuos de la colonia La Mesa y 30 individuos de la colonia Las Palmitas, sin causar un gran impacto en las colonias. De igual manera sería importante complementar el presente estudio con la aplicación del método de captura-recaptura, y así ver las posibles variaciones en la estimación de la densidad, esto con el fin de fomentar la creación de una nueva colonia en la cuenca del Rio San Pedro, contribuyendo al aumento de los individuos de *C. ludovicianus* y su conservación en el Estado de Sonora.

## VIII. RECOMENDACIONES DE MAJENO

- Los resultados obtenidos evidenciaron que de los tres métodos aplicados, distance sampling es el método que mejor representó la densidad de individuos dentro de ambas colonias, debido a que es un método dinámico, presenta mayor amplitud de observación, fácil aplicación y bajo costo económico.
- Las colonias presentan mayor susceptibilidad a la depredación cuando las condiciones del terreno son irregulares y la vegetación es abundante, como resultado de una mayor obstrucción visual.
- La distribución de las madrigueras dentro de colonias de mayor superficie presenta una distribución dispersa, en comparación con colonias de menor superficie, en las cuales la distribución es más agrupada.
- La distribución natural de colonias de *C. ludovicianus*, presentan las menores densidades de individuos por área en los extremos de su distribución, como las siguientes colonias: Sonora-Chihuahua y Saskatchewan.
- Es importante continuar con los monitoreos de las colonias para comprender de una mejor manera las fluctuaciones espacio-temporales de las poblacionales.
- Realizar estrategias de conservación a corto o mediano plazo como lo es la creación de nuevas colonias en Sonora.

## **IX. CONCLUSIONES**

- La colonia La Mesa (92.32 ha), presenta un tamaño poblacional aproximadamente del doble con 770 individuos, comparado a la colonia Las Palmitas (56.6 ha) con aproximadamente 387 individuos. Por el cual, existe una relación entre la densidad poblacional y el área ocupada.
- El método distance sampling fue el que mejor representó la densidad poblacional dentro de las colonias de *C. ludovicianus* en Sonora.
- La mayor obstrucción vertical se presentó dentro de la colonia La Mesa en comparación con la colonia las Palmitas.
- En la colonia La Mesa el mes con la mayor densidad fue el mes de julio del 2011 (8.34 ind/ha) y en el caso de Las Palmitas fue septiembre del 2011 (6.69 ind/ha).
- El método con el que se estimó la mayor densidad fue distance sampling, seguido de transecto en franja y finalmente los cuadrantes (incluir las densidades).
- A pesar de que la colonia Las Palmitas presenta menor extensión, está presenta el doble de madrigueras activas con 1302 a comparación con la colonia La Mesa solo 532.

## LITERATURA CITADA

- Alison L. Pruett, Clint W. Boal, Mark C. Wallace, Heather A. Whitlaw, y James D. Ray. 2010 Small Mammals Associated with Colonies of Black-Tailed Prairie Dogs (*Cynomys ludovicianus*) in the Southern High Plains. *The Southwestern Naturalist*, 55:(1): 50-56.
- Avila, R., G. Ceballos, A. de Villa-Meza, R. List, E. Marcé, J. Pacheco, G. A. Sánchez-Azofeifa y S. Boutin. 2012. Factors associated with long-term changes in distribution of black-tailed prairie dogs in northwestern Mexico. *Biological Conservation*, 145: 54–61.
- Avila, R., M. S. Boyce y S. Boutin. 2010. Habitat Selection by Prairie Dogs in a Disturbed Landscape at the Edge of Their Geographic Range. *Journal of Wildlife Management*, 74(5):945–953.
- Avila R. 2009. Black-tailed prairie dog declines in northwestern Mexico: species-habitat relationships in a changing landscape. Thesis of Doctoral of Philosophy in Ecology. Department of Biological Sciences, University of Alberta. 167 p.
- Badii, M.H., A. Guillen, J.L. Abreu, E. Cerna, J. Landeros & Y. Ochoa. 2012. Absolute and Relative Sampling Methods. *International Journal of Good Conscience*, 7 (1): 78-84.
- Biggins D.E., J. G. Sidle, D. B. Seery y A.E. Ernst. Estimating the Abundance of Prairie Dogs. 2006. In: *Conservation of the Black-Tailed, Prairie Dog*. Jhon L. Hooglan Islan Press, E.U. 357p.107-94.
- Biggins, D. E., B. J. Miller, L. R. Hanebury, B. Oakleaf, A. H. Farmer, R. Crete, and A. Dood. 1993. A technique for evaluating blackfooted ferret habitat. Pages 73-88 in J. L. Oldemeyer, D. E. Biggins, and B. J. Miller, editors. *Proceedings of the symposium on the management of prairie dog complexes for the reintroduction of the black-footed ferret*. Biological Report 13. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Bredehoeft, J. R. Lacewell, J. Price, H. Arias Rojo, J. Stromberg, G. Thomas, 1999. *Ribbon of Life: An Agenda for Preserving Transboundary Migratory Bird Habitat on the Upper San Pedro River*. Comission for Environmental Cooperation. 45pp.
- Brown K. P., H. Moller, J. Innes y N. Alterio. 1996. Calibration of tunnel tracking rates to estimates relative abundance of ship rats (*Ratus ratus*) and mice (*Mus musculus*) in a New Zealand forest. *New Zeland Journal of Ecology*. 20(2): 271-275.

- Brown, J. H. 1984. On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist*, 124:255–279.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson & J. L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs*, 72:1-202.
- Bolaños J. E. & Naranjo J. E. 2001. Abundancia, densidad y distribución de las poblaciones de ungulados en la Cuenca del río La Cantún, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 5:45-57.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K. P. Burnham & J.L. Laake. 1993. *Distance Sampling -Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman & Hall, London.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. & Thomas, L. 2001. *Introduction to Distance Sampling*, Oxford University Press, Oxford.
- Carreón. A.G., N. E. Lara, A. González, H. Coronel, C. Lòpez, R. E. Jiménez. 2010. Fortalecimiento e implementación de un programa de monitoreo de especies clave para la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe y la RPC Cuenca del Río San Pedro. Reporte final al FMCN. NATURALIA, A.C.-Universidad Autónoma de Querétaro. 97pp.
- Castillo, A. R. 2004. Evaluación de las poblaciones del perrito llanero (*Cynomys ludovicianus*) y su hábitat en Sonora, México. Informe técnico final presentado a World Wildlife Fund Programa Desierto Chihuahuense.
- Castro-Noriega, N.G y R.A. Castillo-Gámez. 2010. Caracterización del hábitat de los perritos llaneros de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) en la región prioritaria del Río San Pedro, Sonora. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas, 17-19 de Marzo de 2010, Hermosillo, Sonora.
- Ceballos G, & R. L. Mellink. 1993. Distribution and Conservation Status of Prairie Dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation*, 63:105-112.
- Ceballos, G & J. Pacheco. 2000. Los perros llaneros de Chihuahua. *Biodiversitas*. CONABIO, México D.F. 31:3-5.

- Ceballos, G., Davidson, A., List, R., Pacheco, J., Manzano-Fischer, P., Santos-Barrera, G., Cruzado, J., 2010. Rapid decline of a grassland system and its ecological and conservation implication. PLoS ONE 5, e8562.
- Ceballos, G., J. Pacheco y R. List. 1999. Influence of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) on habitat heterogeneity and mammalian diversity in Mexico. Journal of Arid Environments, 41: 161-172.
- Collins, A.R., J.P. Workman, & D.W. Ursek. 1984. An economic analysis of black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) control. Journal Range Manage, 37(4):358-361.
- Cully, J.F., S.K. Collinge, R.E. Van Nimwegen, C.R. Whitney, C. Johnson, B. Thiagarajan, D.B. Conlin and B.E. Holmes. 2010 Spatial variation in keystone effects: small mammal diversity associated with black-tailed prairie dog colonies. Ecography, 33: 667-677.
- Devenport A. J. 1989. Social Influences on foraging in Black-tailed Prairie Dogs. Journal of Mammalogy, 70 (1):166-168.
- DeSante D. F. A. 1986. Field test of the variable circular-plot censusing method in a Sierran subalpine forest habitat. Condor 88:129-142.
- Dullum, J. A., Foresman, K. Marc R. Matchett, Marc. 2005. Efficacy of Translocations for Restoring Populations of Black-Tailed Prairie Dogs. Wildlife Society Bulletin, 33 (3):842-850.
- Eads, D.A. & D.E. Biggins. 2008. Aboveground predation by an American badger (*Taxidea taxus*) on black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*). Western North American Naturalist, 68(3): 396-401.
- Eastman, J.R. 2003. IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs. Worcester. MA. 328 pp.
- Edwards D. K., G. L. Dorsey y J. A. Crawford. 1981. A comparison of three avian census methods. Pp. 170-176. En C. J. Ralph y J. M. Scott (eds). Estimating numbers of terrestrial birds. Studies in avian biology No. 6. The Cooper Ornithological Society.
- ESRI. Environmental systems research institute. 1999. Arcview version 3.2. esri. redlands, California, EUA.
- Facka N. A., P.L., Ford & G. W. Roemer. 2008. A novel approach for assessing density and range-wide abundance of prairie dogs. Journal of Mammalogy, 89(2):356-364.

- Fagerstone, K. A. & D. E. Biggins. 1986. Comparison of capture- recapture and visual count indices of prairie dog densities in black-footed ferret habitat. Great Basin Naturalist Memoirs, 8:94-98.
- Felger, S., R & M., F., Wilson.1994. Northern Sierra Madre Occidental and its Apachian Outliers: A Neglected Center of Biodiversity. Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico. September 19-23. Tucson, Arizona.
- Forrest, S., 2005. Getting the story right: a response to Vermeire and colleagues. BioScience, 55: 526–530.
- Garza-Salazar F. 2008. Vegetación e Impacto humano en la Cuenca del Rio San Pedro en el estado de Sonora. Tesina para obtener el título de especialidad. El Colegio de Sonora. Hermosillo, Sonora. 65p.
- Gauthier, D.A., A. Lafón T., T.P. Toombs, J. Hoth, y E. Wiken. 2003. Grasslands, Toward a North American Conservation Strategy. Commission For Environmental Cooperation and Canadian Plains Research Center, University of Regina. Saskatchewan, Canada.
- Crego D. R. y N. M. Ivana. 2009. Una técnica para la estimación de la densidad y el monitoreo de poblaciones de inambú común (*Nothura maculosa*) en ambientes de pastizal. Hornero, 24 (1):31–35.
- Goodwin T.H. 1995 Pliocene-Pleistocene Biogeographic History of Prairie Dogs, Genus *Cynomys* (Sciuridae). Journal of Mammalogy. 76 (1): 100-122.
- Gómez H., G. Ayala, R.B. Wallace y F. Espinoza. 2003. Densidad de la ardilla roja amazónica (Familia Sciuridae, *Sciurus spadiceus*) en el valle del río Tuichi (Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi, La Paz, Bolivia). Ecología en Bolivia, 38(1):79-88.
- Gobel, P. Comunicación personal abril del 2012.
- Gray M. B. 2009. Evaluation of barriers to black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) colony expansion, Bad River Ranches, South Dakota. Thesis the Master of Science. South Dakota State University, Department Head of Wildlife and Fisheries Sciences. Pp 67.
- Hale S., J. L. Koprowski and H. Hicks. 2013. Review of Black-Tailed Prairie Dog Reintroduction Strategies and Site Selection: Arizona Reintroduction. In: Gottfried, Gerald J.; Ffolliott, Peter F.; Gebow, Brooke S.; Eskew, Lane G.; Collins, Loa C., comps. Merging science and management in a rapidly changing world: Biodiversity and management of the Madrean Archipelago

- III. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp 593.
- Hall, E.R. 1981. The mammals of North America, vol. 2. Wiley, New York. 1175 p.
- Harris B.R. & K.P. Burnham. 2002. On estimating wildlife densities from line transect data. *Acta Zoologica Sinica*, 48: 812-818.
- Harrison, C. A., & J. C. Kilgo. 2004. Shortterm breeding bird response to two harvest practices in a bottomland forest. *Wilson Bulletin*, 116:314–323.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:9pp. [http://palaeoelectronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Hoogland J. L. 2006. Conservation of the Black-Tailed, Prairie Dog. *Island Press*, E.U. 357p.
- Hoogland, J. L. 2003. Black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) *En: Wild mammals of North America*. Feldhamer A., B. Thompson and J. Chapman (eds). The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. 1216 p. 232-247.
- Hoogland, J. L. 1996. *Cynomys ludovicianus*. *Mammalia Species*, 535: 1-10.
- Hoogland, J. L. 1995. The black-tailed prairie dog: social life of a burrowing mammal. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Jang W. & J. M. Loh. Density estimation for grouped data with application to line transect sampling. 2010. *The Annals of Applied Statistics*, 4(2):893–915.
- Johnson W. C. & S. K., Collinge. 2003. Landscape effects on black-tailed prairie dog colonies. *Biological Conservation*, 115: 487–497.
- Krebs J. Ch., R. Boonstra, V. Nams, M. O`Donoghue, K. E. Hodges y S. Boutin. 2001. Estimating decay rates. *Journal of Applied Ecology*, 40:1102-1111.
- Lawton, J. H. 1993. Range, population abundance and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 8:409–413.
- López-Saavedra, E.E, G., Valencia, B.G., Maldonado, J.A., Esquer, C., Lasch, G. Morales. 2008. Plan de Conservación para La Cuenca Alta del Río San Pedro, Sonora, México. The Nature Conservancy, Biodiversidad y Desarrollo Armónico A. C. y Comité para la Conservación de Especies Silvestres, A. C. México. 79pp.

- Long, D., K. Bly-Honness, J.C. Truett, y D.B. Seery. 2006. Establishment of a new prairie dog colonies by translocation. Pp 188-209 en: J.L. Hoogland (ed.). Conservation of the Black-tailed Prairie Dog. Island Press, Washington.
- Loughry, W. J. 1992. Ontogeny of time allocation in black-tailed prairie dogs. *Ethology* 90:206–224.
- Mandujano S. 2005. Track count calibration to estimate density of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in Mexican dry tropical forest. *The Southwestern Naturalist*, 50(2):223-229.
- Magle S.B. & Crooks K.R., 2009. Investigating the distribution of prairie dogs in anUrban landscape. *Animal Conservation*, 12: 192–203.
- Magle, S.B. & K.R. Crooks. 2008. Interactions between black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) and vegetation in habitat fragmented by urbanization. *Journal of Arid Environments* 72:38–246.
- Marshall, R.M., D. Turner, A. Gondor, D. Gori, C. Enquist, G. Luna, R. Paredes Aguilar, S. Anderson, S. Schwartz, C. Watts, E. López, and P. Comer. 2004. An Ecological Analysis of Conservation Priorities in the Apache Highlands Ecoregion. Prepared by The Nature Conservancy of Arizona, Instituto del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora, Agency and institutional partners. 152 pp.
- Menkens, G. E., D. E. Biggins, and S. H. Anderson. 1990. Visual counts as an index of white-tailed prairie dog density. *Wildlife Society Bulletin* 83:290-296.
- Moreno-Arzate, E. y A. C. López-González. 2011. Protocolo para la Traslocación de perritos de la pradera cola negra (*Cynomys ludovicianus*) en la Reserva Los Fresnos, Cuenca del Río San Pedro, Sonora. Reporte Técnico para Naturalia A.C.: Mayo-Junio-Julio y Resumen de los monitoreos realizados en La Mesa en el periodo de noviembre del 2010 a julio del 2011.
- Newson, S. E., R. J. W. Woodburn, D. G. Noble, S. R. Baillie & R. D. Gregory. 2005. Evaluating the Breeding Bird Survey for producing national population size and density estimates: the BBS has potential for producing 698 S. G. SOMERSHOE ET AL.better estimates of habitat-specific densities and population sizes for many UK bird populations than those available previously. *Bird Study*, 52:42–54.
- Northcott J., M. C. Andersen, G. W. Roemer, E. L. Fredrickson, M.DeMers, J. Truett and P. L. Ford. 2008. Spatial Analysis of Effects of Mowing and Burning on Colony Expansion in Reintroduced Black-Tailed Prairie Dog (*Cynomys ludovicianus*). *Restoration Ecology*, 16 (3): 495–502.

- Novaro A. J., M. C. Funes, C. Rambeaud y O. Monsalvo. 2000. Calibración del estaciones odoríferas para estimar tendencias poblacionales del zorro colorado (*Pseudalopex culpaeus*) en Patagonia. *Journal of Neotropical Mammalogy*, 7(2): 81-88.
- Peitz, D. G., and J. T. Cribbs. 2008. Black-tailed Prairie Dog Monitoring at Scotts Bluff National Monument, Nebraska: Annual Status Report 2008. Heartland Network Monitoring Report Update. August, 2008.
- O' Meilia, M.E., K.L. Knopf, y J.C. Lewis. 1982. Some consequences of competition between prairie dog and beef cattle. *J. Range Manage*, 35: 580-585
- Painter, L., D. Rumiz, D. Guinart, R. Wallace, B. Flores y W. Townsend.1999. Técnicas de Investigación para el Manejo de Fauna Silvestre. Chemonics International & USAID. Bolivia. 81pp.
- Proctor, J. 1998. A GIS model for identifying potential black-tailed prairie dog habitat in the northern Great Plains shortgrass prairie. M.S. thesis, University of Montana, Missoula.
- Proctor, J., B. Haskins, & S. C. Forrest. 2006. Focal areas for conservation of prairie dogs and the grassland ecosystem. Pages 157-168 in J. L. Hoogland, editor. *Conservation of the Black-tailed Prairie Dog*. Island Press, Washington D.C.
- Powell, K. L., R. J. Robel, K. E. Kemp, & M. D. Nellis. 1994. Above ground counts of blacktailed prairie dogs: temporal nature and relationship to burrow entrance density. *Journal of Wildlife Management*, 58(2):361-366.
- Rabinowitz A. 1997. *Wildlife field research and conservation training manual*. Wildlife Conservation Society, New York, 281 pp.
- Ramírez, J. & G.Keller. 2010. Effects of Landscape on Behavior of Black-Tailed Prairie Dogs (*Cynomys ludovicianus*) in Rural and Urban Habitats. *The Southwestern Naturalist*, 55(2):167–171.
- Robinette W.F. W.F. Andeltand & K.P. Burnham. 1995. Effect of Group Size on Survival of Relocated Prairie Dogs. *Journal of Wildlife Management*, 59 (4):867-874.
- Rosenstock, S. S., D. R. Anderson, K. M. Giesen, T. Luekering & M. F. Carter. 2002. And bird counting techniques: current practices and an alternative. *Auk*, 119:46–53.

- Ryan J. M. 2011. Mammalogy Techniques Manual. 2<sup>nd</sup> edition, Lulu Raleigh, N.C. 282 pp.
- SAS Institute, Inc. 2006. SAS / STAT Guide For Personal Computers, Version 9.1, Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.
- Severson, K. E., & G. E. Plumb. 1998. Comparison of methods to estimate population densities of black-tailed prairie dogs. Wildlife Society Bulletin, 26:859–866.
- Sims, P.L., J.S. Singh, & W.K. Lauenroth. 1978. The structure and function of ten western North American grasslands. Journal of Ecology, 66: 251–285.
- Somershoe G. S., D. J. Twedt & B. Reid. 2006. Combining breeding bird survey and distance sampling to estimate density of migrant and breeding birds. The Condor 108:691–699.
- Stephens T. 2012. Habitat and population analysis of black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) in Canada. Department of Biological Science. University of Calgary. A Thesis of Master of Science. 125 pp.
- Magle, S.E., McClintock, B.T., Tripp, D.W., White, G.C., Antolin, M.F., & Crooks, C.R. 2007. Mark-resight methodology for estimating population densities for prairie dogs. Journal of Wildlife Management, 71(6): 2067-2073.
- Merriman J. W., P. J. Zwank, C. W. Boal, and T. L. Bashore. 2004. Efficacy of visual barriers in reducing black-tailed prairie dog colony expansion. Wildlife Society Bulletin, 32:1316-1320.
- Molina, L. Comunicación personal marzo del 2011.
- Thomas, L. J., L. Laake. S. Strindberg, F. Marques, S. T. Buckalnd, D.L. Borchers, D.R. Anderson, K.P. Burnham, S.L. Hedley, J.H. Pollard, J.R. Bishop & T. A. Marques. 2005. Distance 5.0. Release 5.0. Research Unit for Wildlife Population Assessment University of St. Andrews Uk. Shttp: [www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/](http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/).
- Varman K. S. & R. Sukumar. 1995. The line transect method for estimating densities of large mammals in a tropical deciduous forest: An evaluation of models and field experiments, Journal Biosci, 20 (2): 273-287.
- Walker, R. S., A. J. Novaro, y J. D. Nichols. 2000. Consideraciones para la estimación de abundancia de poblaciones de mamíferos. Journal of Neotropical Mammalogy, 7:73-80.

Weltzin JF, Archer S, Heitschmidt RK (1997) Small-mammal regulation of vegetation structure in a temperate savanna. *Ecology*, 78: 751–763.

Weather Source 2013.  
[http://weatherwarehouse.com/WeatherHistory/PastWeatherData\\_FortHuachucaLibby\\_FortHuachuca\\_AZ.html](http://weatherwarehouse.com/WeatherHistory/PastWeatherData_FortHuachucaLibby_FortHuachuca_AZ.html). Revisada en el mes de abril del 2012.

Winter, S.L., J.F. Cully, Jr., and J.S. Pontius. 2002. Vegetation of prairie dog colonies and non-colonized short-grass prairie. *Journal of Range Management*, 55:502-508.

Zapata, C. 2011. Desarrollo del protocolo epidemiológico para la reintroducción de perritos de la pradera de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) en el municipio de Santa Cruz, Sonora, México, como modelo para los lineamientos de reintroducción de especies silvestres. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Hoja de campo para la toma de datos del transecto

### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO Y NATURALIA A.C.

#### PROYECTO: ESTADO POBLACIONAL DE LAS COLONIAS DE PERRITO DE LA PRADERA (*Cynomys ludovicianus*) EN SONORA, MÉXICO

Fecha: \_\_\_\_\_ Colonia: \_\_\_\_\_ Observador: \_\_\_\_\_ Anotador: \_\_\_\_\_

Periodo: \_\_\_\_\_ Hora inicial: \_\_\_\_\_ Hora final: \_\_\_\_\_ Velocidad de viento: \_\_\_\_\_

Clima: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_

Num	Obser	A. Tran	D. Per	Lado
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				

Num	Obser	A. Tran	D. Per	Lado
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
74				

**Apéndice 2.** Hoja de campo para la toma de datos de los cuadrantes  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO Y NATURALIA A.C.**

**PROYECTO:** ESTADO POBLACIONAL DE LAS COLONIAS DE PERRITO  
DE LA PRADERA (*Cynomys ludovicianus*) EN SONORA, MÉXICO

Fecha: \_\_\_\_\_ Colonia: \_\_\_\_\_ Observador: \_\_\_\_\_ Anotador: \_\_\_\_\_

Hora inicial: \_\_\_\_\_ Hora final: \_\_\_\_\_ Núm. de Cuadrantes: \_\_\_\_\_

Clima: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_ Velocidad de viento: \_\_\_\_\_

Número	Periodo	Observados
1	7:00-7:05	
2	7:20-7:25	
3	7:40-7:45	
4	8:00-8:05	
5	8:20-8:25	
6	8:40-8:45	
7	9:00-9:05	
8	9:00-9:25	
9	9:40-9:45	
10	10:00-10:05	

Número	Periodo	Observados
1	4:00-4:05	
2	4:20-4:25	
3	4:40-4:45	
4	5:00-5:05	
5	5:20-5:25	
6	5:40-5:45	
7	6:00-6:05	
8	6:20-6:25	
9	6:40-6:45	
10	7:00-7:05	

**Apéndice 3.** Monitoreo y trabajo de campo en las colonias de *C. ludovicianus*

