



00361 19  
2ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

\* ESTIMACIONES DE LA DENSIDAD DEL VENADO COLA BLANCA  
(Odocoileus virginianus) EN UN BOSQUE TROPICAL  
CADUCIFOLIO DE JALISCO \*

**TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS (BIOLOGIA)**

**P R E S E N T A**

**SALVADOR MANDUJANO RODRIGUEZ**

**México, D.F. 1992**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
APOYO Y FINANCIAMIENTO .....	iv
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS .....	2
DESCRIPCION DE LOS METODOS .....	3
<u>Método del Conteo de Animales en Transectos</u> .....	3
1. Conceptos Generales. ....	3
2. Clasificación de los Modelos Basados en el Método de Conteo Directo. ....	6
3. Descripción de Algunos Modelos Basados en el Método de Conteo Directo. ....	6
4. Diferencia entre el Transecto de Línea y el Transecto de Franja. ....	8
5. Programas para Calcular la Densidad con el Método Directo. ....	9
<u>Método del Conteo de Huellas</u> .....	9
1. Conceptos Generales. ....	9
2. Modelos Basados en el Método de Conteo de Huellas. ....	9
3. Ventajas y Desventajas del Método de Conteo de Huellas. ....	10
<u>Método del Conteo de Grupos Fecales</u> .....	11
1. Conceptos Generales. ....	11
2. Modelo Basado en el Método de Conteo de Grupos Fecales. ....	11
3. Ventajas y Desventajas del Método de Conteo Fecales. ....	11
AREA DE ESTUDIO .....	13

<b>METODOS</b> .....	15
<u>Transecto para Conteo Directo</u> .....	15
1. Obtención de Datos. ....	15
2. Análisis de Datos. ....	16
<u>Transecto para Conteo de Huellas</u> .....	18
1. Obtención de Datos. ....	18
2. Análisis de Datos. ....	18
<u>Transecto para Conteo de Grupos Fecales</u> .....	19
1. Obtención de Datos. ....	19
2. Análisis de Datos. ....	20
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	21
<u>Conteo Directo de Venados</u> .....	21
1. Base de Datos. ....	21
2. Estimación de la Densidad por los Diferentes Modelos. ....	23
3. Relación del Índice de Observación con los Modelos. ....	27
4. Ajuste de los Modelos a las Curvas de Detección Mensuales. ....	27
5. Sesgo Relativo de los Modelos. ....	28
6. Efecto de la Ubicación del Transecto sobre las Estimaciones. ....	29
7. Efecto del Tamaño de las Manadas sobre las Estimaciones. ....	31
8. Selección del Modelo más Confiable. ....	32
<u>Conteo de Huellas</u> .....	34
1. Base de Datos. ....	34
2. Estimación de la Densidad por Modelo. ....	34
<u>Conteo de Grupos Fecales</u> .....	36
1. Base de Datos. ....	36
2. Estimación de la Densidad por Modelo. ....	36

<b><u>Comparación de los Tres Métodos</u></b> .....	<b>37</b>
1. Diferencia entre Métodos. ....	37
2. Relación entre Métodos. ....	37
3. Variación en las Estimaciones de los Métodos. ....	38
4. Sesgo Relativo de los Métodos. ....	39
5. Efecto del Patrón de Actividad de los Venados sobre las Estimaciones. ....	39
6. Análisis de los Supuestos de cada Método. ....	40
7. Ventajas y Desventajas de cada Método en el Área de Estudio. ....	42
8. Comparación de la Densidad en Chamela con otros Sitios. ....	44
<b><u>Comprobación de las Estimaciones</u></b> .....	<b>45</b>
1. Mapeo de Individuos. ....	46
2. Modelo de Simulación. ....	48
<b><u>Modelos Nuevos</u></b> .....	<b>52</b>
1. Modelo Alternativo I Basado en el Conteo de Huellas. ....	53
2. Modelo Alternativo II Basado en el Conteo Directo. ....	56
<b><u>Recomendaciones para Muestreos Futuros</u></b> .....	<b>58</b>
1. Conteo Directo de Venados. ....	58
2. Conteo de Huellas. ....	60
3. Conteo de Grupos Fecales. ....	60
4. Obtención de Otros Datos Demográficos. ....	61
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>64</b>
<b>APENDICE 1</b> .....	<b>74</b>
<b>APENDICE 2</b> .....	<b>75</b>

## RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio fue comparar las estimaciones de la densidad poblacional del venado cola blanca con los métodos de conteo directo de animales, conteo de huellas y conteo de grupos fecales, y varios modelos de éstos, en un bosque tropical caducifolio. La finalidad fue proponer aquel método y modelo que dé la estimación más confiable para que sea empleado en el área de estudio y en otras con características similares, dentro de los programas de manejo para conservación y aprovechamiento. El trabajo se realizó en la Estación de Biología "Chamela" en el estado de Jalisco, en el período de julio de 1989 a agosto de 1990.

Se encontró que ninguno de los tres métodos es totalmente satisfactorio para el área de estudio. Los métodos dieron estimaciones significativamente distintas. La densidad (ind/km<sup>2</sup>) promedio anual fue de  $1.8 \pm 0.3$  en el método de huellas,  $12.0 \pm 1.9$  en el directo y  $28.1 \pm 3.8$  en el de grupos fecales. Con base en el análisis de los supuestos de cada método y la validación de los resultados a través de un modelo de simulación, se tiene que el método de conteo directo de venados en transectos, empleando el modelo de Fourier, da la estimación más confiable en el área de estudio. La época húmeda (julio a noviembre) es el período más conveniente para realizar los muestreos aplicando el método directo en caminatas diurnas. Por otro lado, la exactitud en la estimación por medio de los métodos indirectos (huellas y excrementos) depende, en gran medida, de conocer el patrón de actividad diaria y la tasa de defecación promedio para este tipo de hábitat.

De manera general, la estimación de la densidad obtenida en un área y momento dado depende de los siguientes factores: el número de animales que hay en sí en el área, el patrón de actividad de los venados, el método y modelo empleado y los errores de muestreo. Por último, es necesario realizar estudios que profundicen sobre aspectos de la biología y ecología de esta especie en hábitats tropicales.

## ABSTRACT

The main objective of this study was to compare the density estimates of white-tailed deer population using three methods (direct counts in transect-line, tracks counts, and pellet-group counts), and several models of these methods, in a tropical deciduous forest; and also to propose the method and model that gave the most reliable density estimations, in order to use it in the study area and in others with similar characteristics, for management programs of conservation and exploitation. The study was done in the "Estación de Biología Chamela" in Jalisco state, between July 1989 and August 1990.

None of the methods was totally satisfactory for the tropical deciduous forest. Density estimations were significantly different between methods. The mean annual density (ind/km<sup>2</sup>), were:  $1.8 \pm 0.3$  for the track method,  $12.0 \pm 1.9$  for the direct-count-transect method, and  $28.1 \pm 3.8$  for the pellet-group method. Based on the analysis of the assumptions of each method, and the validation of results through a simulation model, I conclude that direct counts of deers in a transect-line, using the Fourier model, is the best estimation of density in the study site. The wet season (July to November) is the period most adequate to take samples during diurnal walks. On the other hand, the accuracy of the density estimators using the indirect methods (track and pellet-group counts) depends on the knowledge of the daily activity patterns and defecation rates for this type of habitat.

In general, the density estimation obtained in one place in a given moment, depends on the following aspects: the number of animal in the site, their activity patterns, sample bias, and the method and model used. Finally, there is a need for more in-depth studies on the biology and ecology of this ungulate in tropical habitats.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Sonia Gallina por su constante apoyo a lo largo de varios años de mi formación académica, por su ayuda en campo y por su amistad.

Al Dr. Victor Rico-Gray por su apoyo, amistad y por la buena música.

A los sinodales Dra. Sonia Gallina, Dr. Victor Rico-Gray, M.M.V.S. Marcelo Aranda, Dr. Rodolfo Dirzo, Dr. Exequiel Ezcurra, Dr. Gerardo Ceballos y M.C. Alberto González-Romero, por la revisión, comentarios y sugerencias al manuscrito de la tesis.

Al Dr. Stephen H. Bullock por el apoyo para iniciar con este estudio.

Al Dr. Kenneth P. Burnham por sus comentarios a algunas inquietudes iniciales y la facilitación de una copia del programa TRANSECT.

A los Biól. Alberto Hernández, Dr. Stephen H. Bullock, Biól. Nora Martineja, M.C. Ricardo Ayala, Biól. Enrique Ramírez, Biól. Susana Guzmán, Biól. Alexandra Chemás, Lic. Ignacio Ramírez, Sr. Jose Landín, Biól. Aurelio Ramírez, Sr. Ramón, Biól. Gerardo Sánchez, Dr. Victor Sanchez-Cordero, Biól. Angeles Mendoza, Sra. Eva, Biól. Victor Parra y Biól. Germán Avila, por sus comentarios, contribución en algunas observaciones de los venados y por su agradable compañía durante la estancia en la Estación.

Al personal de la Estación, particularmente a Lic. Ignacio Ramírez, Sr. Ramón, Sra. Eva, Sra. Ma. Elena y Sr. Landín.

A la Dra. Patricia Moreno por su apoyo incondicional en los tiempos difíciles de la incorporación a la Maestría de la Facultad de Ciencias de la UNAM, después del cierre del INIREB.

A mi familia, Salvador, Consuelo, Martha, Monica y Sergio, por su apoyo y comprensión.

A mi compañera Alexandra Chemás-Jaramillo por su amistad, compañerismo y amor durante todos estos años.

## **APOYO Y FINANCIAMIENTO**

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) otorgó beca crédito (No. 54449) para estudios de posgrado. La Estación de Biología "Chamela" del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, brindó días de estancia durante el trabajo de campo. La tesis formó parte y recibió apoyo del Proyecto Ecología y Comportamiento Animal del Instituto de Ecología, A.C.. Además, apoyo parcial de los subproyectos CONACYT (P220CCOR-892154), CONACYT (P020CCOR-903703) y SEP (DGICSA-902467) del Instituto de Ecología.

## INTRODUCCION

El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*, Zimmerman) es una de las especies más importantes en Norteamérica debido a su amplia distribución, adaptación a vegetación subclímax y valor económico (McCullough 1982a; Halls 1984). En México, el venado es un animal de profundo impacto económico, ya que es un componente para complementar la dieta de proteína animal de grupos indígenas y campesinos, así como un codiciado trofeo de caza deportiva (Leopold 1965; Villarreal 1986). El mayor número de estudios sobre esta especie en el país se ha realizado en habitats templados y matorrales xerófilos (Gallina et al. 1978; Clemente 1984; Morales 1985; Romo 1987; Mandujano y Hernández 1990; Gallina 1990; Valenzuela 1991). En comparación, en habitats tropicales han sido mínimos los estudios (Hernández et al. 1974; García y Monroy 1985; Mandujano y Rico-Gray 1991).

Conocer la estructura y dinámica de la población, es un aspecto básico dentro de los programas de manejo para aprovechar al venado (McCullough 1982a; Hayne 1984; Downing y Gwynn 1985). Sin embargo, no hay ningún método de censo poblacional que dé resultados confiables en distintos tipos de habitats. Aunado a esto, se tiene que la mayoría de los métodos para realizar censos han sido desarrollados para habitats templados, desconociéndose qué tan adecuados son en habitats tropicales. Por lo tanto, son de gran utilidad las investigaciones específicamente diseñadas con el propósito de conocer los métodos más confiables para obtener estimaciones de la densidad poblacional de este ungulado en habitats tropicales.

Un aspecto importante es saber si la estimación que se obtiene en un área y momento dados es la más exacta. Esto es, si se aplica un método y se hace inferencia sobre el parámetro, en este caso la densidad, ¿cómo saber si la estimación es la más exacta?. Hazzard (1958 citado en Mooty 1980) menciona que la exactitud de un estimador obtenido con un determinado método, debe ser verificada comparando la estimación con el número de animales que se sabe hay en el sitio de estudio (calcular el sesgo del estimador), o bien verificando si dos o más métodos completamente independientes dan un resultado similar entre sí.

Son pocos los estudios donde se comparan estimaciones de la densidad obtenidas por distintos métodos con el número de animales que se sabe hay en el mismo lugar (Downing et al. 1965; Robinette et al. 1974; Hone 1988a). Se ha empleado con más frecuencia la comparación de dos o más métodos, con la variante de considerar la estimación obtenida por determinado método como la más exacta y luego compararla con las obtenidas con los otros métodos para conocer el sesgo de éstos (Gates et al. 1968; Franzreb 1976; Anderson y Ohmart 1981; Conant et al. 1981; Quinn 1981; Tilghman y Rush 1981; Coulson y Raines 1985; Bobek et al. 1986; Escos y Alados 1988; Hone 1988b; Verner y Ritter 1988; White et al. 1989; Bergstedt y Anderson 1990; Firchow et al. 1990; Fuller 1991).

## OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio fue el de comparar las estimaciones de la densidad poblacional del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus sinaloae*, J.A. Allen), obtenidas con los métodos de conteo de huellas, conteo de grupos fecales y conteo directo de animales, en un bosque tropical caducifolio del Estado de Jalisco. Los objetivos específicos fueron:

- 1) Analizar las estimaciones de la densidad obtenidas con distintos modelos a partir de una misma base de datos para cada uno de los tres métodos.
- 2) Analizar en detalle las posibilidades de aplicación del método de conteo directo de venados en transectos en este tipo de habitat.
- 3) Dar recomendaciones sobre el muestreo poblacional para programas de conservación y aprovechamiento de esta especie, en el área de estudio y en otros lugares donde exista este tipo de vegetación.

## DESCRIPCION DE LOS METODOS

Los métodos para estimar la abundancia o la densidad pueden ser clasificados en directos e indirectos (Davis y Winstad 1980). Los directos involucran el conteo de animales y los indirectos implican el conteo de signos o evidencia de ellos (huellas, excremento, cantos, senderos, etc.). En los trabajos de Overton (1969), Seber (1973), Caughley (1977), Davis y Winstad (1980), Rabinovich (1982) y Begon (1989) se describen diversos métodos y formas de muestreo para estimar el número de animales. Particularmente para el venado, los trabajos de Jeter (1965), Jenkins y Marchinton (1969) y Mooty (1980) discuten varios métodos, y algunas de sus ventajas y desventajas. Algunos de los métodos que se han empleado para el venado, son el conteo directo de animales, conteo de grupos de excrementos, conteo de huellas, animales cazados, exterminación total de la población en un área y cambios en la proporción de sexos.

Dado que en la literatura muchas veces se hace referencia indistintamente de los términos métodos, técnicas, modelos y fórmulas, en el presente estudio se optó por diferenciar los términos métodos y modelos. Se empleó el término "método" refiriéndose por separado al conteo directo de animales, al conteo de huellas y al conteo de grupos fecales. Por otro lado, el término "modelo" se empleó para las variantes para estimar la densidad dentro de un mismo método.

### Método del Conteo de Animales en Transectos

#### **1. Conceptos Generales.**

El método del conteo directo de animales en transectos ha sido usado para estimar la abundancia y densidad poblacional tanto del venado como de otras especies (Eberhardt 1968, 1978a; Gates et al. 1968; Emlen 1971; Robinette et al. 1974; Burnham et al. 1980; Smith y Nydegger 1985; Brennan y Block 1986; Harden et al. 1986; Brockelman y Ali 1987; Ecos y Alados 1988). En México, este método ha sido muy poco aplicado. Para el venado se ha empleado en los matorrales xerófilos (Carrera 1985; Villarreal 1986, 1990), en bosques templados (Romo 1987) y en bosques tropicales caducifolios (García y Monroy 1985).

El conteo de animales en transectos ha sido utilizado como índice para obtener tendencias poblacionales (Overton 1969). No obstante, también es posible emplear el conteo directo para estimar la abundancia y la densidad (Eberhardt 1968, 1978a; Robinette et al. 1974; Burnham et al. 1980; Gates 1980; Quinn y Gallucci 1980). Este método es común encontrarlo en la literatura como transecto de línea ("line transect") y transecto de franja ("strip transect"); sin embargo, el transecto de franja es un caso especial del transecto de línea (Burnham et al. 1980).

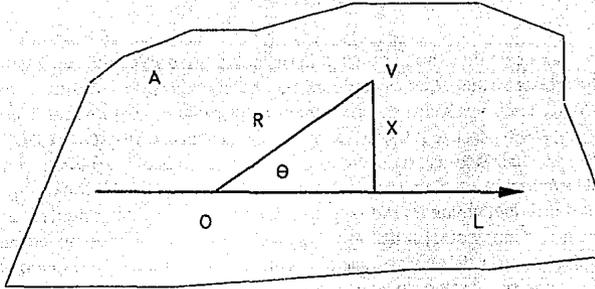


Figura 1. Esquema conceptual del método de transecto. L (transecto), V (venado) O (observador),  $\theta$  (ángulo), R (radial) y X (distancia perpendicular).

El método de conteo directo consiste en establecer por lo menos un transecto de un largo predefinido (L) en el área (A) donde se quiere obtener una estimación del tamaño de la población. Al recorrer este transecto se debe contar a los animales que se observan (n) y además tomar las siguientes medidas: la distancia perpendicular (x) del animal al transecto o la distancia radial (r) y el ángulo ( $\theta$ ) del animal al observador (Figura 1).

Los supuestos que deben satisfacerse para obtener una estimación confiable de la densidad a partir del conteo en transectos, en orden de importancia, son: los animales que estén directamente sobre la línea del transecto nunca deben ser perdidos (deben tener una probabilidad de observación igual a uno); los animales están "fijos" al momento inicial en que se observan por primera vez; ningún animal es contado dos veces; las distancias son medidas exactamente; y las observaciones son eventos independientes (Burnham et al. 1980).

Una vez aplicado el método, se tiene el número de animales contados y alguna medida de distancia (radial o perpendicular) para cada animal observado. Para convertir este conteo a densidad, es necesario tener un modelo que relacione las observaciones y distancias con el centro del transecto. La idea básica es que la probabilidad de detectar a los animales disminuye conforme

aumenta la distancia perpendicular de éstos al transecto. Este concepto es llamado curva de detección y se representa como  $g(x)$  (Figura 2). El aspecto básico para estimar la densidad, es definir la forma de la curva que mejor se ajuste al histograma de frecuencias de las distancias perpendiculares de los animales al transecto.

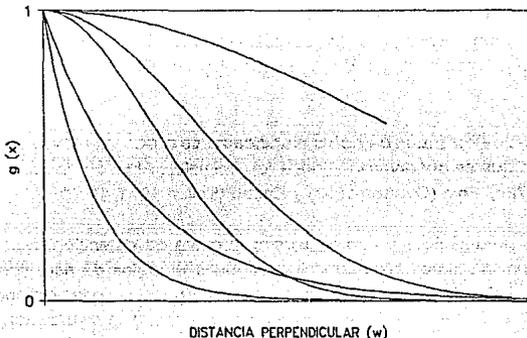


Figura 2. Representación de varias formas posibles de la curva de detección  $g(x)$ .

La fórmula general para obtener la densidad en este método es  $D = n/2Lu$ . El parámetro  $u$  se relaciona con la curva de detección como  $u = \int_0^w g(x) dx$ , donde  $w$  es el ancho máximo de observación. El problema al que se reduce el método de transecto de línea es estimar al parámetro  $u$ . Con base en el primer supuesto que dice que todos los animales que estén a una distancia cero deben ser detectados con una probabilidad de observación igual a uno, ( $g(0) = 1$ ), se tiene que el aspecto más relevante es realizar el muestreo de tal forma que se satisfaga este supuesto. Si se designa a  $f(0)$  (la función probabilística de densidad a una distancia de cero metros) igual al inverso de  $u$ , la expresión es:

$$D = \frac{n \cdot f(0)}{2L}$$

Esta es la fórmula básica para estimar la densidad por medio del método de transecto de línea. El problema es cómo se define y calcula  $f(0)$ , y es en este punto donde varios autores han desarrollado numerosos modelos.

## **2. Clasificación de los Modelos Basados en el Método de Conteo Directo.**

Los modelos se han dividido en "ad-hoc", paramétricos y no paramétricos (Burnham et al. 1980). También se pueden dividir en los que se basan en distancias perpendiculares del animal al transecto, y los que se basan en la distancia radial y ángulo de observación del animal al observador.

Los modelos "ad-hoc" tratan de definir empíricamente el ancho efectivo del transecto dentro del cual se considera que se observaron a todos los animales. Algunos de los modelos son el de Kelker (Eberhardt 1978a), Frye (Overton 1969) y Emlen (Emlen 1971, 1977).

Los modelos paramétricos tratan de ajustar la curva de detección de los animales en el transecto a alguna función matemática conocida. Algunos modelos de este tipo son la binomial negativa (Gates et al. 1969), la normal media (Hemingway 1971), las series de potencia (Eberhardt 1968, 1978a), la distribución beta modificada (Burnham et al. 1980), la distribución gama (Sen et al. 1974), la distribución logística inversa (Eberhardt 1968, 1978a), el estimador log-cuadrático (Anderson et al. 1978), la serie de potencia exponencial (Pollock 1978) y la cuadrática exponencial (Burnham et al. 1980).

Los modelos no-paramétricos no dan por establecido ningún tipo de curva a la cual los datos deben ajustarse para poder estimar a  $f(0)$ . Los modelos más comunes son el de Cox (Cox 1969 en Eberhardt 1978a), la serie de Fourier (Crain et al. 1978), estimadores de histograma truncados (Burnham et al. 1980) y la regresión isotónica (Burnham y Anderson 1976).

En cuanto a los modelos basados en la distancia radial, algunos de los más conocidos son el de Webb (Webb 1942 en Burnham et al. 1980), King (Overton 1969), Yapp (Yapp 1956 en Burnham et al. 1980), binomial negativa (Gates et al. 1968) y Hayne (Hayne 1949 en Burnham et al. 1980).

## **3. Descripción de Algunos Modelos Basados en el Método de Conteo Directo.**

A continuación se describen brevemente los conceptos en que se basan los modelos que fueron empleados en este estudio. La selección de éstos modelos fue hecha con base a su uso común en diversos estudios, a la facilidad de cálculos y al acceso al programa TRANSECT.

**Frye.** Sólo los animales vistos entre el intervalo  $0$  a  $w'$  se toman en cuenta para el cálculo de la densidad, donde  $w'$  es la distancia perpendicular promedio de los animales al transecto. Este intervalo es llamado el "ancho efectivo del transecto". Por lo tanto, se define  $f(0)=1/w'$  como la distancia perpendicular media de las observaciones. Este modelo es empleado sólo como un índice de la densidad (Burnham et al. 1980).

**Kelker.** Este modelo es un caso especial de la serie de expansión de Taylor (Burnham et al. 1980). Su aplicación consiste en analizar el histograma de frecuencia de las observaciones al transecto y considerar únicamente a aquellas observaciones que están dentro del intervalo en el cual se considera que se vieron a todos los animales en el área adyacente al transecto, y desecha las observaciones más allá de esta distancia. En este modelo  $f(0)=n1/nw'$ . La decisión a partir de qué ancho se debe truncar las observaciones puede ser subjetiva lo cual introduce un sesgo en el estimador (Burnham et al. 1980).

**Emlen.** Se basa en la obtención de un coeficiente de detectabilidad (CD). El empleo del CD se basa en que no todos los animales son detectados por el observador a lo largo del transecto y considera que dentro de cierto ancho (franja basal) todos los animales son detectados, pero más allá de esta franja no todos los animales son detectados. Por lo tanto, el método trata de corregir esto utilizando el CD para obtener el número de animales que debería haber en toda la franja del transecto. El CD varía de una especie a otra, y dentro de una misma especie varía también dependiendo el tipo de habitat, la época del año o el sexo (Herrera 1980). Un aspecto importante de este modelo es que incorpora al análisis todas las observaciones obtenidas a lo largo del transecto, aspecto importante cuando el número de observaciones es bajo. En este modelo  $f(0)=1/CD$ .

**Cox.** Es un método no paramétrico y es un caso especial de la serie de expansión de Taylor (Burnham et al. 1980). Al igual que el de Emlen, este método trata de corregir el número de venados vistos en un ancho donde todos los animales son detectados, al ancho completo del transecto. Hay dos derivaciones para este modelo, una donde  $w$  es igual para dos franjas paralelas continuas al transecto, y otro donde el ancho de cada franja puede ser diferente. Para el caso de  $w1=w2$ , se tiene:  $D=3n1-n2/4Lw$ . Este modelo es útil para un monitoreo rápido (Eberhardt 1978a).

**Fourier.** Es un estimador no paramétrico, está basado en la expansión de la serie de Fourier de la función probabilística de densidad  $f(x)$  y es una expresión de senos y cosenos. Esta es una serie entre un número de funciones matemáticas de una función y estas series son exactas para un número infinito de términos. El modelo emplea la forma  $f(0)=1/w+\sum a_n$ , donde  $a_n=(2/nw)(\sum \cos(k\pi x/w))$ . La serie de Fourier es periódica e interesa específicamente para el intervalo de  $0$  a  $w$ . En general, es fácil de computar y la eficiencia del estimador es muy bueno para muestras pequeñas.

**Polinomial.** Este modelo no paramétrico estima un factor de corrección de los objetos no detectados. Es un modelo alternativo al de Fourier, sin embargo es más difícil de usar. El modelo

emplea la forma  $f(0) = 1/w + \sum a_i \phi_i(0)$ .

**Binomial Negativa.** Se basa en el supuesto de que sólo los objetos que están sobre el transecto son detectados con una probabilidad igual a uno, e inmediatamente la probabilidad de detección disminuye al alejarse del centro del transecto. Este modelo es excelente si los supuestos de la binomial negativa son satisfechos (Burnham et al. 1980). Emplea la forma  $f(0) = (1/x)(n-1/n)$ .

**Normal Media.** En general, este modelo es frecuentemente más atractivo que el de la binomial negativa, pues se basa en el supuesto de que se pueden detectar objetos un poco más allá del centro del transecto con una probabilidad igual a uno. Emplea la forma  $f(0) = [(\pi/2)/(\sum x^2/n)]^{1/2}(n-0.8/n)$ .

**Serie Potencia Exponencial.** Esta serie incorpora a los modelos de la binomial negativa y el de la normal media como casos especiales (Pollock 1978). Este modelo puede tomar una gran variedad de formas. Emplea  $f(x) = [\exp(-x/h)]^2 [h\Gamma(1+1/p)]$ .

#### 4. Diferencia entre el Transecto de Línea y el Transecto de Franja.

Eberhardt (1978a) describe en detalle el caso del transecto de franja cuya fórmula es  $D = n/2Lw$ , la cual indica que el número de observaciones (n) se divide entre la superficie muestreada. En este caso, el transecto puede considerarse como un cuadrante muy largo y muy angosto. En la práctica, el observador debe definir desde el principio el ancho (w) del transecto. Los supuestos básicos del transecto de franja, son: sólo se deben contar a los animales que estén dentro del ancho predefinido del transecto y se debe tener la seguridad de que se cuenta a todos los animales que estén dentro de este ancho. En relación con la curva de detección, se tiene esto como:  $g(x) = 1$ , para  $0 \leq x \leq w$ . La violación de cualquiera de los dos supuestos resulta en estimaciones sesgadas, y en la práctica es muy probable que no sean satisfechos estos supuestos cuando se trabaja con animales muy temerosos o cuando la visibilidad impuesta por la vegetación es baja (Burnham et al. 1985; Burnham y Anderson 1984; Mandujano y Aranda 1992).

Por otro lado, en el método de transecto de línea no se pone ningún ancho como límite para el conteo de animales y así no tener restricciones de contar sólo a los animales que estén dentro del ancho definido. Esto es muy valioso cuando el tamaño de muestra no es muy grande. Otra diferencia del transecto de línea con respecto al transecto de franja, es que además del número de animales contados, se debe medir la distancia (perpendicular o radial) de los animales al transecto. Además, un aspecto sumamente importante, es que en el transecto de línea no es necesario detectar a todos los animales que estén en el área adyacente al mismo. Esto es importante y muy realista, ya que la gran mayoría de las especies animales tiende a esconderse ante la presencia de extraños. De lo único que se debe estar seguro es de detectar a todos los animales que estén a una distancia de cero metros perpendicular al transecto, o sea, sobre el transecto. Esto último es lo que le da mucha versatilidad a este método, comparándolo con el transecto de franja. Por lo tanto, las ventajas

del transecto de línea con respecto al transecto de franja son: evita el supuesto  $g(x) = 1$ ; el sesgo no aumenta conforme se incrementa el ancho del transecto; y emplea todos los datos del muestreo (Burnham et al. 1985).

## 5. Programas para Calcular la Densidad con el Método Directo.

Existen tres programas de computadora para estimar la densidad con el método de transecto, éstos son: TRANSECT (Laake et al. 1979), LINETRAN (Gates 1980), y SIZETRAN (Drummer 1991). Estos programas están disponibles para computadoras personales. El programa TRANSECT puede estimar la densidad por medio de los modelos: Fourier, Normal media, Binomial negativa, Serie de potencia exponencial, Polinomial, Hayne, Hayne generalizada y Hayne modificada. El programa LINETRAN emplea los modelos: Kelker, Polinomial, Eberhardt-Cox no-paramétrico, Cuadrática, Gates, Normal media, Binomial negativa, Triangular, Exponencial generalizada, Hayne y Hayne modificado. El programa SIZETRAN incorpora al análisis de la estimación de la densidad, los casos cuando los animales forman grupos.

### Método del Conteo de Huellas

#### 1. Conceptos Generales.

El conteo del número de huellas ha sido usado como un índice de abundancia (Overton 1969). Las huellas de venados a lo largo de caminos de terracería se correlacionan bien con otros índices de abundancia de la población (Mooty 1980). Se ha encontrado correlación positiva entre el número de huellas por kilómetro y el número de venados por kilómetro cuadrado (Tyson 1959; Daniel y Frels 1971); también entre el número de huellas y grupos de excremento (Mooty et al. 1984). En México se ha usado poco este método, algunos trabajos son con el venado en el bosque tropical (Hernández et al. 1974) y en bosque templado (Galindo-G et al. 1985; Romo 1987).

#### 2. Modelos Basados en el Método de Conteo de Huellas.

El desarrollo de un estimador de la densidad a partir del número de huellas, requiere de modelar específicamente la relación entre el número de animales en un área y la distribución espacial y abundancia de sus huellas (Overton 1969; Davis y Winstad 1980). A continuación se describen brevemente los modelos existentes para este método.

**TYSON.** Los supuestos básicos del modelo de Tyson (1959), son que la extensión del rango de actividad diaria de un individuo está dentro de un diámetro de 1.6 km y el venado permanece en

el mismo lugar durante días sucesivos. El modelo de Tyson es  $D=H/L$ , donde  $D$  es la densidad de venados por milla cuadrada,  $H$  el número total de huellas y  $L$  el número total de millas recorridas. Es importante resaltar que este modelo fue desarrollado para dar resultados en unidades inglesas, por lo cual es necesario introducir factores de conversión si se quiere expresar la densidad en unidades métricas.

**DANIEL-FRELS.** Daniel y Frels (1971) desarrollaron un modelo muy semejante al de Tyson. La fórmula es  $D=640/Av$ , donde  $Av=218/(H/3)$ ,  $Av$  es el número de acres por venado,  $H$  el promedio de huellas por milla de transecto y  $D$  el número de venados por milla cuadrada.

### 3. Ventajas y Desventajas del Método de Conteo de Huellas.

Dada una propia distribución de los caminos, los cuales son empleados regularmente como transectos, y un conteo correcto, este método puede reflejar adecuadamente el número de venados en un área (Mooty 1980). Además, es barato y fácil de aplicar a gran escala (Jenkins y Marchinton 1969). Se ha encontrado que puede detectar cambios poblacionales de hasta un 20% (Downing et al. 1965). No obstante, dada la alta variabilidad, este método es menos sensible para detectar cambios en el nivel poblacional que el de conteo de grupos fecales (Mooty et al. 1984).

Una de las fuentes más probables de error en este método es el conocimiento del rango diario de movimientos del venado (Tyson 1959). Por otro lado, se ha encontrado que la variabilidad en el conteo de huellas de un día a otro, requiere de una gran cantidad de datos para que sea estadísticamente válida la estimación (Harlow y Downing 1967). Algunos factores, como el tipo de vegetación, el nivel de población, el alimento disponible y la interferencia en los caminos, pueden causar problemas en el conteo de huellas. Por otro lado, la mayoría de los caminos de terracería empleados comúnmente para el conteo de huellas no pueden ser seleccionados al azar (Mooty 1980). Se ha encontrado que la posición del transecto influye de manera importante sobre los datos obtenidos y que se debe conocer la tasa diaria de cruces de un animal por el transecto (Servin et al. 1987). La presencia de los caminos no debe tener efectos sobre la actividad de los animales (Tyson 1959). En algunas épocas del año los caminos sí atraen a los venados como sitios para comer (McCaffery y Creed 1969 citado en Mooty et al. 1984), por lo que se tiene que realizar el muestreo en épocas donde tengan poca influencia los caminos (Mooty et al. 1984).

## Método del Conteo de Grupos Fecales

### 1. Conceptos Generales.

El conteo de grupos de excrementos de venado fue usado inicialmente como un índice de abundancia (Burgoyne y Moss 1974). Sin embargo, los trabajos de Bennett et al. (1940) y Eberhardt y Van Etten (1956) modelaron la relación entre la densidad de grupos de excremento y el número de venados en un área, con el supuesto general de que la acumulación de los grupos fecales está relacionada con la densidad de la población. Este método es uno de los más ampliamente usados (Eberhardt y Van Etten 1956; Burgoyne y Moss 1974; Batcheler 1975; Mooty 1980; Freddy y Bowden 1983; Leopold y Krausman 1991). En México también ha sido de los más usados en bosques templados y matorrales xerófilos (Ezcurra y Gallina 1981; Mandujano y Hernández 1990; Medina et al. 1989; Gallina 1990; Gallina et al. 1991; Valenzuela 1991).

Los supuestos en que se basa este método para estimar la densidad, son que la tasa promedio de defecación es de 12.7 grupos de excrementos por individuo al día; se conoce el tiempo de depósito de los excrementos; los grupos fecales son correctamente identificados y ninguno es perdido en las parcelas de muestreo; y se tiene un tamaño y forma de parcela eficiente para obtener un conteo preciso (Eberhardt y Van Etten 1956; Smith 1968; Rysel 1971).

### 2. Modelo Basado en el Método de Conteo de Grupos Fecales.

**EBERHARDT-VAN ETTEN.** Para este método sólo existe el modelo de Eberhardt y Van Etten (1956). La fórmula para convertir número de grupos fecales a número de venados por hectárea es  $D = \frac{(NP)(PG)}{(TP)(12.7)}$ , donde NP es el número de parcelas de 9.3 m<sup>2</sup> en una hectárea, PG es el promedio de grupos de excremento por parcela, TP el tiempo de depósito de los excrementos y 12.7 la tasa de defecación.

### 3. Ventajas y Desventajas del Método de Conteo Fecales.

En general, el método es de rápida y fácil aplicación en el campo y se puede obtener una gran cantidad de datos sin afectar a los animales (Bennett et al. 1940; Jenkins y Marchinton 1969). El conteo de grupos fecales provee de datos persistentes de la presencia del venado por un período de tiempo, a comparación del conteo directo de animales o de sus huellas, los cuales dependen de la actividad del animal y pueden ser afectados por la presencia humana y las condiciones ambientales (Eberhardt y Van Etten 1956).

Algunos de los problemas que se han detectado asociados a este método, son el diferenciar distintos grupos cuando están juntos; diferenciar entre grupos viejos y nuevos; emplear la posición

del grupo sobre la hojarasca para determinar su edad; las pérdidas por la actividad de los escarabajos coprófagos y por lluvias; la baja visibilidad durante la época de lluvias; y la determinación de las áreas de muestreo (Wallmo et al. 1962; Van Etten y Bennett 1965; Neff 1968; Jenkins y Marchinton 1969; Wigley y Johnson 1981; Harestad y Bunnell 1987).

Uno de los factores más importantes para convertir número de grupos fecales a densidad de venados, es la determinación de la tasa de defecación (Neff 1968). El modelo de Eberhardt y Van Etten (1956) emplea una tasa promedio de 12.7 gpo/ind/día, con base en sus datos y el análisis de otras evidencias. Estos autores mencionan que la dieta no afecta de forma distinta la tasa de defecación de las crías y de los adultos. No obstante, hay otras evidencias que indican lo contrario. La tasa de defecación varía con el sexo y edad de los animales (Ryel 1971) y ésta aumenta si el forraje es suciento y de alta calidad (Neff 1968). Rogers (1987) encontró que la tasa de defecación difiere significativamente entre estaciones y con la dieta, obteniendo una tasa promedio de 34.0 gpo/ind/día. Sawyer et al. (1990) encontraron una tasa promedio de  $26.9 \pm 1.3$  gpo/ind/día para las hembras en un habitat templado, con un rango entre 13 y 53. En México sólo existe un trabajo en un matorral xerófilo, y se encontró una tasa promedio de 18.2 y 22.7 gpo /ind/día, para machos y hembras respectivamente, no habiendo variación en el tiempo (Dietrich et al. 1990).

## AREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la Estación de Biología "Chamela" de la Universidad Nacional Autónoma de México, situada en la costa suroeste del Estado de Jalisco a los 19°30'y 19°33' de Latitud Norte y 105°00' y 105°03' de Longitud Oeste, en el Municipio "La Huerta" (Figura 3). La Estación cubre un área de 1600 ha; presenta un rango altitudinal que va de los 30 a los 500 m.s.n.m. La región se caracteriza por su topografía irregular, la cual origina numerosos sistemas de pequeñas cuencas (Cervantes y Mass 1988). Al norte de la Estación corre el río San Nicolás y al sur el río Cuitzmala.

El clima es del tipo Aw(x'i), que es el más seco de los climas cálido subhúmedos (García 1973). La temperatura media anual es de 24.9°C, con los meses más calientes entre mayo y septiembre. Las temperaturas máximas y mínimas promedio del período 1977-1984, son de 29.1° a 32.0° y de 14.8° a 22.9°, respectivamente (Bullock 1986). La precipitación anual media es de 748 ± 119 mm, con el 80% de las lluvias entre julio y octubre. La dinámica de las lluvias originan dos épocas marcadas; la húmeda de julio a noviembre, y la seca de diciembre a junio (Bullock 1986).

La vegetación dominante es la selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio (Lott 1985; Lott et al. 1987). Se localiza en lomeríos con suelos someros, tiene una altura de 4 a 15 m, numerosas especies arbóreas pierden sus hojas durante la época seca y presenta un sotobosque bien desarrollado. Algunas de las especies más comunes son: *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Croton pseudoniveus* Lundell, *Lonchocarpus lanceolatus* Benth., *Caesalpinia eriostachys* Benth. (Lott 1985). También se encuentra la selva mediana subperennifolia o bosque tropical subperennifolio, la cual se desarrolla a lo largo de los arroyos principales, en los lugares protegidos sobre suelos profundos y tiene una altura de 10 a 25 m. Las especies arbóreas más frecuentes son: *Thouinidium decandrum* (Humb. & Bonpl.) Radlk., *Astronium graveolens* Jacq., *Brosimum alicastrum* Sw. y *Sideroxylon capiri* A. DC. (Lott 1985). Fuera de la Estación hay manglares, palmares y matorral espinoso secundario.

El trabajo se restringió a las partes bajas de la Estación y un área pequeña fuera de ésta. Particularmente, en el área adyacente al arroyo "El Zarco" y parte baja de "El Colorado", donde confluyen las cuencas hidrológicas 1 a 5 (ver Cervantes y Mass 1988). Esta área abarca aproximadamente de 500 a 600 ha.

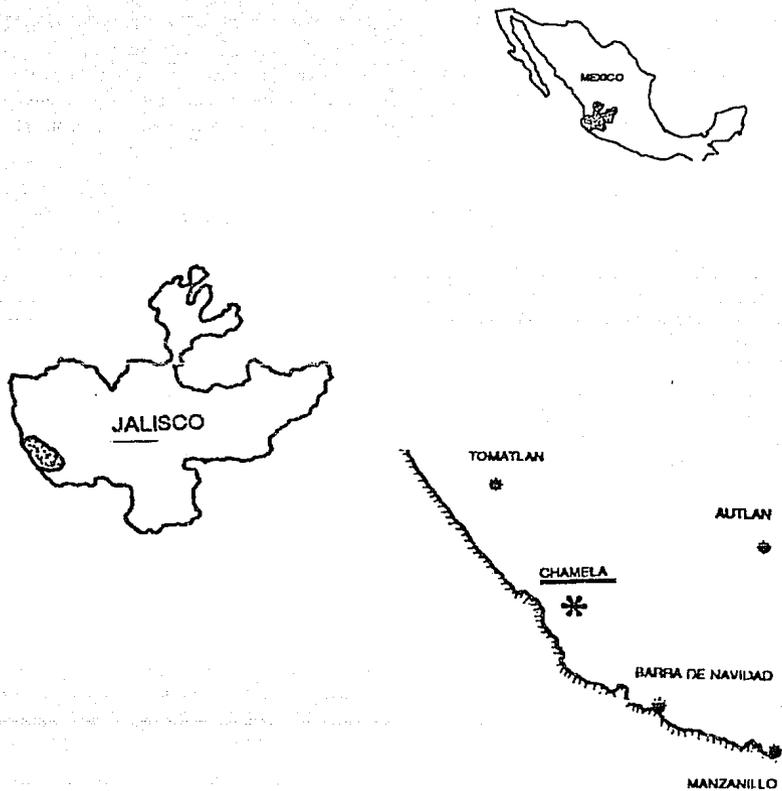


Figura 3. Ubicación geográfica de la Estación de Biología "Chamela", Jalisco, México.

## MÉTODOS

### Transecto para Cuento Directo

#### 1. Obtención de Datos.

Para el conteo directo de venados se empleó la metodología descrita por Anderson et al. (1979) y Burnham et al. (1980). La ubicación del transecto debe ser aleatoria. En el área de estudio esto es poco práctico, ya que por lo denso del sotobosque se tendrían que perturbar varios kilómetros de vegetación natural. Suponiendo que esto se hiciera, aún así habría otros inconvenientes que se reflejarían en datos sesgados. Esto se debe a que la vegetación sería sumamente densa aún sobre el transecto, por lo que la visibilidad baja y el ruido al pisar la hojarasca seca, tendrían como consecuencia que los venados que estuvieran sobre el transecto corrieran antes de ser detectados, lo cual violaría el supuesto "la probabilidad de detectar a los animales sobre el transecto debe ser igual a uno", el más crítico en este método. Esto fue comprobado cuando se colocaron los transectos para el conteo de grupos fecales. En esa ocasión, se escucharon varias veces venados caminando y corriendo delante del observador, sin ser vistos en ninguno de los casos. Por estas razones, se eligieron los caminos de terracería como transectos.

El transecto debe ser recto con el fin de que el centro siempre sea bien ubicado por el observador y así medir exactamente la distancia perpendicular del animal. Se consideró como centro del transecto la línea de vegetación que crece en medio del camino de terracería (v.gr. Schultz y Muncy 1957; Smith y Nydegger 1985). No obstante, el problema mayor lo representan las curvas de los caminos. Una opción sería subdividir el camino en transectos lo más recto posibles eliminando las partes con curvas (Escos y Alados 1988). Sin embargo, el número de observaciones no sería lo suficientemente grande, teniendo una gran cantidad de transectos cortos sin ninguna observación. Finalmente, aunque emplear los caminos como transectos tiene sus inconvenientes, se juzgó que la información obtenida en éstos sería menos sesgada.

Se utilizó un sólo transecto cuyo largo (L) para cada mes de muestreo es igual a  $L = \sum l_i$ , donde  $l_i$  es el largo del camino. Se trató de recorrer los caminos más largos, relativamente rectos y que no corran paralelos uno de otro a una distancia cercana. De 13.5 km de caminos disponibles en el área de estudio, menos de 11 km son los más adecuados para realizar los muestreos, específicamente los caminos llamados: "Eje Central", "Sur", "Norte", "Tejón", "Ardilla", "Calandria" y "Entrada". Durante la época de lluvias algunos de éstos no fueron recorridos en su totalidad debido a lo denso de la vegetación. Por lo tanto, el largo del transecto varió de un mes a otro.

Inicialmente, se realizaron algunos recorridos del transecto por la noche (1900-0100hrs); sin embargo, casi no se observaron venados. Esto se debió al ruido del motor del vehículo y a que la luz de las lámparas no penetra mucho la densa vegetación del sotobosque. Por tal motivo, se decidió eliminar esa hora de muestreo pues tiene limitaciones (McCullough 1982b). El transecto fue recorrido por una persona caminando a una velocidad aproximada de 3 km/hr, entre las 0700-1200 y entre las 1600-2000 hrs, de 2 a 5 veces en cada mes de muestreo. Los muestreos se llevaron a cabo durante la época lluviosa de 1989 (julio a diciembre) y durante la época seca de 1990 (enero a junio).

Cada vez que se observó un venado se midió la distancia perpendicular del animal al transecto, o el ángulo y distancia radial del animal al observador (ver Figura 1). En los casos en que se midió la distancia radial, se calculó la distancia perpendicular por medio de la relación  $x=r \cdot \text{Sen } \theta$ . En algunos casos no fue posible medir el punto exacto donde se encontraba el venado al momento inicial de su detección. Esto se debió a lo denso de la vegetación lo cual no permite, en todos los casos, observar al animal en el punto exacto donde estaba antes de iniciar su huida. El 36.7% de las observaciones sólo pudieron ser ubicadas dentro de un intervalo. Para poder emplear todas las observaciones en el cálculo de densidad, se tuvieron que agrupar el 100% dentro de cuatro clases con un rango de 10 m cada una, siendo: 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 m. No se observó ningún venado más allá de los 40 m. Las mediciones se hicieron con una cinta métrica o con un medidor óptico de distancias (\*Ranging Opti-Meter 120\*). Además, cuando se observó a un animal, se tomaron los siguientes datos: sexo y edad (cuando fue posible), ubicación en el transecto, hora, actividad y condiciones climáticas generales.

## 2. Análisis de Datos.

Este método requiere de un tamaño de muestra  $\geq 40$  observaciones por transecto. En ninguno de los meses fue satisfecho lo anterior. Esto se debió a la baja visibilidad a los lados del transecto y a lo corto del transecto. Con el fin de maximizar los datos obtenidos, siguiendo el criterio de Burnham et al. (1980, 1981), se agruparon las observaciones obtenidas en cada réplica de cada mes de muestreo. Así, la  $n$  para cada mes es igual al número de venados observados durante las réplicas en ese mismo mes (eliminando a todo animal repetido). Por esta razón se consideró el largo del transecto, para los cálculos de la densidad, como  $L \cdot R$ , donde  $L$  es largo y  $R$  el número de días que se recorrió el transecto. Esta forma de analizar los datos no tiene ningún efecto sobre la estimación (Burnham et al. 1981; Brennan y Block 1986).

Cada mes se consideró como una muestra independiente. Las estimaciones de la densidad por época se obtuvieron promediando los meses de julio a diciembre y de enero a marzo, tanto para la húmeda como para la seca, respectivamente. Para este caso los meses se consideraron como réplicas. La estimación anual se obtuvo promediando todos los meses.

Se emplearon 12 modelos para estimar la densidad poblacional: tres "Ad hoc" (FRYE, KELKER, y EMLÉN), tres no-paramétricos (COX, FOURIER y POLINOMIAL), tres paramétricos (EXPONENCIAL, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA) y tres de franja con distintos anchos, siendo estos de 10, 30 y 40 m (F-10, F-30 y F-40). Para estimar la densidad todos los modelos emplean la fórmula  $D = nf(0)/2L$ , donde el parámetro  $f(0)$  varía de uno a otro. Para calcular este parámetro para los modelos Fourier, Serie-Exponencial, Polinomial, Binomial-Negativa y Normal-Media, se empleó el programa para computadora TRANSECT con el procedimiento opcional de "datos sin truncar y agrupados" (Laake et al. 1979). Para los restantes, los cálculos se hicieron con calculadora programable.

Con el fin de visualizar las semejanzas entre los modelos, se realizó un análisis del agrupamiento de por medio del programa CLUSTER.BAS (Ludwing y Reynolds 1988), empleando la distancia Euclidiana absoluta con la opción de la estrategia flexible ( $\beta = -0.25$ ). La matriz empleada tiene las dimensiones: 12 modelos por 8 meses. Se aplicó una prueba de análisis de varianza para saber si había diferencias en las estimaciones de cada grupo de modelos y la prueba SNK (Student-Newman-Keuls) en caso de que el valor de F fuera significativo. Se aplicó la prueba de t-Student en cada modelo para saber si las estimaciones de la densidad son distintas entre la época húmeda y la seca.

Se obtuvo un índice promedio mensual de venados observados por kilómetro de recorrido (I), mediante la fórmula  $I = n/L$  (Brennan y Block 1986), donde  $n$  es el número de venados observados y  $L$  la distancia de recorrida (en kilómetros). El índice mensual medio se obtuvo promediando los índices de cada réplica. Para saber si las estimaciones de la densidad de cada modelo están relacionadas con el índice mensual, se realizó un análisis de correlación entre el índice (x) y la densidad (y) para cada modelo.

Se calculó el sesgo relativo de las estimaciones de los modelos, considerando las estimaciones del modelo de FOURIER como las menos sesgadas, por medio de la siguiente fórmula  $SR = (100)(D_1 - D_d)/D_d$  (Tilghman y Rusch 1981; Verner y Ritter 1988). Donde  $SR$  = sesgo relativo expresado en por ciento,  $D_1$  = densidad de cada modelo en el período-i,  $D_d$  = densidad del modelo FOURIER en el período-i, e  $i$  = período húmedo, seco o anual.

Se aplicó la razón varianza/media y la prueba de  $X^2$  para saber si la distribución del número de individuos por manada sigue un patrón aleatorio o distinto de éste, mediante el programa POISSON.BAS (Ludwing y Reynolds 1988). Para saber si el tamaño de las manadas de venados afecta la estimación de la densidad, se prosiguió a analizar los datos de la siguiente manera: se obtuvo una estimación del tamaño medio de los grupos en términos mensuales; se consideró a cada grupo como la unidad de observación; se estimó la densidad de grupos de venados por superficie, con el modelo de Fourier; y se multiplicó esta densidad de grupos por el tamaño medio del grupo (Burnham et al. 1980, 1981; Quinn 1981; White et al. 1989). Para saber si había diferencias entre la estimación obtenida con este procedimiento y la obtenida con el procedimiento inicial (considerar a cada individuo como unidad), se compararon las medias con una prueba de t-Student.

## Transecto para Conteo de Huellas

### 1. Obtención de Datos.

Para el conteo de huellas se empleó básicamente la metodología descrita por Daniel y Frels (1971). Se colocaron transectos de franja para el conteo de huellas a lo largo de los caminos de terracería, específicamente los caminos: "Eje Central", "Sur", "Norte", "Calandria", "Tejón" y "Ardilla". Dado que el largo y ancho de los caminos de terracería varía, y además porque existen partes dentro de un mismo camino donde la impresión de huellas es poco probable (terreno rocoso, tierra muy compacta, etc.), se decidió estandarizar el largo y ancho del transecto de franja. Con base en recorridos previos durante junio y agosto de 1989, se eligió un largo de 500 m por un ancho de 0.90 m.

El número de transectos por camino varió dependiendo del largo del camino, la época del año y la actividad humana sobre los mismos. En principio, se trató de ubicar el mayor número de transectos. No se puso ningún transecto cuando dos caminos estaban muy juntos y se eliminaron los caminos de corta distancia y muy juntos unos de otros. Lo anterior se hizo con la finalidad de evitar que un mismo animal cruzara y dejara huellas en dos caminos distintos el mismo día. De 27 transectos probables de 500 m (13.5 km de caminos), sólo 10 transectos son los adecuados para realizar los muestreos con este método.

Un día antes del conteo de huellas, se barrieron los transectos para eliminar la hojarasca, remover la tierra para permitir una mejor impresión y borrar toda huella vieja que pudiera haber. Al día siguiente, después de un período de 20 a 24 horas, se revisaron los transectos por una persona entre las 0700-1100 hrs. Cuando se detectaron huellas se tomaron los siguientes datos: tamaño de la huella (largo y ancho), distancia del paso entre huellas, dirección y número de animales cuando más de una serie de huellas se encontraban muy juntas. Se contó como un sólo individuo cuando aparecían las huellas continuas y tenían las mismas características. Inmediatamente se borran las huellas.

Se realizaron muestreos durante la época seca (enero y junio de 1990) y en la húmeda (noviembre 1989 y agosto 1990). En noviembre, enero y agosto los transectos se revisaron durante dos días consecutivos. En junio se aumentó a cinco el número de días de revisión.

### 2. Análisis de Datos.

Se emplearon los modelos de Tyson (1959) y de Daniel y Frels (1971) para convertir el número de huellas a densidad de venados. El modelo de Tyson modificado para obtener la densidad en unidades métricas, es:  $D = (NH / ((NT \cdot 0.5) / 1.6)) / (2.56)$ , donde  $D$  es la densidad de venados por  $km^2$ ,  $NH$  el número total de huellas contadas y  $NT$  el número total de transectos de 500 m

muestreados. Para el modelo de Daniel y Frels la fórmula modificada para obtener la densidad está dada por  $D=100/SV$ , donde  $SV=54/((NH/NT \cdot 2)/3)$ .

Se obtuvo una estimación de la densidad para cada día de muestreo en los diferentes meses, luego se promediaron para obtener la estimación mensual. Cada mes se consideró como una muestra independiente. Las estimaciones de la densidad por época se obtuvieron promediando los meses de enero y junio, y de noviembre y agosto, tanto para la época seca como para la húmeda, respectivamente. Para este caso los meses se consideraron como réplicas. La estimación anual se obtuvo promediando todos los meses. Se aplicó un análisis de varianza de dos vías para saber si la densidad varía entre días en un mismo mes y entre meses, en los casos donde el valor de F fue significativo, se aplicó la prueba SNK de comparación de medias "a posteriori". Se aplicó la prueba de t-Student para saber si hay diferencias entre las épocas húmeda y seca en cada modelo y para saber si hay diferencias entre modelos.

Se obtuvo un índice promedio mensual de huellas por transecto (I), mediante la fórmula  $I = n/NT$ , donde n es el número de huellas contadas y NT el número de transectos muestreados. El índice medio mensual se obtuvo promediando los índices de cada réplica.

### Transecto para Conteo de Grupos Fecales

#### **1. Obtención de Datos.**

Para el conteo de grupos fecales se empleó la metodología descrita por Ezcurra y Gallina (1981) y Gallina (1990). El largo de cada transecto fue de 400 m. Los transectos se colocaron en dirección al azar y alejados uno de otro lo más posible abarcando las 500 ha del área intensiva de estudio. Se colocaron seis transectos con 40 parcelas de 9.3 m<sup>2</sup> cada una. Las parcelas fueron ubicadas a intervalos de 10 m. Con el fin de controlar el tiempo de depósito de los grupos fecales, en marzo de 1990 se marcaron y limpiaron todas las parcelas de cada transecto. En junio de 1990 se volvieron a revisar todos los transectos para cortar y coleccionar los excrementos. El tiempo de depósito de los excrementos se conoció para cada transecto. Cada grupo fue definido como 5 ó más bolitas con las mismas características. Las observaciones se realizaron en días sucesivos por dos personas entre las 0800-1400 hrs.

El tiempo promedio de depósito de los excrementos coleccionados en mayo fue de 83.2 días. Por otro lado, el tiempo de depósito de los excrementos que se coleccionaron en marzo no pudo ser determinado de manera exacta, sólo se pudo obtener una aproximación. La última lluvia importante (> 10 mm) en Chamela fue en diciembre de 1989, después de la cual sólo hubo lluvias muy ligeras, las cuales no eliminan los grupos de excrementos. La caída de hojas está determinada por la intensidad y distribución de los días con lluvia (Cervantes y Mass 1988). En 1989 los árboles

comenzaron a perder sus hojas en noviembre; sin embargo, la pérdida es gradual a lo largo de los meses secos, de tal forma que en marzo todavía hubo árboles que estaban tirando hojas. Por lo cual, es inexacto definir el tiempo de permanencia de los excrementos en función de las caídas de hojas, ya que excrementos nuevos pudieron haber quedado ocultos casi en marzo. La actividad de los escarabajos coprófagos pudiera tener un efecto importante en la pérdida de grupos de excrementos en noviembre y diciembre, ya que todavía se observaron insectos activos. Por lo tanto, el tiempo de permanencia de los excrementos colectados en el mes de marzo debe tomarse con mucha cautela. Para efectos de obtener una estimación en este período, sólo se consideraron los excrementos relativamente recientes, desechando los que se veían viejos (a juzgar por su textura, dureza y color). El tiempo de depósito estimado fue de aproximadamente 90 días.

## 2. Análisis de Datos.

Para este método se empleó el modelo de Eberhardt y Van Etten (1956). La fórmula para convertir número de grupos fecales a número de venados por hectárea es:  $D = (1076.4 \cdot PG) / (TP \cdot TD)$ , donde 1076.4 es el número de parcelas de 9.3m<sup>2</sup> en una hectárea, PG es el promedio de grupos de excremento por parcela, TP el tiempo de depósito de los excrementos y TD la tasa de defecación. Se emplearon 4 tasas de defecación 12.7, 20.9, 26.9 y 34.0 grupos/ind./día. Cada variación será referida como un modelo distinto: T-13, T-21, T-27 y T-34, respectivamente.

Para saber si la distribución de los grupos fecales en las parcelas tiene un patrón aleatorio, se aplicó el modelo de Poisson por medio del programa POISSON.BAS (Ludwing y Reynolds 1988). En los casos en que el valor de  $X^2$  fue significativo, se aplicó el modelo de la binomial negativa por medio del programa BINONEG.BAS (Ludwing y Reynolds 1988). Se calculó el error estándar para cada período por medio de la fórmula:  $Se = \sqrt{(X + X^2/k)/n}$ , donde X es el promedio de grupos fecales por parcela, k el coeficiente de la binomial negativa y n el número de parcelas (Ezcurra y Gallina 1981). Se aplicó un análisis de varianzas para las estimaciones de los modelos y la prueba SNK para comparación de medias. La prueba t-Student se usó para comparar las épocas húmeda y seca, en cada modelo.

Se obtuvo un índice promedio de número de grupos fecales por transecto (I), mediante la fórmula  $I = n/T$ , donde n es el número de grupos fecales contados en el transecto y T el número de parcelas por transecto.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Conteo Directo de Venados

#### 1. Base de Datos.

Se tuvo un total de 109 observaciones de venados en 234.4 km de recorridos repartidos en ocho meses (Cuadro 1). El promedio de venados detectados por kilómetro de recorrido (índice) fue de  $0.46 \pm 0.11$ . El número de venados vistos no necesariamente aumenta si se recorre más veces el transecto. Por ejemplo, en agosto se recorrieron 6.4 km tres veces y se observaron 11 venados, mientras que en diciembre se observaron 12 animales en 6.8 km recorridos cinco veces. El número de venados observados puede diferir si se recorre la misma distancia el mismo número de veces. Por ejemplo, en enero se recorrieron cuatro veces 9.4 km y se vieron 12 animales, mientras que en marzo se observaron 21 venados en 9.2 km recorridos cuatro veces.

Cuadro 1. Largo del transecto en metros (L), número de réplicas (R), número de venados observados (N) y el índice de venados por kilómetro de recorrido, durante cada mes de muestreo. Media (X), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación en porcentaje (CV).

MES	AÑO	EPOCA	L	R	L-R	N	INDICE		
							X	DE	CV
JUL	1989	HUMEDA	10050	2	20100	7	0.35	0.05	14.3
AGO	1989	HUMEDA	6370	3	19100	11	0.58	0.17	29.3
OCT	1989	HUMEDA	7300	4	29200	13	0.45	0.13	28.9
NOV	1989	HUMEDA	8450	3	25350	9	0.36	0.21	58.3
DIC	1989	HUMEDA	6750	5	26900	12	0.42	0.41	97.6
ENE	1990	SECA	9425	4	37700	12	0.32	0.07	21.9
MAR	1990	SECA	9200	4	36800	21	0.57	0.23	40.4
JUN	1990	SECA	9800	4	39200	24	0.63	0.44	69.8

Por otro lado, se observó que si se recorre más de cuatro veces el transecto en un mismo mes, aumenta la posibilidad de contar al mismo animal más de dos veces en días consecutivos y

violiar el supuesto "ningún animal debe ser contado dos veces". Inclusive, en algunos casos se observaron a los mismos animales (a juzgar por el sexo, edad y ubicación en los caminos) entre el primero y cuarto día de muestreo en un mismo mes. Por lo cual, para fines del cálculo de la densidad mensual se tuvieron que eliminar las observaciones de animales repetidos. Particularmente, en el Cuadro 2 se presenta el número de venados vistos en cada intervalo de clase.

Cuadro 2. Número de venados vistos en cada intervalo de clase de las distancias perpendiculares al transecto durante cada mes de muestreo.

MES	INTERVALO (m)				TOTAL
	0-10	10-20	20-30	30-40	
JUL-89	4	2	1	0	7
AGO-89	7	0	3	1	11
OCT-89	9	1	3	0	13
NOV-89	6	2	1	0	9
DIC-89	5	1	3	3	12
ENE-90	5	4	1	2	12
MAR-90	16	3	1	1	21
JUN-90	13	4	5	2	24

El número de observaciones es mayor en el intervalo 0-10 m, después del cual decrecen rápidamente (Figura 4). Era de esperarse que esta disminución fuera gradual; sin embargo, para la época húmeda se observaron más venados en el intervalo 20-30 m que en el de 10-20 m. Para ambas épocas, después de los 40 m perpendiculares al transecto no se observó ningún venado debido a lo denso de la vegetación y a la topografía irregular de la zona. Este efecto fue más notorio durante la época húmeda. Los pocos venados vistos a más de 30 m fueron detectados en claros donde es relativamente fácil su observación. Por lo tanto, se decidió "a posteriori" que el ancho máximo del transecto sería de 40 m a cada lado. Es necesario mencionar que esto no significa que a todo lo largo del transecto se puede observar al 100% de los venados sin ningún problema hasta 40 m a cada lado, aspecto que tiene relevancia definitiva en los modelos de franja.

Se observó que los venados se alejan del observador al menos en dos formas. Si el animal es detectado primero por el observador, normalmente huye asustado levantando la cola y resoplando fuerte, y puede ser relativamente fácil ubicar al animal para medir la distancia de éste al transecto. Si el animal percibe primero al observador se pone nervioso, comienza a alejarse caminando, golpeando secuencialmente con las patas delanteras el suelo, y luego inicia la carrera

de huida. Esta última forma de responder al observador puede ser la causa de que haya más observaciones en el intervalo 20-30 que en el 10-20 en la época húmeda, ya que el observador muchas veces no detecta al venado sino hasta que éste inicia la huida rápida.

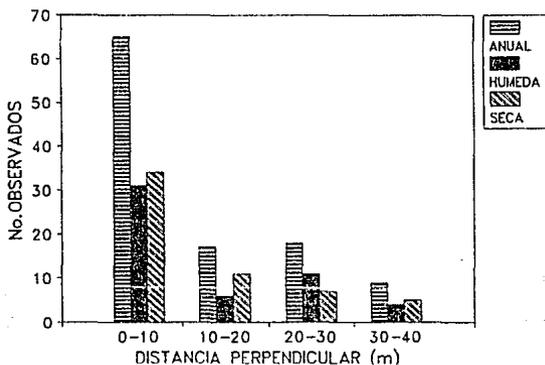


Figura 4. Curvas de detección de los venados en las épocas húmeda y seca, y en términos anuales.

## 2. Estimación de la Densidad por los Diferentes Modelos.

Las estimaciones de la densidad fluctuaron de 4.0 a 35.7 ind/km<sup>2</sup> dependiendo del modelo y mes de muestreo (Cuadro 3). Para los modelos "ad hoc", la densidad varió de 5.2 a 15.5 ind/km<sup>2</sup>. Para los modelos no paramétricos las estimaciones tuvieron un rango de 5.6 a 33.0 ind/km<sup>2</sup>. Para los modelos paramétricos las estimaciones variaron entre 5.3 y 35.7 ind/km<sup>2</sup>. En cuanto a los modelos de franja, la densidad varió entre 4.0 y 21.7 ind/km<sup>2</sup>. En el Apéndice 1 se sintetizan los valores que son necesarios para la estimación de la densidad en cada modelo, así como las fórmulas específicas empleadas en cada uno de ellos.

Con base en la similitud de la densidades, los modelos se agruparon en tres grupos (Figura 5). El grupo I, EMLN, KELKER, F30, F40 y EXPONENCIAL, dio la estimación más baja ( $7.5 \pm 2.1$  ind/km<sup>2</sup>); el grupo III, POLINOMIAL y BINOMIAL-NEGATIVA, la estimación más alta ( $19.0 \pm 8.1$  ind/km<sup>2</sup>); y el grupo II, COX, F-10, FRYE, FOURIER, y NORMAL-MEDIA, intermedia entre los dos grupos anteriores ( $12.1 \pm 4.4$  ind/km<sup>2</sup>). Se encontró diferencia significativa entre las estimaciones de cada grupo (ANOVA,  $F=37.701$ ,  $gl=2$  y  $93$ ,  $p<0.01$ ); siendo las densidades diferentes entre los grupos (SNK,  $p<0.01$ ).

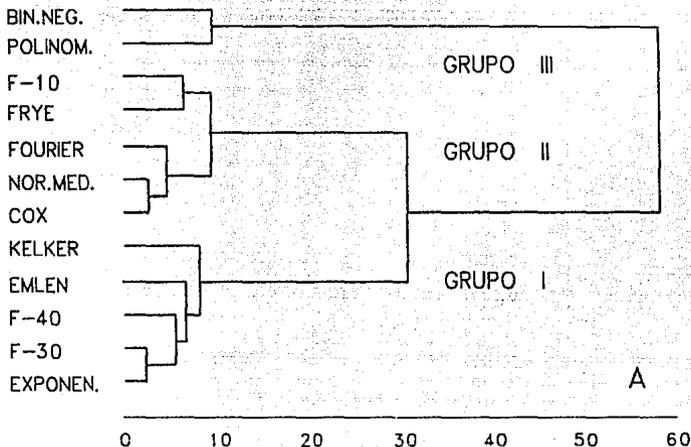


Figura 5. Dendrograma de los doce modelos basados en el método de conteo directo de venados en transectos, por medio del análisis de agrupamiento con la distancia Euclidiana absoluta.

Se obtuvo una tendencia anual de un primer pico máximo en la densidad entre agosto y octubre, un mínimo entre noviembre y enero, y un segundo pico máximo de marzo a junio (Figura 6). Las estimaciones de la densidad obtenida por cada modelo no difieren entre la época húmeda y la época seca, esto se debe a que todos los modelos tienen estimaciones variables para cada época (Cuadro 4).

La variación en las estimaciones (medida por el coeficiente de variación) en todos los modelos, es mayor en la época seca ( $x = 35.6 \pm 9.1\%$ , rango=18 al 53%) en comparación a la húmeda ( $x = 18.8 \pm 6.7\%$ , rango=9 al 30%). Particularmente, el CV varía de un modelo a otro, los modelos de FRYE, KELKER, EMLN, COX, F-10, F-30 y F-40, dan las estimaciones más variables, siendo el promedio anual de sus CV=30.8  $\pm$  5.4% (rango=25 al 38%). Por otro lado, los modelos FOURIER, POLINOMIAL, EXPONENCIAL, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA, dan estimaciones menos variables, siendo el promedio anual de sus CV=14.2  $\pm$  2.8% (rango=9 al 17%).

Cuadro 3. Estimaciones de la densidad (ind/l/m<sup>2</sup>) de venados por medio de los modelos "ad-hoc" (FRYE, KEKLER y EMLEN), no paramétricos (COX, FOURIER y POLINOMIAL), paramétricos (EXPONENCIAL, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA) y de franja (F-10, F-30 y F-40). Densidad (D), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación en porcentaje (CV).

MES		FRYE	KELKER	E/EMLEN	COX	FOURIER	POLINO- MIAL	EXPO- NENCIAL	BINOMIAL NEGATIVA	NORMAL MEDIA	F-10	F-30	F-40
JUL-89		8.5	7.5	6.4	10.6	9.7	11.0	5.8	17.6	11.0	10.0	5.8	4.4
AGO-89		15.5	9.2	10.6	11.1	12.2	23.5	9.5	21.5	13.0	18.3	8.7	7.2
OCT-89		13.1	8.6	8.2	11.6	11.8	20.7	7.3	23.4	13.6	15.4	7.4	5.6
NOV-89		10.0	7.9	6.5	11.3	11.3	15.4	5.9	20.9	12.5	11.8	5.9	4.4
DIC-89		7.9	5.6	8.2	5.6	6.4	9.3	7.4	10.0	6.8	9.3	5.6	5.6
ENE-90		5.2	6.0	5.9	7.6	6.3	8.9	5.3	9.6	6.4	6.6	4.4	4.0
MAR-90		18.2	12.9	10.5	18.7	22.2	33.0	9.4	35.7	19.7	21.7	9.1	7.1
JUN-90		14.1	10.8	11.3	14.0	13.4	21.1	10.1	22.7	14.2	16.6	9.4	7.7
HUMEDA	D	11.0	7.8	8.0	10.0	10.3	16.0	7.2	18.7	11.4	13.0	6.7	5.4
	DE	3.2	1.4	1.7	2.5	1.1	2.7	0.6	2.5	1.3	3.8	1.3	1.2
	CV	29.5	17.7	21.4	25.0	10.6	16.7	8.8	13.4	11.3	29.5	20.0	21.2
SECA	D	12.5	9.9	9.2	13.4	14.0	20.9	8.3	22.7	13.4	15.0	7.6	6.3
	DE	6.6	3.5	2.9	5.6	4.6	6.9	1.5	7.5	3.8	7.7	2.8	2.0
	CV	53.2	35.7	31.6	41.5	32.9	32.9	18.3	33.1	28.7	51.3	36.7	31.7
ANUAL	D	11.7	8.6	8.5	11.3	12.0	18.3	7.6	20.2	12.2	13.7	7.0	5.8
	DE	4.7	2.3	2.2	3.8	1.9	3.1	0.7	3.2	1.6	5.4	2.0	1.5
	CV	38.0	28.3	25.1	34.9	16.1	16.9	9.1	15.5	13.3	37.4	26.6	25.0

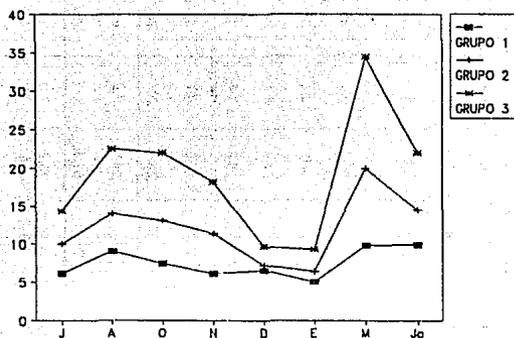


Figura 6. Fluctuación de las estimaciones de la densidad a lo largo del año en cada grupo de modelos obtenidos del análisis de agrupamiento.

Cuadro 4. Pruebas de significancia entre las estimaciones de la época húmeda y la época seca, para cada modelo.

MODELO	t	gl	p
FRYE	0.441	6	0.67
KELKER	1.258	6	0.26
EMLN	0.786	6	0.46
COX	1.218	6	0.27
FOURIER	1.012	6	0.35
POLINOMIAL	0.804	6	0.45
EXPONENCIAL	0.769	6	0.47
BINOMIAL-NEGATIVA	0.629	6	0.55
NORMAL-MEDIA	0.631	6	0.55
F-10	0.507	6	0.63
F-30	0.669	6	0.53
F-40	0.763	6	0.47

### 3. Relación del Índice de Observación con los Modelos.

Las estimaciones de los modelos EMLN, EXPONENCIAL, F-30, F-40, FRYE, F-10, KELKER y POLINOMIAL se correlacionaron significativamente ( $p < 0.05$ ) con el índice de observación directa (Cuadro 5). No se encontró correlación ( $p > 0.05$ ) entre el índice y los modelos de COX, FOURIER, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA.

El hecho de que no se haya encontrado una correlación entre el índice y las estimaciones de los modelos COX, FOURIER, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA, significa que no fluctúan del mismo modo una y otra variable, a través del año. Esto es importante, ya que el índice está influenciado por la actividad de los venados a lo largo del año (ver sección 5 página 39). Entonces, es deseable que el modelo utilizado para estimar la densidad no sea afectado mucho por este aspecto.

Cuadro 5. Correlaciones entre el índice de observación directa (x) y la densidad (y) de cada modelo.  
ns= no significativa; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

MODELO	ECUACION	r	gl	p
FRYE	$y = -3.1 + 31.9x$	0.87	6	**
KELKER	$y = 1.1 + 16.1x$	0.79	6	*
EMLN	$y = 0.3 + 17.8x$	0.99	6	**
COX	$y = 1.7 + 20.9x$	0.63	6	ns
FOURIER	$y = -1.1 + 27.6x$	0.66	6	ns
POLINOMIAL	$y = -7.6 + 55.3x$	0.79	6	*
EXPONENCIAL	$y = 0.4 + 15.7x$	0.99	6	**
BIN-NEGATIVA	$y = -0.1 + 44.2x$	0.63	6	ns
NOR-MEDIA	$y = 1.1 + 24.1x$	0.67	6	ns
F-10	$y = -3.4 + 37.2x$	0.86	6	**
F-30	$y = 0.1 + 15.2x$	0.96	6	**
F-40	$y = 0.2 + 12.0x$	0.99	6	**

### 4. Ajuste de los Modelos a las Curvas de Detección Mensuales.

A excepción del modelo EXPONENCIAL, en el que casi para todos los meses la probabilidad es significativa (i.e., el modelo no se ajusta a los datos observados), las curvas de detección mensuales se ajustan a los demás modelos (Cuadro 6). Por lo tanto, las pruebas de  $X^2$  no sirven para decidir cuál es el modelo más adecuado, ya que las curvas se ajustan a diferentes modelos y

éstos, a su vez, dan estimaciones de la densidad que son distintas. Burnham et al. (1980) y White et al. (1989) encontraron que la prueba  $\chi^2$  no es del todo adecuada para el método de transecto, ya que el valor de  $\chi^2$  se ve afectado dependiendo del número de clases en que se agrupan los datos. Si se agrupan las observaciones en pocos intervalos de clases (<7), se incrementa la varianza y tiende a reducir la potencia de la prueba de  $\chi^2$  y puede suceder que la curva de detección se ajuste a distintos modelos. Este parece ser el caso de los resultados en el presente trabajo.

Cuadro 6. Pruebas  $\chi^2$  de bondad de ajuste de los modelos FOURIER, POLINOMIAL, EXPONENCIAL, BINOMIAL-NEGATIVA y NORMAL-MEDIA, en los diferentes meses.

MES	FOURIER		POLINOMIAL		EXPONEN.		BINON-NEG.		NORM-MED.	
	$\chi^2$	p	$\chi^2$	p	$\chi^2$	p	$\chi^2$	p	$\chi^2$	p
JUL	0.15	0.93	0.30	0.58	3.47	0.06	0.76	0.68	0.30	0.86
AGO	5.36	0.06	5.77	0.02	7.88	0.01	5.24	0.07	5.28	0.07
OCT	4.41	0.11	5.42	0.02	11.5	0.00	5.62	0.06	5.10	0.08
NOV	0.74	0.69	0.41	0.52	6.59	0.01	0.56	0.76	0.51	0.77
DIC	2.30	0.32	2.02	0.15	2.11	0.15	2.10	0.35	2.18	0.34
ENE	1.07	0.59	0.60	0.44	2.06	0.15	0.63	0.73	0.84	0.66
MAR	0.01	0.00	1.48	0.22	21.9	0.00	1.03	0.60	5.98	0.05
JUN	2.73	0.25	1.98	0.16	7.43	0.01	2.43	0.30	2.56	0.28

##### 5. Sesgo Relativo de los Modelos.

En términos anuales se tiene que los modelos de FRYE, COX y NORMAL-MEDIA, dan estimaciones entre un -6 a un +3% en relación a la de FOURIER (Cuadro 7). Por época, estos modelos tienen un sesgo un poco más variable, siendo el de COX el menos sesgado con relación al de FOURIER. Los modelos de KELKER, EMLÉN, EXPONENCIAL, F30 y F40 dan estimaciones, en términos anuales, con un sesgo entre -28 al -52%. Estos modelos tienden a subestimar la densidad en cualquier época. Por el contrario, los modelos POLINOMIAL, BINOMIAL-NEGATIVA y F10 dan estimaciones en términos anuales de entre un +14 a +72% con respecto al de FOURIER. De éstos tres, los dos primeros son los que sobrestiman la densidad en mayor magnitud en cualquier época.

Cuadro 7. Sesgo relativo (en porcentaje) de las estimaciones de la densidad de venados obtenidos con los modelos: FRYE, KELKER, EMLÉN, COX, POLINOMIAL, EXPONENCIAL, BINOMIAL-NEGATIVA, NORMAL-MEDIA, F-10, F-30 y F-40, con respecto al modelo de FOURIER en los distintos períodos.

MODELO	EPOCA		
	HUMEDA	SECA	ANUAL
FRYE	6.8	-10.7	-3.3
KELKER	-24.3	-29.3	-28.3
EMLÉN	-22.3	-34.3	-29.2
COX	-2.9	-4.3	-5.8
POLINOMIAL	55.3	49.3	52.5
EXPONENCIAL	-30.1	-40.7	-35.8
BINOMIAL-NEG	81.6	62.1	71.7
NORMAL-MEDIA	10.7	-4.3	2.5
FRANJA-10	26.2	7.1	14.2
FRANJA-30	-35.0	-45.7	-41.7
FRANJA-40	-47.6	-55.0	-51.7

#### 8. Efecto de la Ubicación del Transecto sobre las Estimaciones.

La ubicación de los transectos debe ser aleatoria. En este estudio, los transectos fueron los caminos de terracería y éstos no están aleatoriamente en el habitat. Un aspecto importante es que el transecto pueda no estar al azar mientras que los animales si lo estén con respecto al transecto (Burnham et al. 1980). Si los caminos tienen algún efecto sobre el patrón de uso del habitat por parte de este ungulado, entonces habrá sesgo en la estimación.

Es relativamente común ver venados sobre los caminos. Esto es un aspecto probabilístico, pues la mayor visibilidad sobre el camino y que el observador está más tiempo sobre éstos, incrementan la probabilidad que se vean venados con mayor frecuencia sobre los caminos que fuera de éstos, sin que signifique necesariamente que el venado utilice más tiempo los caminos. Los venados no usan los caminos para desplazarse de un lugar a otro por un trecho largo. Normalmente, cruzan los caminos, y en algunos casos caminan sobre éstos por trechos cortos 20-30 m.

Un uso muy importante que hacen de los caminos es para comer. Es conocido que el venado es un animal que se beneficia con los efectos de bordes en el habitat (Towry 1984). Los caminos en Chamela crean un efecto de borde en el habitat. Dado que para mantenerlos transitables, temporalmente se corta la vegetación que crece sobre éstos, se propicia que haya

rebotes de numerosas plantas las cuales son consumidas por este herbívoro. Este efecto es más notorio en la época de lluvias, cuando hay la mayor biomasa vegetal en el sotobosque. Durante la época seca, prácticamente no hay plantas vivas sobre el camino y se ve con menor frecuencia venados comiendo en éstos. Por ejemplo, en Barro Colorado, Panamá, los venados temazates (*Mazama americana*, Erxleben) se ven frecuentemente sobre los caminos pues concentran sus actividades de forrajeo y traslado sobre éstos, lo cual aumenta la probabilidad de que se les vea (Glanz 1982). Por lo tanto, un aspecto fundamental que incide sobre la estimación de la densidad es conocer la proporción de individuos de la población que usan los caminos para comer y el tiempo que invierten sobre los caminos. Estos aspectos pueden ser contestados de manera más precisa por medio de radioteleetría (Eberhardt 1968, 1990; Floyd et al. 1979; Servín et al. 1987). No obstante, las observaciones hechas durante el estudio permiten hacer algunas conjeturas al respecto.

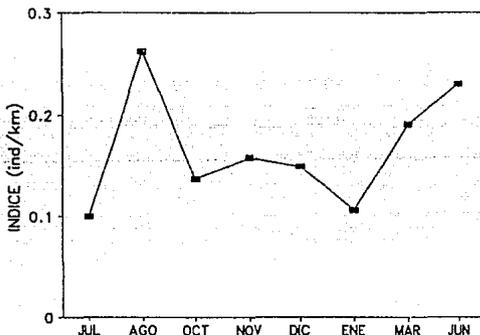


Figura 7. Índice del número de venados observados sobre los caminos a lo largo del año.

Si se considera sólo a los animales que estaban sobre el camino al ser detectados, se puede obtener un índice de actividad de venados sobre el camino para cada mes (Figura 7). Se puede apreciar que hay dos picos máximos de actividad sobre los caminos, uno en agosto y el otro en junio. En agosto, época de lluvias y de alta biomasa disponible, los venados son atraídos al camino. En junio, aunque los venados se ven mucho, la mayoría de las veces no es comiendo sino cruzando. Aparentemente, en los demás meses son atraídos menos hacia los caminos para comer (aunque se requiere de más información para corroborar esto). Por lo tanto, los caminos sí tienen algún efecto de atracción, pero la intensidad de la atracción varía a lo largo del tiempo. Entonces, es de esperarse que las estimaciones de la densidad estén sesgadas positivamente (sobrestimadas) en algunos meses y subestimada en otros. Por lo cual, es recomendable obtener una estimación por

época para compensar este efecto.

Por otro lado, se trató de diferenciar a los distintos individuos que utilizan regularmente los caminos, con base en su observación constante en el mismo lugar en los caminos, sus características (sexo, edad, color del pelaje, u otro) y con la frecuencia que aparecen huellas en un mismo lugar en los transectos (ver sección 1 página 46). El resultado que se obtuvo fue que aproximadamente 30 individuos son los que usan los caminos. Si se considera una densidad promedio de  $12.0 \pm 1.9$  ind/km<sup>2</sup> (FOURIER), en las 500 ha que abarca el área intensiva de estudio, se tendría un número total de 40 a 50 venados. Esto significaría que de un 60% al 75% de la población usan los caminos (para comer o lo cruzan simplemente). Obviamente, este análisis es tautológico, ya que la estimación de la densidad se basa en los venados observados, lo cual lo hace un análisis "vicioso". Marcando a los individuos se podría conocer de manera más exacta la frecuencia y el tipo de uso que le dan a los caminos.

#### 7. Efecto del Tamaño de las Manadas sobre las Estimaciones.

La razón  $s^2/x$  indica que el número de venados por grupo tiende a estar distribuido en forma regular en todos los meses (i.e.,  $s^2/x < 1$ ), a excepción de octubre (Cuadro 8). El patrón básico en Chamela es el de un individuo solitario (más del 50% de las observaciones), y sólo las hembras forman grupos familiares de una ó 2 crías nacidas ese mismo año y a veces una cría hembra del año pasado. Sólo en dos ocasiones se vieron grupos de 3 y 4 individuos adultos de ambos sexos durante la época de apareamiento. A diferencia de otras áreas, en Chamela no se observaron grupos formados por machos jóvenes o hembras adultas con sus crías.

Cuadro 8. Número de observaciones de venados solitarios y por grupo, tamaño promedio del grupo, patrón de dispersión y prueba de chi cuadrado, para cada mes de muestreo.  
ns= no significativo; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

MES	No.IND./GRUPO				x	RAZON			gl	p
	1	2	3	≥4		S <sup>2</sup> /x	X <sup>2</sup>			
JUL-89	5	1	0	0	1.17	0.12	6.250	2	*	
AGO-89	8	0	1	0	1.22	0.32	11.99	3	*	
OCT-89	4	1	1	1	1.86	0.68	4.110	4	ns	
NOV-89	6	0	1	0	1.29	0.38	8.927	3	*	
DIC-89	6	0	2	0	1.50	0.50	9.430	3	*	
ENE-90	7	1	1	0	1.33	0.33	8.031	3	*	
MAR-90	13	1	2	0	1.31	0.35	16.63	3	**	
JUN-90	17	2	1	0	1.20	0.22	21.47	3	**	

El tamaño medio de grupo fue de  $1.41 \pm 0.3$  y  $1.28 \pm 0.1$  para las épocas húmeda y seca, respectivamente. Estos promedios no son significativamente distintos ( $t=0.756$ ,  $gl=6$ ,  $p>0.05$ ). Por lo tanto, en Chamela se tiene un tamaño promedio anual de individuos por grupo de  $1.36 \pm 0.2$ . ¿Este tamaño de agrupamiento influye sobre la estimación de la densidad por medio del método de transecto de línea? Para responder ésto, se prosiguió a estimar por medio del modelo de FOURIER la densidad de grupos por  $km^2$ . Posteriormente este resultado se multiplicó por el promedio de venados por grupo (Cuadro 9).

Aunque la densidad estimada por este procedimiento ( $10.5 \pm 3.0$ ) es ligeramente menor a la obtenida con el modelo FOURIER, estadísticamente no son distintas ( $t=0.478$ ,  $gl=14$ ,  $p>0.05$ ). Por lo tanto, parece ser que el tamaño promedio de venados por grupo en Chamela no tiene un efecto severo sobre la estimación de la densidad con el método de conteo directo en transectos.

Cuadro 9. Estimación de la densidad ( $ind/km^2$ ), empleando el doble procedimiento de estimar primero la densidad de grupos y luego multiplicarla por el tamaño medio de grupo. En el último renglón se muestra la densidad obtenida con el modelo de FOURIER.

---

Número de "grupos" observados= 82

Densidad de Grupos/ $km^2$ =  $7.7 \pm 0.9$

Tamaño Medio de Grupo= 1.36

Densidad por "Doble Procedimiento"= $(7.7)(1.36)=10.5 \pm 3.0/km^2$

Densidad Modelo FOURIER=  $12.0 \pm 1.9 ind/km^2$  (ver Cuadro 6)

---

## 6. Selección del Modelo más Confiable.

Uno de los resultados importantes en el presente estudio es que la estimación de la densidad varía dependiendo del modelo a emplear. En otros estudios con diversas especies, donde se han analizado las estimaciones de la densidad obtenidas con diferentes modelos para una misma base de datos, también se ha encontrado que las estimaciones difieren dependiendo de cuáles modelos se empleen (Gatoc et al. 1968; Robinette et al. 1974; Quirín 1979, 1981; Tighman y Rusch 1981; Hone 1988a; Verner y Ritter 1988; White et al. 1989; Bergstedt y Anderson 1990). La conclusión general de estos trabajos es que no hay un modelo totalmente satisfactorio para todas las especies en distintos tipos de habitats. El aspecto fundamental es que la estimación de la densidad depende en gran parte de la forma de la curva probabilística de detección (Eberhardt 1968), y en este sentido es importante definir cuál modelo se ajusta a dicha curva (White et al. 1989).

En el presente estudio los doce modelos formaron tres grupos (ver Figura 5) cuyas estimaciones son significativamente distintas. En otros estudios también se han encontrado

diferencias y similitudes entre estos modelos muy parecidos a los resultados en este trabajo. Por ejemplo, Hone (1988a) encontró que los modelos de FOURIER, COX y NORMAL-MEDIA dan estimaciones muy semejantes entre sí y son los menos sesgados respecto al valor de la densidad conocida, los BINOMIAL-NEGATIVA y POLINOMIAL sobrestiman la densidad, y los modelos de FRANJA y EXPONENCIAL la subestiman. Bergstedt y Anderson (1990) encontraron que los modelos EXPONENCIAL y KELKER dan estimaciones mucho menores en relación al de FOURIER. Quinn (1979) encontró que los modelos de FOURIER y COX dan estimaciones exactas y muy parecidas entre sí, mientras que KELKER subestima la densidad.

Los modelos no-paramétricos pueden dar estimaciones más exactas debido a que son más robustos en comparación a los paramétricos (Burnham et al. 1980; Roeder et al. 1987). En varios estudios se menciona que el modelo de FOURIER da estimaciones poco sesgadas y es de los más recomendados (Quinn 1979, 1981; Burnham et al. 1980; Roeder et al. 1987; Escos y Alados 1988; Hone 1988a; Bergstedt y Anderson 1990). El modelo de COX da estimaciones muy parecidas a las de FOURIER, aunque con una mayor variación; no obstante, con este modelo es muy fácil realizar los cálculos de la densidad (Hone 1988a). En el presente estudio, de los tres modelos no-paramétricos empleados, los de FOURIER y COX dan estimaciones muy similares. El de FOURIER da valores bajos de la variación. Debido a la forma de las curvas de detección mensuales, el modelo de FOURIER es el más adecuado para estimar la densidad pues éstas varían entre meses.

Los modelos paramétricos son muy adecuados cuando la curva de detección se ajusta a alguno de los ya mencionados. Por ejemplo, el modelo EXPONENCIAL-GENERALIZADO puede dar buenos resultados en determinados casos (Quinn 1979). Los modelos BINOMIAL-NEGATIVA y EXPONENCIAL son adecuados si existe un gran número de observaciones en el primer intervalo de la curva de detección (White et al. 1989). El modelo NORMAL-MEDIA es bueno si la curva de detección tiene un "hombro" (Hammigway 1971). De los modelos paramétricos empleados en el presente estudio, el de la NORMAL-MEDIA es el más adecuado para estimar la densidad en este tipo de habitat; pues se observó que los venados pueden ser observados con una probabilidad igual a uno, hasta los 10 m perpendiculares al transecto, lo cual le da una forma de "hombro" a la curva de detección. Sin embargo, la desventaja principal de este modelo en el área de trabajo, consiste en que las formas de las curvas de detección mensuales no tienen, en todos los casos, la forma de campana necesaria para que el modelo se ajuste bien. Esto se debe a los saltos o acumulación de observaciones ("heaping") en el intervalo 20-30 m. Por lo tanto, el de FOURIER sigue siendo más adecuado para este caso.

El modelo de transecto de franja es menos preciso y exacto que el transecto de línea (Burnham y Anderson 1984; Burnham et al. 1985). No obstante, el transecto de franja es adecuado sólo en los casos cuando se utiliza un ancho del transecto muy angosto, ya que al aumentar el ancho el modelo tiende a subestimar (Hone 1988a). En el presente estudio se observó la tendencia a ir disminuyendo las estimaciones de la densidad conforme aumenta el ancho del transecto. A un ancho de 10 m a cada lado del transecto (modelo F-10) se tiene la estimación más confiable debido a que los dos supuestos de este modelo son satisfechos en el área de estudio. El inconveniente de

limitar el transecto a un ancho de 10 m es que el número de venados observados disminuye mucho, aumentando por lo tanto la varianza del estimador lo cual le resta potencia para detectar cambios sutiles. Esto se reflejó en el alto valor de los coeficientes de variación (ver Cuadro 3).

Los modelos "ad-hoc" no son muy adecuados debido a su falta de robustez y a la decisión subjetiva para decidir el ancho efectivo del transecto dentro de cual se considera que se vieron a todos los animales, y en este sentido sólo son adecuados como índice de la densidad (Burnham et al. 1980). En el presente estudio, si bien las estimaciones del modelo FRYE son muy parecidas a las de FOURIER, están sesgadas debido a que las observaciones fueron agrupadas en intervalos de clase, y esto no es adecuado para el modelo de FRYE. En este sentido, el modelo de EMLEN sería el más indicado para el área de estudio debido a que incorpora todas las observaciones obtenidas en el muestreo; sin embargo, las estimaciones que da son menores a las de FOURIER. Esto se debe a que el número de animales detectados en la franja basal es menor al que debiera ser, ya que en algunos casos los venados corrieron alejándose del observador (hacia los intervalos de 20-30 m y 30-40 m), por lo que el coeficiente de detectabilidad es bajo y este efecto se refleja en estimaciones también bajas.

Por lo tanto, con base en el análisis anterior, de los doce modelos empleados para estimar la densidad en Chameia, el de FOURIER es el más adecuado. Los modelos COX, NORMAL-MEDIA y EMLEN, son alternativos pero no totalmente satisfactorios para el área de estudio.

### Conteo de Huellas

#### **1. Base de Datos.**

Se obtuvo un total de 147 huellas en 94 transectos repartidos en cuatro meses (Cuadro 10). El número de huellas promedio por transecto (índice) fue de  $1.45 \pm 0.22$ .

#### **2. Estimación de la Densidad por Modelo.**

La estimación de la densidad varió entre 1.4 y 2.2 ind/km<sup>2</sup> dependiendo del modelo y mes de muestreo (Cuadro 11). No se encontró diferencia significativa en las estimaciones de la densidad entre los modelos ( $t=0.115$ ,  $gl=6$ ,  $p>0.05$ ). El hecho de que los modelos no difieran, se debe básicamente a que utilizan casi los mismos supuestos en cuanto a la actividad diaria del venado.

No se encontró diferencia entre la densidad obtenida en días sucesivos en un mismo mes para cada modelo (ANOVA,  $F=0.375$ ,  $gl=8$  y  $90$ ,  $p>0.05$ ). Por otro lado, sí se encontró diferencia entre las estimaciones de los meses (ANOVA,  $F= 4.303$ ,  $gl=3$  y  $90$ ,  $p<0.05$ ). Siendo junio-90 mayor

y diferente al resto de los meses, los cuales no difieren entre sí (SNK,  $p < 0.05$ ). Por otro lado, se encontró diferencia significativa entre la época húmeda y seca para cada modelo (TYSON:  $t = 2.86$ ,  $gl = 9$ ,  $p < 0.05$ ; DANIEL-FRELS:  $t = 2.83$ ,  $gl = 9$ ,  $p < 0.05$ ).

Cuadro 10. Número de transectos (NT), número de réplicas (R), número de huellas (NH) y el índice promedio de número de huellas por transecto observadas durante cada período de muestreo. Media (X), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación en porcentaje (CV).

MES	AÑO	EPOCA	NT	R	NH	INDICE		
						X	DE	CV
OCTUBRE	1989	HUMEDA	6	2	14	1.15	0.21	18.4
ENERO	1990	SECA	8	2	23	1.45	0.07	4.9
MARZO	1990	SECA	10	5	87	1.76	0.15	8.6
AGOSTO	1990	HUMEDA	8	2	23	1.45	0.07	4.9

Cuadro 11. Estimación de la densidad (ind/km<sup>2</sup>) obtenida por los modelos de TYSON y DANIEL-FRELS. Densidad (D), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación en porcentaje (CV).

MES	TYSON			DANIEL-FRELS		
	D	DE	CV	D	DE	CV
OCT-89	1.5	0.3	20.0	1.4	0.3	21.4
ENE-90	1.8	0.1	5.6	1.8	0.1	5.6
JUN-90	2.2	0.2	9.1	2.2	0.2	9.1
AGO-90	1.8	0.1	5.6	1.8	0.1	5.6
HUMEDA	1.7	0.2	11.8	1.6	0.3	18.8
SECA	2.0	0.3	15.0	2.0	0.2	10.0
ANUAL	1.8	0.3	16.7	1.9	0.3	15.8

## Conteo de Grupos Fecales

### 1. Base de Datos.

Se contaron 137 grupos fecales en 480 parcelas repartidas en seis transectos en los dos períodos de muestreo (Cuadro 12). El número de grupos fecales promedio por parcela (índice) fue de  $0.29 \pm 0.03$ . El patrón espacial de los grupos de excrementos en las parcelas fué significativamente distinto del patrón aleatorio, tanto en marzo ( $X^2=21.85$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.01$ ) como en mayo ( $X^2=23.63$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.01$ ), tendiendo a un patrón agregado. El patrón se ajustó a la binomial negativa, encontrándose que no difiere de este modelo en marzo ( $X^2=0.556$ ,  $gl=2$ ,  $p>0.05$ ) o en mayo ( $X^2=0.715$ ,  $gl=2$ ,  $p>0.05$ ) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Número de grupos de excrementos (GF), tiempo de permanencia de los excrementos (TD), índice de grupos fecales por parcela, y el coeficiente de la binomial negativa (k) en los distintos períodos. Media (X), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación (CV).

MES	EPOCA	GF	TD	INDICE			k
				X	DE	CV	
MAR-90	SECA	62	90	0.26	0.052	20.1	0.17
MAY-90	SECA	75	83.2	0.31	0.055	17.7	0.230

### 2. Estimación de la Densidad por Modelo.

La densidad varía de 9.1 a 31.9 ind/km<sup>2</sup> dependiendo de la tasa de defecación aplicada. Conforme aumenta la tasa, la densidad disminuye (Cuadro 13). Se encontró diferencia significativa entre la estimaciones de los modelos con diferente tasa de defecación (ANOVA,  $F=9.658$ ;  $gl=3$  y 4,  $p<0.05$ ). Siendo la estimación de la densidad con el modelo T-13 significativamente diferente y mayor al resto de los modelos, los cuales no difieren entre sí (SNK,  $p<0.05$ ). Por lo tanto, es muy importante conocer la tasa de defecación para el área de estudio, ya que las estimaciones son muy altas si se emplea la tasa estandar de 12.7.

Dado que la densidad estimada por este método se basa en la acumulación de excrementos en un intervalo de tiempo determinado, no se obtiene una estimación puntual en el tiempo sino la densidad promedio en el intervalo considerado. Así, las estimaciones para marzo y mayo corresponden de diciembre a inicio de marzo, y de marzo a finales de mayo, respectivamente. No se encontró diferencia significativa entre la densidad del primer período (diciembre-febrero) y del

segundo (marzo-mayo) ( $t=0.724$ ,  $gl=10$ ,  $p>0.05$ ), para cada modelo.

Cuadro 13. Estimación de la densidad de venados ( $ind/km^2$ ) por medio de los modelos T-13, T-21, T-27 y T-34. Densidad (D), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación en porcentaje (CV).

MES	T-13			T-21		T-27		T-34	
	D	DE	CV	D	DE	D	DE	D	DE
MAR-90	24.3	5.0	20.6	14.8	3.0	11.5	2.4	9.1	1.9
MAY-90	31.9	5.4	16.9	19.3	3.3	15.1	2.6	11.9	2.0
SECA	28.1	3.8	13.5	17.1	3.2	13.3	1.8	10.5	2.0

### Comparación de los Tres Métodos

#### 1. Diferencia entre Métodos.

Se encontró diferencia significativa entre las estimaciones promedio de la época seca entre los tres métodos (ANOVA,  $F=10.36$ ,  $gl=2$  y  $4$ ;  $p<0.05$ ). El método de conteo de excrementos, con una tasa de defecación de 12.7, da la estimación más alta, el conteo de huellas la más baja y el de conteo directo la intermedia (SNK,  $p<0.05$ ). En la época húmeda hay diferencia entre las estimaciones de los métodos de conteo directo y el de huellas ( $t=4.87$ ,  $gl=5$ ,  $p<0.01$ ) y en términos anuales ( $t=3.85$ ,  $gl=10$ ,  $p<0.01$ ). No hay diferencia significativa entre las estimaciones obtenidas con el método de conteo directo y el conteo de excrementos cuando se utiliza una tasa de defecación de 26.9 ( $t=0.042$ ,  $gl=3$ ,  $p>0.05$ ).

#### 2. Relación entre Métodos.

No se encontró correlación significativa entre el índice de grupos fecales y el índice de huellas ( $r=0.332$ ,  $gl=8$ ,  $p>0.05$ ); entre el índice de grupos fecales y el índice de venados vistos ( $r=0.33$ ,  $gl=8$ ,  $p>0.05$ ); ni entre el índice de huellas y el índice de venados vistos ( $r=0.287$ ,  $gl=17$ ,  $p>0.05$ ).

En otros estudios en algunos casos sí se ha encontrado correlación entre la densidad de huellas de venado y la densidad de excrementos (Mooty et al. 1984); entre el número de huellas con

el número de venados (Tyson 1959; Daniel y Frels 1971); entre las huellas y número de venados observados (Dobek et al 1966); entre el conteo de ungulados en transectos y puntos fijos (Escos y Alados 1988); y entre los senderos y la densidad estimada con el conteo de grupos fecales (McCaffery 1976). No obstante, en otros estudios no hallaron correlación positiva significativa entre las estimaciones obtenidas con distintos métodos. Por ejemplo, Ryel (1971) no encontró correlación entre la densidad estimada con grupos fecales y el número de venados que se conocía en lugar; Hone (1988b) no encontró correlación entre tres métodos (conteo de grupos fecales, observación directa y conteo de senderos); Fuller (1991) tampoco encontró correlación entre la densidad de grupos fecales (expresado como índice) ni la densidad calculada por medio de los grupos fecales con el número de venados contados en censos aéreos.

Cuadro 14. Estimaciones de la densidad (ind/km<sup>2</sup>) de venados por tres métodos: directo (FOURIER), huellas (TYSON) y grupos fecales (EBERHARDT y VAN ETTEN), en las épocas húmeda y seca, y anual. Densidad (D), desviación estandar (DE) y coeficiente de variación (CV).

EPOCA	DIRECTO			HUELLAS			GRUPOS FECALES					
							T-13			T-27		
	D	DE	CV	D	DE	CV	D	DE	CV	D	DE	CV
HUMEDA	10.3	1.1	11	1.7	0.2	12	--	--	--	--	--	--
SECA	14.0	4.6	33	2.0	0.3	15	28.1	3.8	14	13.3	1.8	14
ANUAL	12.0	1.9	17	1.8	0.3	16	--	--	--	--	--	--

### 3. Variación en las Estimaciones de los Métodos.

La estimación más variable se obtuvo con el método de conteo directo en la época seca (Cuadro 14). Por otro lado, este mismo método da la estimación menos variable durante la época húmeda. El método de conteo de huellas da, en general, estimaciones poco variables a lo largo del año; siendo durante la época húmeda cuando se obtiene la estimación más precisa. El método de conteo de excrementos da también una estimación precisa, parecida al método de huellas en la época seca. El coeficiente de variación con este método es independiente de la tasa de defecación que se emplee.

Tanto con el método de conteo directo como con el de huellas, se obtuvieron estimaciones más precisas durante la época húmeda. En la época de secas los venados tienen más movimiento y cruzan más veces los caminos, por lo que se incrementó la probabilidad de observar de más y/o los mismos individuos a lo largo del transecto. Esto tiene como consecuencia que las estimaciones sean muy variables en la época seca en comparación a las obtenidas con los mismos métodos en

la época húmeda. Lo anterior implica que para estudios de dinámica de la población, no es conveniente comparar la densidad de una época a otra, sino que es más adecuado compararla de un año a otro en la época húmeda con el mismo método.

#### **4. Sesgo Relativo de los Métodos.**

El método de conteo de huellas dio estimaciones de la densidad un 85% menores con respecto al método de conteo directo. Con el método de conteo de grupos fecales, empleando una tasa de defecación igual a 12.7, se obtuvo una estimación de la densidad un 100% mayor con respecto a la obtenida con el conteo directo. Por otro lado, cuando se empleó una tasa de defecación de 26.9 se obtuvo un sesgo relativo de sólo el 5% por debajo del método directo. Este resultado sugiere que para esta zona empleando una tasa de 26.9 se obtienen estimaciones de la densidad bastante similares a las obtenidas con el modelo FOURIER.

En un estudio con *Cervus elaphus*, Bobek et al. (1986) hallaron que el número de individuos excedía de 3 a 4 veces lo obtenido por el conteo de huellas, y llegaron a la conclusión de que el método de conteo de huellas subestima el número real de animales. Coulson y Raines (1985) encontraron que el método de conteo de grupos fecales sobreestima el tamaño real en una magnitud de casi tres veces las poblaciones de canguros, aún cuando se aplicaron diferentes tasas de defecación. Fuller (1991) encontró para el venado cola blanca que las estimaciones de la densidad obtenidas con el método de conteo de grupos fecales empleando la tasa de 33 gpo/ind/día, fue de un 0.41 a 1.50 veces mayor a la obtenida con el conteo directo aéreo.

#### **5. Efecto del Patrón de Actividad de los Venados sobre las Estimaciones.**

El número de individuos en la población fluctúa debido a cambios en los parámetros demográficos tales como natalidad, mortalidad y migración. Para entender la variación de las estimaciones de la densidad a través del año, es necesario considerar las probables contribuciones de los nacimientos, mortalidad y patrones de actividad, sobre las estimaciones obtenidas con cada método. En términos generales, se observó la siguiente fluctuación en las estimaciones de la densidad: entre julio y octubre se tienen las estimaciones mayores, luego disminuyen de noviembre a enero, para volver a aumentar entre marzo y junio (ver Figura 6).

Con base en observaciones personales, los nacimientos de los cervatillos en el área de estudio inician en mayo y continúan hasta agosto. Por lo cual, el primer aumento en la estimación de la densidad que se da entre agosto y octubre puede deberse al crecimiento de la población, y a que las hembras y los cervatillos probablemente presentan más movilidad después del destete que ocurre a los tres meses de nacidos. Sin embargo, la disminución en las estimaciones observada entre noviembre y enero, y luego el aumento abrupto de la misma entre marzo y junio, no pueden explicarse en términos de cambios en el tamaño poblacional debido a mortalidad y natalidad. La

variación en las estimaciones parece que se explican mejor por cambios en los ritmos de actividad relacionados con cambios en el ciclo reproductivo y en el hábitat. Entre enero y junio las fuentes de agua disminuyen considerablemente y la biomasa vegetal verde en el sotobosque es muy baja, entonces los venados tendrán que desplazarse más para poder satisfacer sus necesidades alimenticias y, por lo tanto, es mayor la probabilidad de observarlos. Esto último se detectó con los métodos de huellas y observación directa durante el mes de junio.

Cabe mencionar que la visibilidad a través del sotobosque no es mayor en la época seca comparada con la época húmeda, ya que muchos arbustos, aunque secos, mantienen en pie su estructura leñosa permitiendo poca visibilidad. Por otro lado, también es necesario mencionar que las condiciones ambientales fueron cambiando de un mes a otro, por lo que no se debe excluir la posibilidad de que éstos factores hayan afectado la actividad de los animales influyendo, por lo tanto, en el índice de observación de los mismos. En diversos estudios se ha encontrado que la actividad diaria y uso del hábitat estacional varían dependiendo de factores tales como la disponibilidad de alimento y agua, temperatura, precipitación, nubosidad, rocío y cobertura de protección (Kohn y Mooty 1971; Kammermeyer y Marchinton 1977; Larson et al. 1978; Suring y Vohs 1979; Conner y Dickson 1980; Robbins 1981; Glanz 1982; McCullough 1982b; Vaughan y McCoy 1984; Tierson et al. 1985; Rautenstrauch y Krausman 1989; Rollfinke y Yahner 1990; Leopold y Krausman 1991).

Por lo tanto, un aspecto sumamente importante es que las estimaciones de la densidad que se obtengan con determinado método dependen no sólo del número de animales presentes en el área al momento del muestreo, sino también de su actividad, y ésta cambia a través del año. Por lo cual, es muy importante conocer los patrones de actividad de los venados en el área de estudio para tener una idea de cuál es su influencia sobre la estimación la densidad (v.gr., Floyd et al. 1979; McCullough 1982b).

## **6. Análisis de los Supuestos de cada Método.**

Para decidir cuál de los tres métodos da una estimación menos sesgada es necesario analizar por separado, en cada método, los supuestos que se cumplen y los que no, con base en el conocimiento que se tiene de la biología del venado en hábitats tropicales y en las condiciones mismas del área de estudio (v.gr. Guthery 1988).

**Método de Observación Directa.** En el método de transecto de línea es crucial que se cumplan sus supuestos (ver sección 1 página 3). El supuesto "todos los animales sobre el transecto deben ser detectados con una probabilidad igual a uno", que es el más crítico (Burnham et al. 1980), se considera que sí fue satisfecho durante el trabajo. Esto se debe a las buenas condiciones que ofrecen los caminos para caminar, ya que es muy fácil detectar a los venados delante del camino antes de que los animales huyan.

En cuanto al supuesto "se debe detectar al animal en el punto exacto antes de que huya", no siempre se cumplió ya que el 36.7% de los venados observados iniciaron su huida antes de ser detectados parados. El sesgo que se introduce es que aumenta la distancia perpendicular de los animales al transecto, afectando a la curva de detección y disminuyendo las estimaciones de la densidad. Esto es importante, ya que se pudo ver que el intervalo de distancia perpendicular de 20 a 30 m presentó un ligero "salto". Lo anterior tiene mucho efecto sobre el ajuste de los modelos, principalmente los paramétricos, a la curva de detección. Dada la baja visibilidad del sotobosque en todo el año, difícilmente se podrá mejorar esta situación en muestreos posteriores ya que algunos venados detectarán primero al observador antes de que éste lo haga. Por lo tanto, un modelo no-paramétrico, como el de FOURIER, puede ser más adecuado para esta situación.

El supuesto "las distancias son medidas exactamente", debido a lo antes mencionado, es obvio que no todas las distancias pueden ser medidas exactamente. Lo que conviene en este caso, es incluir las observaciones en un intervalo de distancia.

El supuesto "ningún animal debe ser contado dos veces", se considera que sí se cumplió ya que rara vez se observaron a muchos venados durante el recorrido del transecto como para tener duda si era o no el mismo animal y, por otra parte, se sabe que los venados rara vez se desplazan distancias muy largas en un mismo día (Larson et al. 1978; Rodríguez et al. 1985; Tierson et al. 1985). Sin embargo, de un día a otro en algunas ocasiones sí se observó al mismo individuo, por lo cual estos datos fueron excluidos del análisis para calcular la densidad.

El supuesto "las observaciones son eventos independientes", esto implica que la probabilidad de observación de un venado debe ser independiente de la observación de otro. Esto es aplicable en la mayoría de las observaciones en este lugar, sin embargo al observar a una hembra se tiene la probabilidad de observar a sus crías, esto es, las crías no son observaciones independientes. No obstante, analizando los datos de manera agrupada (ver sección 7 página 31), se encontró que esto no afecta significativamente en las estimaciones.

**Método de Huellas.** El modelo de Tyson aplicado en el método de conteo de huellas, está sujeto a que se cumplan sus dos supuestos básicos: que el animal pase por el mismo lugar en días consecutivos y que la actividad diaria esté confinada dentro de un diámetro de 1.6 km. Para el presente estudio, el supuesto uno sí se cumple, pues en varias ocasiones se pudieron observar a los mismos individuos en el mismo sitio en días consecutivos e incluso de un mes a otro. El supuesto dos no puede ser comprobado con la metodología usada. De hecho, existe muy poca información sobre el patrón de actividad diaria de esta especie para habitats tropicales secos; entre los pocos estudios está el de Rodríguez et al. (1985) en Costa Rica. Tyson (1959) mismo reconoció que este aspecto podría ser una fuente de sesgo importante en la estimación de la densidad. Para poder aplicar este modelo en Chamela, es necesario conocer antes el patrón de desplazamientos diarios de esta especie.

**Método de Grupos Fecales.** En cuanto al método de conteo de grupos fecales, el factor más importante para convertir de número de grupos de excrementos a densidad de venados es la tasa de defecación diaria para el lugar y período de estudio (Neff 1968). La tasa de 12.7 obtenida por Eberhardt y Van Etten (1956) ha sido usada ampliamente. Sin embargo, recientemente se ha cuestionado dicha tasa y se han obtenido nuevas y mayores a la original (ver sección 3 página 11). Lo que se desprende de estos trabajos es que la tasa de defecación depende de varios factores entre los que destacan el tipo de dieta (muy estrechamente relacionada con el tipo de hábitat), la época del año, el sexo, la edad y las condiciones en que se determinaron estas tasas (v.gr., animales en cautiverio, horas de observación, número de animales observados). Por lo tanto, es de esperarse que no sea aplicable la tasa de defecación obtenida en un lugar, en otro con condiciones distintas. Para el bosque tropical caducifolio de Chamela no está determinada aún la tasa de defecación por lo que las estimaciones estarán sesgadas independientemente de que se aplique cualquiera de las tasas reportadas en la literatura.

## **7. Ventajas y Desventajas de cada Método en el Área de Estudio.**

Los tres métodos dieron estimaciones de la densidad completamente diferentes, pese a que se aplicaron en las mismas fechas y en el mismo lugar. Por lo cual, es definitivo la selección del método a utilizar. La pregunta es ¿cuál de los tres métodos da la estimación más exacta? Si se supiera cuál es el valor del parámetro poblacional, se podría estimar el sesgo de cada método y así saber cuál es el más exacto. Sin embargo, éste no es el caso para el presente estudio, por lo que se tuvo que utilizar otra aproximación para tratar de responder a esta pregunta. Para esto, se analizaron los supuestos en los cuales se basa cada método para calcular la densidad. Dado lo poco que se conoce sobre la biología de este herbívoro en los bosques tropicales, los métodos indirectos de conteo de huellas y grupos fecales dan las estimaciones más sesgadas. Por el contrario, el método de conteo directo da las estimaciones menos sesgadas pues no requiere convertir rastros a individuos, sino animales detectados por transecto a animales por superficie.

En otros trabajos al aplicar diferentes métodos (conteo de grupos fecales, huellas o senderos, conteo directo en transectos aéreos o terrestres, arreos de animales, etc.) también encontraron que dan resultados significativamente distintos entre sí (Downing et al. 1955; Coulson y Raines 1985; Hone 1988b; Fuller 1991). Incluso al aplicar métodos exclusivamente directos (conteo en transectos de línea o de franja, en parcelas circulares variables, en puntos fijos, el mapeo de territorios, captura-recaptura, etc.), los resultados llegan a ser distintos (Franzreb 1976; Anderson y Ohmart 1981; Conant et al. 1981; Dawson 1981; Tilghman y Rusch 1981; Escos y Alados 1988; Verner y Ritter 1988; Firchow et al. 1990). Esto implica que se debe tener mucho cuidado en dar conclusiones acerca de la densidad a partir de un sólo método.

En general, los métodos de conteo de huellas y de grupos de excrementos tienen la ventaja de que no se requiere ver al animal, causan poco disturbio en la población y, en principio, se puede obtener un tamaño de muestra grande (Daniel y Frels 1971; Ezcurra y Gallina 1981). Basta con que

el animal pase por el área de muestreo y deje bien visibles sus rastros. Sin embargo, sus mayores desventajas, en cuanto a su aplicabilidad en Chamela, es que no se tiene la información necesaria sobre varios aspectos de la biología de esta especie, los cuales están estrechamente relacionados con la conversión del número de rastros a densidad de individuos.

Algunas desventajas del método de conteo de huellas en el área de estudio, son que debido a lo compacto de la tierra no siempre se imprimen las huellas en los caminos de terracería; algunos caminos son muy angostos, de tal forma que es posible que el animal en determinado momento no deje sus huellas (salte); y el número actual de transectos es bajo ( $n < 10$ ) lo cual tiene relación con un bajo tamaño de muestra. Estos problemas pueden ser resueltos mejorando las condiciones para la impresión de huellas (aflojando mecánicamente la tierra). Hecho lo anterior, este método no debe de descartarse ya que, una vez que se tengan datos específicos sobre la actividad del herbívoro, se puede aplicar el modelo de Tyson o un modelo alternativo nuevo desarrollado para el área de estudio (ver sección 1 página 9).

El método de conteo de excrementos sólo puede ser aplicado en Chamela durante la época seca cuando la vegetación permite establecer los transectos, ya que durante las lluvias el sotobosque está sumamente denso y poco transitable. Otra desventaja es que se obtiene un menor número de repeticiones en el tiempo, ya que se debe dejar cierto tiempo para que haya un depósito de excrementos en las parcelas lo suficientemente grande para tener validez estadística. Morales et al. (1989) sugieren que las parcelas deben colocarse lo más alejadas ( $> 50$  m) posibles una de otra sobre el transecto, para evitar que se cuenten únicamente los grupos fecales de uno o pocos individuos. En el área de estudio esto es poco práctico ya que incluso establecer el transecto de 400 m con 40 parcelas separadas cada 10 m, requirió de 4 hrs en promedio; ponerlas más separadas incrementaría enormemente el tiempo y esfuerzo de muestreo a un nivel poco práctico. Lo crítico en este método es obtener la tasa de defecación para este lugar. Por el momento, es más adecuado emplear un tasa de 26.9, ya que la estimación obtenida se acerca más a la de FOURIER.

En cuanto al método de conteo directo, su ventaja principal para el área de estudio y, en general, es que no requiere de ningún factor para convertir número de rastros a densidad de animales. Aspecto que es muy relevante dado lo poco que se conoce de la biología de este herbívoro para habitats tropicales. El problema se reduce a buscar cual modelo se ajusta al histograma de frecuencias de las observaciones perpendiculares de los venados al transecto (Burnham et al. 1980).

Entre las desventajas principales encontradas en este método para el área de estudio, es que no se puede obtener un tamaño de muestra muy grande para un mismo mes y que no siempre es posible ubicar al animal en el punto exacto al momento de su detección inicial. Esto se debe a lo corto de los transectos ( $< 10$  km) y a la baja visibilidad impuesta por lo denso de la vegetación en cualquier mes del año. No obstante, el tamaño de muestra puede incrementarse aumentando el largo del transecto incluyendo otras áreas adyacentes al lugar de estudio. Por otro lado, el hecho de que se puedan ver algunos venados durante el día en el área de estudio, se debe a la presencia

del personal de la Estación de Biología, el cual tiene cierta incidencia para que la cacería furtiva sea menor en comparación con áreas adyacentes. Si estas condiciones no se tienen en otros bosques tropicales caducifolios, este método puede ser de poca utilidad. En áreas con alta presión humana, es probable que las estimaciones sean bajas debido al comportamiento temeroso de los animales (Escos y Alados 1988).

Si el método de conteo directo da la estimación más confiable de los tres, la siguiente pregunta es ¿cuál(es) de los 12 modelos aplicados a la misma base de datos en el método directo, da la estimación más confiable? Con base en la similitud en las estimaciones a través del año, los 12 modelos se agruparon en tres grupos, los cuales difieren entre sí en las estimaciones de la densidad. Se encontró que la prueba de  $X^2$  no sirve para discriminar entre los modelos y poder seleccionar el que mejor se ajusta a los datos de campo. Por otro lado, Burnham et al. (1980) al analizar una amplia gama de modelos paramétricos simples y generalizados, no-paramétricos, "ad-hoc", entre otros, con base en los criterios de robustez, encontraron que los no-paramétricos, particularmente el modelo de FOURIER, da las estimaciones menos sesgadas después de muchas simulaciones y aplicaciones en campo. Por lo tanto, en principio las estimaciones obtenidas con el modelo FOURIER serían las candidatas para considerarse como las más confiables en el presente estudio.

#### **8. Comparación de la Densidad en Chamela con otros Sitios.**

La estimación promedio anual en Chamela durante el período julio-89 a junio-90 fue de  $12.0 \pm 1.9$  venados/km<sup>2</sup>. Es interesante comparar esta densidad con otras obtenidas en el mismo y distintos tipos de habitats (Cuadro 15). Sin embargo, dado que la estimación está influenciada por el método empleado, la comparación debe hacerse entre métodos semejantes. Las densidades obtenidas con el método de huellas en otros bosques tropicales caducifolios, son muy similares a las obtenidas en este estudio. Por otro lado, no existe ningún otro trabajo donde se haya aplicado el método de conteo de excrementos en bosques tropicales, por lo que es difícil comparar los resultados. Comparando el método directo, es interesante notar que la estimación obtenida por García y Monroy (1965) para otro bosque tropical caducifolio es muy similar a la obtenida en el presente estudio.

Un aspecto general que se desprende de analizar este cuadro, es que incluso a este nivel los métodos dan estimaciones muy variables. Si bien las variaciones pueden deberse en sí a diferencias en la densidad de venados en cada lugar, es interesante notar que, en general, el método de conteo de huellas da estimaciones muy bajas. Por el contrario, el de conteo de grupos fecales, empleando un tasa de  $12.7$  gpos/ind/día, da estimaciones altas. El método de conteo directo da estimaciones, a excepción de las dadas por Carrera (1985) y Romo (1987), entre  $10$  y  $16$  venados/km<sup>2</sup>, que son intermedias a los dos métodos anteriores. Esto significa que no sólo se debe conocer el patrón de actividad y la tasa de defecación en el bosque tropical de Chamela, sino que es urgente conocer estos aspectos para todos los habitats en México, si se quiere obtener

estimaciones menos sesgadas con los métodos de huellas y grupos fecales.

Cuadro 15. Estimaciones de la densidad del venado cola blanca en diversos habitats en México obtenidos con los métodos de conteo directo, de huellas y de grupos fecales.

\* media  $\pm$  (desviación estandar).

DENSIDAD	METODO	HABITAT	AUTOR
1.8 (0.3)*	huellas	selva baja, Jal.	presente estudio
1.8	"	selva baja, Yuc.	Salas y Landázuri (1970)
2.2	"	selva baja, Yuc.	Hernández et al (1974)
1.2	"	pino-encino, Ags.	Romo (1987)
4.6 (2.5)	"	pino-encino, Oax.	Gallindo-G et al (1985)
28.1 (3.8)	oxcretas	selva baja, Jal.	presente estudio
21.0 (2.7)	"	pino-encino, Dgo.	Gallina (1990)
14.3	"	oyamel, D.F.	Mandujano y Hdez. (1990)
12.0 (1.9)	directo	selva baja, Jal.	presente estudio
12.8-15.6	"	selva baja, Mor.	Garca y Monroy (1985)
10.4 (2.5)	"	matorral, N.L.	Villarreal (1986)
25.0	"	matorral, Coah.	Carrera (1985)
1.8	"	pino-encino, Ags.	Romo (1987)
11.6-15.4	"	pino-encino, Chih	Leopold (1965)

#### Comprobación de las Estimaciones

En el presente estudio se consideró que no era totalmente satisfactorio aceptar las estimaciones del modelo de FOURIER como las más confiables sólo porque lo ha sido en otros estudios. Por tal motivo, se decidió buscar la manera de validar las estimaciones de la densidad obtenidas con dicho modelo. Al validar las estimaciones del modelo de FOURIER implícitamente se está validando al método de conteo directo. Las aproximaciones para tratar de comprobar los resultados fueron el mapeo de individuos y un modelo de simulación.

Apoyar la toma de decisión en la selección de determinado método de estimación mediante modelos de simulación, también ha sido aplicado en otros estudios. Por ejemplo, Wilson y Anderson (1985) y Eberhardt (1990) emplean modelos de simulación sencillos de "Monte Carlo" para comprobar la densidad obtenida de varios métodos. En esos modelos de simulación han incorporado aspectos como: movimientos de los animales, tamaño y forma de los ámbitos

hogareños, tamaño de la población, patrón espacial de la misma, entre otros. Engel-Wilson et al. (1981) emplean un modelo de simulación en cual varían el largo y ancho del transecto, el número de réplicas y la densidad, para identificar variaciones debido a la fluctuación aleatoria de las estimaciones en la densidad que son inherentes al método de transecto. Hone (1986) también desarrolló un modelo de simulación de transecto de franja con una densidad conocida, con el fin de conocer y eliminar las fuentes de variación debidas al clima, a la estructura de edad de la población y movimientos de los individuos. Ryan et al. (1988) investigaron la efectividad y robustez de diversos estimadores de densidad por medio de modelos de simulación.

## 1. Mapeo de Individuos.

Este método sería muy adecuado si se tuvieran marcados individualmente los venados, pero como ese no es el caso, se prosiguió de la siguiente manera. En toda ocasión cuando se observó un venado se registró su ubicación exacta, la hora, sexo, forma de astas, edad (adulto, añero o cría) u otra característica. La idea fue tratar de diferenciar individualmente a cada venado. Para muchos casos sí fue posible hacerlo, ya que las reiteradas ocasiones en que se vieron permitió lograr diferenciarlos. Esto fue más frecuente con los venados que andaban cerca de las instalaciones de la Estación Biológica ya que están acostumbrados a la presencia humana, por lo cual no son tan asustadizos y es más frecuente observarlos, en comparación con los lugares más lejanos de la Estación donde hay menos caminos y los venados son más temerosos. Aunado a las observaciones de los venados, el conteo de huellas también permitió lograr establecer algunas partes dentro del mismo camino donde es común la presencia de un individuo, ya que se observó que algunas huellas se encontraban en el mismo lugar del transecto en días consecutivos y en meses distintos. Por lo cual, es muy probable que sean los mismos individuos los que dejan las huellas en los transectos en el mismo lugar.

Para lograr diferenciar los individuos, sólo se consideraron los venados vistos entre julio y diciembre de 1989. Durante este período los machos presentan astas, las hembras han parido, y es fácil diferenciar entre las crías de ese mismo año y las del año anterior. Además, los venados durante este lapso aparentemente se mueven menos en comparación con la época seca, cuando tienden a moverse más por la falta de alimento y agua. Para esto, se trazaron cuadratos de un km<sup>2</sup> ("cuadrante") sobre un mapa y se dibujó la ubicación de los individuos observados en los caminos (Figura 8). Las elipses en esta figura representan los individuos adultos o juveniles, las crías no se presentan en el mapa. Es importante hacer notar que el tamaño de las elipses no representa el tamaño del ámbito hogareño del individuo, sino simplemente entre más grande es la elipse significa que un mismo individuo fue diferenciado más veces. Otro aspecto es que el número de observaciones de venados y diferenciación entre individuos fue mayor en las partes de los caminos más frecuentados. En orden de mayor a menor frecuencia de observación y diferenciación se tiene a los cuadrantes D, E, A, B, y C. Esto no significa necesariamente que haya más venados en las áreas que abarcan los cuadrantes dados en el orden anterior.

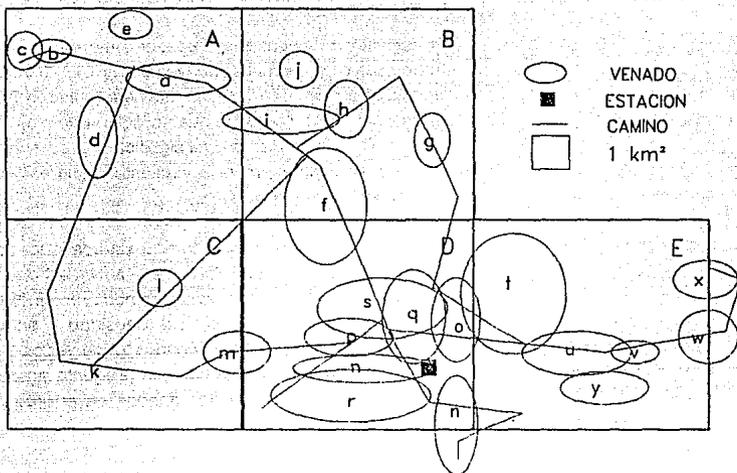


Figura 8. Mapeo de individuos por km<sup>2</sup> durante el período julio a diciembre de 1989. Los venados están representados por las elipses y letras minúsculas. Ver texto para explicación.

Los datos de cada individuo (sexo, edad, número de crías) de la Figura 8 se dan en el Apéndice 2. La densidad promedio, excluyendo al cuadrante C y considerando a adultos, jóvenes y crías, fue de  $8.0 \pm 0.8$  ind/km<sup>2</sup>. Si sólo se estima la densidad del cuadrante D (donde se hicieron las observaciones más detalladas) se obtiene un valor de  $13.0$  ind/km<sup>2</sup>. Así, la densidad estimada de esta manera da un número entre 8 y 13 venados por km<sup>2</sup>, dependiendo del criterio que se emplee. La densidad obtenida con el mapeo es significativamente mayor a la obtenida con el modelo TYSON ( $t=19.231$ ,  $gl=3$ ,  $p<0.01$ ) y significativamente menor al de excremento T-13 ( $t= -4.319$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.05$ ). La densidad obtenida con el procedimiento de mapeo es muy similar a las estimadas con el método directo. Si se considera el promedio de  $8.0 \pm 0.8$  se tiene que no es diferente a la estimación obtenida con los modelos del grupo I (KELKER, EMLEN, F-30, F-40 y EXPONENCIAL) de la Figura 5 el cual da una densidad promedio de  $7.5 \pm 2.1$  ind/km<sup>2</sup> ( $t=0.217$ ,  $gl=4$ ,  $p>0.05$ ). Por otro lado, si se considera una densidad de  $13$  ind/km<sup>2</sup>, ésta es igual a la obtenida con el modelo de FOURIER el cual da una densidad promedio de  $12.0 \pm 1.9$  ind/km<sup>2</sup> ( $t=0.064$ ,  $gl=7$ ,  $p>0.05$ ). En conclusión, lo anterior apoya al análisis sobre los supuestos de cada método, donde se obtuvo que el método de conteo directo puede estar dando estimaciones menos sesgadas en comparación a los métodos de huellas y grupos fecales.

## 2. Modelo de Simulación.

Para este caso se empleó el índice de observación de venados, o sea, el número promedio de venados vistos en un kilómetro de recorrido en cada mes de muestreo (ver Cuadro 1). El índice puede considerarse como un "reflejo" de la densidad en un área y momento determinados (Bull 1981). Este índice está correlacionado positivamente con la densidad, ya que es lógico que a mayor densidad se tendrá mayor probabilidad de observar más venados, lo cual significa que se espera un índice alto y viceversa. El problema ahora se puede plantear de la siguiente manera: ¿qué densidad daría como resultado el índice que se obtuvo en este estudio?

Puesto que el número de venados vistos por kilómetro de recorrido parece que está relacionado no sólo con la densidad en ese momento sino que también con la actividad de los individuos, por el momento y para simplificar el análisis, es más conveniente promediar los índices mensuales y obtener un índice anual, el cual pondera las variaciones en la densidad y en los patrones de actividad. El índice promedio anual fue de  $0.46 \pm 0.11$  venados observados por kilómetro recorrido (basado en los índices mensuales promedios). Entonces, la pregunta anterior puede ser replanteada como: ¿cuál es la densidad promedio anual de venados en el área de estudio, para obtener un índice promedio anual de 0.46?

En el presente estudio se propone que se pueden validar las estimaciones obtenidas con el modelo FOURIER, a partir del análisis del índice a través de un modelo de simulación lineal. Un modelo es la abstracción y simplificación de un proceso cualquiera en la naturaleza. Para el presente estudio se desarrolló un modelo de simulación lineal el cual pretende resolver las siguientes preguntas: ¿cuál es el índice de venados observados en un kilómetro de recorrido a diferentes densidades? y, si varía la densidad de venados por  $\text{km}^2$ , ¿cuál es la probabilidad de detectar a cero, uno, dos ó más venados en un kilómetro de transecto?

El resultado del modelo de simulación desarrollado en este estudio es una ecuación lineal. Para obtener el índice que se esperaría a distintas densidades, es necesario simular el comportamiento y los desplazamientos de los venados en un kilómetro cuadrado durante un período de 24 hrs. Sin embargo, una de las limitantes importantes es el poco conocimiento que se tiene sobre los patrones de actividad diaria y el uso del hábitat de esta especie en hábitats tropicales. No obstante, se prosiguió a desarrollar el modelo bajo los siguientes supuestos: 1) al momento del muestreo existe la misma densidad (densidad homogénea) en toda el área de estudio; 2) todo venado que esté a 20.0 m perpendicular al transecto, es detectado con una probabilidad igual a uno; 3) los venados no son atraídos ni rechazados por el transecto; 4) los individuos andan solos y no en grupos; 5) todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser detectados en el transecto; y 6) los individuos caminan al azar en un momento instantáneo del muestreo. Si bien los supuestos son simplistas, por el momento se juzgó suficientes dado lo poco que se sabe de la actividad de este animal en el área de estudio.

Para obtener el índice de venados observados por kilómetro de recorrido que se esperaría a determinada densidad, se prosiguió de la siguiente manera: 1) se dibujaron 10 áreas cuadradas y se colocaron en forma lineal; 2) cada cuadro representa un km<sup>2</sup>; 3) se estableció un transecto de 10 km de largo que cruza exactamente a la mitad de cada cuadro; 4) se dibujó a escala el "área de detección" de los venados, siendo de 20 m a cada lado del transecto; 5) dentro de cada cuadro se ubicó, por medio de coordenadas x-y, de manera aleatoria a cada individuo; 6) se "muestreó" el transecto y cada animal detectado (o sea, que cayó dentro del área de detección) se consideró como observación hecha; 7) se obtuvo el índice como el número de animales observados entre 10 km; 8) lo anterior se hizo 25 veces (réplicas) para cada tratamiento; 9) cada tratamiento consistió en variar la densidad, siendo éstas igual a: 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ind/km<sup>2</sup>; 10) se obtuvo un índice promedio para cada tratamiento; 11) se obtuvo la ecuación de regresión lineal siendo  $x$ =densidad y  $y$ =índice; y 12) se obtuvieron las frecuencias esperadas de observación de cero, 1, 2, 3, ó 4 individuos por kilómetro de recorrido para cada tratamiento.

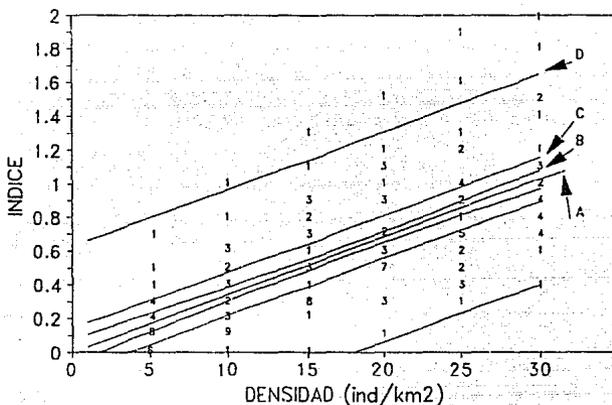


Figura 9. Índices a distintas densidades. Los números son las veces que un valor se repite. A, recta de regresión; B, límites de confianza 95%; C y D, límites de predicción 95% a 25 ó 1 réplicas.

Simular índices a partir de 25 réplicas de un transecto de 10 km, de alguna manera equivaldría a tener un sólo transecto de 250 km recorrido una sólo vez. Esto se decidió así porque en el presente estudio se recorrió, en promedio, un transecto de 8.4 km en 28 ocasiones a lo largo de ocho meses, lo cual equivaldría a tener un transecto de 234.5 km recorrido una sólo vez (ver Cuadro 1).

En la Figura 9 se presentan los índices obtenidos en cada réplica a distintas densidades y en el Cuadro 16 los índices promedios. Se encontró diferencia significativa en los índices de cada densidad (ANCOVA,  $F=24.703$ ,  $gl=5$  y  $144$ ,  $p<0.01$ ). El índice tiende a ser mayor conforme aumenta la densidad. Es alta la variación de los índices para una misma densidad, debido a que los índices de cada réplica fueron obtenidos de un transecto de sólo 10 km de largo. En la misma Figura 9 se presentan los límites de predicción para el índice cuando se obtienen de una ó veinticinco réplicas. Lo anterior tiene consecuencias importantes para el diseño de muestreos futuros (ver sección 1 página 59).

Se realizó un análisis de regresión entre la densidad (x) y los índices (y), siguiendo el método de varios valores de y para un sólo valor de x (Sokal y Rohlf 1979). Se encontró que una porción grande y significativa de la varianza del índice es explicada por la regresión sobre la densidad (ANOVA,  $F=665.2$ ,  $gl=1$  y  $144$ ,  $p<0.001$ ); y que la pendiente de la regresión es distinta de cero ( $t=11.189$ ,  $gl=144$ ,  $p<0.001$ ). Con estos resultados, se prosiguió a obtener la recta de regresión, siendo ésta:  $y = 0.004 + 0.034x$  ( $r=0.997$ ,  $gl=4$ ,  $p<0.01$ ).

Cuadro 16. Índices esperados a distintas densidades obtenidos con el modelo de simulación. Los índices fueron generados a partir de un transecto de 10 km recorridos 25 veces, para cada densidad (ver texto).

INDICE	DENSIDAD ind/km <sup>2</sup>					
	5	10	15	20	25	30
MEDIA	0.176	0.316	0.556	0.696	0.840	1.012
DE	0.17	0.25	0.31	0.33	0.38	0.37
CV (%)	96.8	79.9	55.5	47.5	45.2	36.7

Con la ecuación anterior se pudieron predecir los índices esperados para las densidades obtenidas en cada método (Figura 10). Así, el índice predicho para el modelo de TYSON del método de huellas, que dió una densidad promedio de 1.8 ind/km<sup>2</sup>, es 0.07 lo cual es significativamente distinto del índice de 0.46 ( $t = -3.064$ ,  $gl=7$ ,  $p<0.05$ ). Para el método de conteo de excretas con una tasa de defecación de 12.7 se estimó una densidad de 28.1 ind/km<sup>2</sup>, ésto proporciona un índice de 0.96 el cual es significativamente mayor a 0.46 ( $t=3.928$ ,  $gl=7$ ,  $p<0.01$ ). En cuanto al método de conteo directo, el modelo de FOURIER dió una densidad de 12.0 ind/km<sup>2</sup>, el índice esperado es de

0.41, el cual no es significativamente diferente al observado ( $t = -0.393$ ,  $gl=7$ ,  $p>0.20$ ). Por último, realizando una predicción inversa, o sea, obtener la densidad ( $x$ ) a partir del índice observado de 0.46 ( $y$ ), se tiene un resultado de  $13.4 \pm 3.4$  ind/km<sup>2</sup> el cual no es diferente a la densidad obtenida con el modelo de FOURIER.

A densidades bajas es más probable no ver ningún individuo por kilómetro de recorrido; mientras que conforme aumenta la densidad, se incrementa la probabilidad de ver a uno o más individuos por kilómetro de recorrido (Cuadro 17). Se encontró que el mejor ajuste ( $p>0.05$ ) entre lo observado y lo esperado, se obtuvo cuando la densidad es igual a 15 ind/km<sup>2</sup>. Con esto se tiene que la frecuencia con que se vio determinado número de venados en un kilómetro, se esperaría cuando se tiene una densidad de 15 venados/km<sup>2</sup>. Con lo cual, nuevamente se tiene que el resultado del modelo de simulación sugiere que el método de conteo directo con el modelo de FOURIER puede ser el más adecuado en este tipo de habitat.

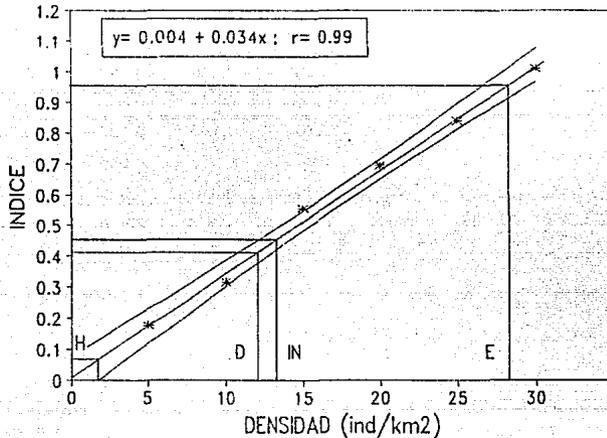


Figura 10. Regresión lineal ajustada a los datos de la Figura 9. Los puntos son los índices promedio. Regresiones de los métodos: huellas (H), excretas (E), directo (D) y del índice observado (IN).

Como conclusión, el método de conteo directo, empleando el modelo de FOURIER, proporciona una estimación más confiable en comparación a los métodos de conteo de huellas y de grupos fecales. Si bien el modelo de simulación empleado para validar los resultados es muy simple, permitió tener más elementos para decidir cuál método podría ser el más confiable para ser aplicado en censos futuros. Por lo tanto, se propone al método de conteo directo empleando el modelo de FOURIER como uno de los más confiables para estimar la densidad poblacional del venado cola blanca en el bosque tropical caducifolio en Chamela.

Cuadro 17. Probabilidad de observación de venados por kilómetro de recorrido esperadas a distintas densidades, y pruebas de bondad de ajuste con los datos de observación de campo (n=109). Como los datos están en por ciento se transformaron por medio de la función arcoseno (Sokal y Rohlf 1979). ns= no significativo; \*  $p(0.05) \geq 7.815$ ; \*\*  $p(0.01) \geq 11.345$

No. ind/km	DENSIDAD (ind/km <sup>2</sup> )						OBSERVADO
	5	10	15	20	25	30	
0	0.844	0.740	0.640	0.500	0.450	0.380	0.615
1	0.144	0.216	0.240	0.352	0.344	0.352	0.304
2	0.008	0.036	0.100	0.108	0.140	0.184	0.037
3	0.004	0.008	0.016	0.036	0.048	0.056	0.030
4	0	0	0.004	0.004	0.016	0.028	0.015
X <sup>2</sup>	37.076	8.496	6.861	7.821	10.814	22.29	--
p	**	*	ns	*	*	**	--

### Modelos Nuevos

Los índices son una medida de la abundancia poblacional y pueden ser empleados con fines comparativos entre poblaciones o en una misma a través del tiempo (Caughley 1977). Además, los índices pueden convertirse a densidad de individuos (por ejemplo el modelo de Eberhardt y Van Etten 1956) o bien pueden calibrarse para obtener la densidad (Eberhardt y Simmons 1987). Esto último consiste en que a partir de los datos obtenidos con determinado método, el cual se considera como confiable, se ajustan o calibran (algunos autores llaman "factor de corrección") las estimaciones obtenidas con un método menos confiable pero más práctico. Por ejemplo, Short y Hone (1988) con base al conteo con el método de acarreo (considerado muy exacto pero demasiado costoso), ajustan luego el por ciento de diferencia con los muestreos aéreos (menos exactos pero más prácticos). Caughley y Grice (1982) desarrollaron un factor de corrección basado en el conteo aéreo

(considerándolo como más exacto), para aplicarlo luego al conteo terrestre (menos exacto pero más barato) el cual normalmente subestima el número de animales. En general, emplear las estimaciones obtenidas con determinado método, para luego corregir las obtenidas con otros métodos, ha sido muy utilizado en diversos estudios (Caughley 1974; Floyd et al. 1979; Barnes et al. 1986; Bayliss et al. 1986; Pollock y Kendall 1987). Una aproximación distinta es que si se tienen datos pareados entre el índice (directo o indirecto) y la densidad actual, puede ser posible calibrar el índice ajustándolo por medio de una regresión lineal (McCaffery 1976; Caughley 1977; Eberhardt 1978b; Vincent y Bideau 1982; Hone 1986; Parer y Price 1987; Menkes et al. 1990). También se ha desarrollado un método para convertir frecuencia de animales o rastros a densidad (Caughley 1977; Tellería y Saéz-Royuela 1986; Hone 1988b).

En el presente estudio se desarrollaron dos modelos nuevos para estimar la densidad de venados, uno a partir del índice de observación directa y otro a partir del índice de huellas. La decisión de desarrollar nuevos modelos se debe a que el método de conteo directo en transectos requiere de un análisis numérico relativamente complicado y es necesario el uso de la computadora y el programa TRANSECT para obtener las estimaciones con el modelo de FOURIER. La otra, es que el modelo de TYSON en el método de conteo de huellas subestima mucho la densidad, no obstante es relativamente fácil aplicar el conteo de huellas en transectos dando información importante para conocer la densidad. Estos dos nuevos modelos sirven como un indicador de la densidad, ya que calibran el índice directo y de huellas, en cada caso, a la densidad obtenida con el modelo de FOURIER considerándolo como más exacto.

## **1. Modelo Alternativo I Basado en el Conteo de Huellas.**

Este modelo para estimar la densidad a partir del índice de huellas, surgió debido a la facilidad con que pueden ser contadas las huellas de venado en el área de estudio en comparación del conteo directo de animales. En un contexto más amplio, esto parte de la necesidad de encontrar un método o modelo que sea aplicable a distintas especies de mamíferos en diversos habitats, en los cuales es más fácil observar sus huellas que ver a los animales directamente (M.Aranda, comunicación personal). Este modelo será referido como ALTERNATIVO I.

Encontrar huellas frescas de venado sobre el camino implica que en determinado momento el observador tuvo la oportunidad de ver al animal que dejó las huellas. Este animal pudo haber sido visto sobre el camino o a determinada distancia perpendicular al mismo. Esta distancia perpendicular no puede ser mayor al ancho máximo al cual se han visto los venados con anterioridad en ese mismo transecto. Si se determina este ancho, entonces el índice de huellas (No.huellas/500 m) puede convertirse a número de animales/km<sup>2</sup>. Pero antes debe considerarse el número de veces que un venado cruza el camino durante su período de actividad de 24 hrs. Esto dependerá de la ubicación de los caminos con respecto a los distintos tipos de habitats, de cómo seleccione y use el venado el habitat, de variaciones temporales, entre otros. Se sabe de otros estudios (Larson et al. 1978; Tierson et al. 1985) que el venado restringe su actividad diaria a un rango pequeño dentro de su

ámbito hogareño. Normalmente, el patrón de actividad tiene una forma elíptica con dos centros de actividad, donde come, descansa y pernocta (Larson et al. 1978). El asunto es cómo se mueve y cuántas veces al día cruza el camino. Este problema es discutido por Servín et al. (1987) para un carnívoro. El venado presenta dos picos de actividad, uno al amanecer y otro al atardecer (Kammermeyer y Marchinton 1977). En Chamela también se presenta este patrón de actividad, aunque tiene mucha actividad a lo largo del día (Figura 11).

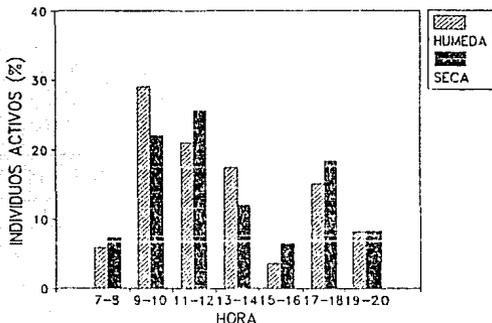


Figura 11. Patrón de actividad diurna del venado en el área de estudio, basado en la observación directa de individuos activos durante 1989 y 1990.

En la Figura 12 se presentan dos posibilidades de cruces. La primera es que permanezca medio día en un centro de actividad y medio en el otro, y cruce dos veces un camino. La otra posibilidad es que el venado use dos veces cada centro de actividad durante las 24 hrs, y cruce 4 veces el camino. Por las observaciones realizadas en Chamela, es probable que se encuentren ambos patrones. El promedio de cruces que se obtiene de ambos casos es de 3. Este promedio es también el encontrado por Daniel y Freis (1971). Por lo tanto, para convertir de número de huellas a número de animales, es necesario dividir el índice entre 3, para obtener un promedio del número de venados que cruzaron los caminos. El modelo propuesto es:

$$DENSIDAD = \frac{INDICE \times \left(\frac{2}{3}\right) \times 100}{A}$$

donde: **INDICE**= el promedio de huellas por 500 m; **2**= factor para convertir el índice a huellas por kilómetro; **3**= número de veces que en promedio cruza un venado el camino; **100**= factor para convertir ind/ha a ind/km<sup>2</sup>; **A**= número de hectáreas abarcadas en un kilómetro, específicamente  $A=(1000 \times 2 \times W)/10000$ . El problema es definir el ancho **W**.

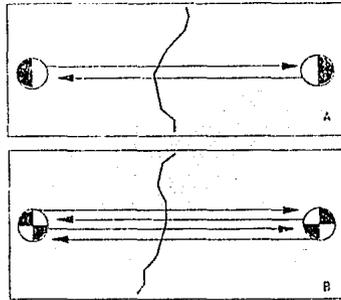


Figura 12. Movimientos hipotéticos de un venado en un período de 24 hrs y el número de cruces sobre el camino.

Se estimaron las densidades con el modelo ALTERNATIVO I a distintos anchos (10, 20, 30 y 40m) (Cuadro 18). Se encontró diferencia significativa entre las estimaciones obtenidas a distintos anchos (ANOVA,  $F=27.033$ ,  $gl=3$  y  $12$ ,  $p<0.01$ ), siendo las estimaciones a un ancho de 10.0 m mayores a las demás, en seguida la de 20.0 m, e iguales las de 30.0 m y 40.0 m (SNK,  $p<0.05$ ).

Comparando las estimaciones obtenidas a cada ancho contra el modelo de FOURIER, se obtuvo que a un ancho de 10.0 m hay diferencias significativas ( $t=7.482$ ,  $gl=10$ ,  $p<0.001$ ), a un ancho de 20.0 m también hay diferencia significativa ( $t=4.317$ ,  $gl=10$ ,  $p<0.01$ ), a un ancho de 30.0 m no hubo diferencia ( $t=1.647$ ,  $gl=10$ ,  $p>0.05$ ), y a un ancho de 40.0 m tampoco hubo diferencia significativa ( $t=0.174$ ,  $gl=10$ ,  $p>0.05$ ). Por lo tanto, el modelo ALTERNATIVO I da estimaciones muy semejantes a las obtenidas con el modelo FOURIER, cuando se utiliza un ancho de 40.0 m. Entonces, la fórmula se puede expresar mejor como:

$$DENSIDAD = \left( \frac{INDICE}{8} \right) \times \left( \frac{2}{3} \right) \times (100)$$

donde 8 es el número de hectáreas en un kilómetro de recorrido. La expresión puede reducirse a:

$$DENSIDAD = INDICE \times 8.333$$

Se encontró que hay diferencia estadísticamente significativa entre el modelo ALTERNATIVO I con el de TYSON ( $t=9.800$ ,  $gl=6$ ,  $p<0.01$ ) y con el de DANIEL-FRELS ( $t=9.797$ ,  $gl=6$ ,  $p<0.01$ ). Por otro lado, el modelo ALTERNATIVO I detectó cambios en la densidad de la época húmeda a la seca ( $t=2.91$ ,  $gl=9$ ,  $p<0.05$ ).

Cuadro 18. Estimación de la densidad (ind/km<sup>2</sup>) obtenidas por el modelo ALTERNATIVO I a distintos anchos.

MES	ANCHO DEL TRANSECTO (m)			
	10	20	30	40
OCT-89	28.8	19.2	12.8	9.6
ENE-90	36.3	24.2	16.1	12.1
MAR-90	44.0	29.3	19.6	14.7
AGO-90	36.3	24.2	16.1	12.1

El modelo ALTERNATIVO I es un índice de densidad ya que calibra el número promedio de huellas por 500 m con base al modelo de FOURIER. El modelo ALTERNATIVO I, básicamente se convierte en un modelo de transecto franja en el momento que se define el ancho máximo de observación. La densidad dependerá de la determinación de este ancho, variaciones en el mismo tendrán como consecuencia variaciones en la estimación de la densidad. Si sólo se requiere de una estimación rápida de la densidad en Chamela, este modelo es una alternativa confiable.

## 2. Modelo Alternativo II Basado en el Coteo Directo.

En el presente estudio se propone que se puede obtener una estimación de la densidad de venados por km<sup>2</sup> a partir del índice de conteo directo de venados en transectos, conociendo básicamente cuál es el área efectiva muestreada por kilómetro de transecto. Este modelo será referido en adelante como modelo ALTERNATIVO II. El modelo propuesto es:

$$DENSIDAD = \frac{INDICE}{A} \times (100)$$

donde: **INDICE**= promedio de venados vistos en un kilómetro de recorrido; **(100)**= factor para convertir de hectáreas a kilómetro cuadrado; y **A**= número de hectáreas abarcadas en un kilómetro de transecto, específicamente  $A = (1000 \times 2 \times W) / 10000$ . Básicamente, el problema se reduce a determinar el área en el cual efectivamente se observaron todos los venados, para lo cual, es necesario determinar el ancho (**W**) del transecto.

Dado que los datos fueron agrupados en cuatro clases, se prosiguió a estimar la densidad a diferentes anchos con el modelo ALTERNATIVO II (Cuadro 19). Existe diferencia significativa entre las estimaciones de la densidad obtenidas a distintos anchos de transecto (ANOVA,  $F=37.9$ ,  $gl=3$  y  $28$ ,  $p<0.01$ ). Siendo las estimaciones iguales de  $w=30.0$  m y  $40.0$  m y diferentes a las obtenidas con un  $w=10.0$  m ó  $20.0$  m las cuales también difieren entre sí (SNK,  $p<0.05$ ).

Se compararon las estimaciones del modelo ALTERNATIVO II con las de FOURIER. A un ancho de  $10.0$  m hay diferencia significativa ( $t=4.131$ ,  $gl=14$ ,  $p<0.05$ ), a un ancho de  $20.0$  m no hubo diferencia significativa ( $t=0.067$ ,  $gl=7$ ,  $p>0.05$ ), a un ancho de  $30.0$  m no hubo diferencia significativa ( $t=2.1026$ ,  $gl=14$ ,  $p>0.05$ ) y a un ancho de  $40.0$  m sí hubo diferencia significativa ( $t=3.2$ ,  $gl=14$ ,  $p<0.05$ ). Por lo tanto, aplicando este modelo con una  $w=20.0$  m se obtienen estimaciones muy parecidas a las obtenidas con el modelo de FOURIER. Por lo tanto, el modelo se reduce a:

$$DENSIDAD = \frac{INDICE}{4} \times (100)$$

donde el factor **4** es el número de hectáreas efectivas muestreadas en un kilómetro de recorrido. En su expresión más simple, el modelo ALTERNATIVO II se puede reducir a:

$$DENSIDAD = INDICE \times 25.0$$

Este modelo es un índice de la densidad ya que calibra el promedio de venados vistos por kilómetro de recorrido (un índice que puede ser relativamente fácil de obtener en campo, aspecto que se discute en la sección 1 página 59), con el modelo de FOURIER. El modelo ALTERNATIVO II se puede emplear en el área de Chamela con la confianza de que multiplicando el promedio de venados vistos por kilómetro de recorrido por el factor **25.0** dará una estimación de la densidad de venados por  $km^2$ , bastante similar a la obtenida con el modelo de FOURIER.

Cuadro 19. Estimaciones de la densidad (ind/km<sup>2</sup>) obtenidas con el modelo ALTERNATIVO II propuesto en el presente estudio.

MES	ANCHO DEL TRANSECTO (m)			
	10	20	30	40
JUL-89	17.5	8.8	5.8	4.4
AGO-89	29.0	14.5	9.7	7.3
OCT-89	22.5	11.3	7.5	5.6
NOV-89	18.0	9.0	6.0	4.5
DIC-89	21.0	10.5	7.0	5.3
ENE-90	16.0	8.0	5.3	4.0
MAR-90	28.5	14.3	9.5	7.1
JUN-90	31.5	15.8	10.5	7.9

### Recomendaciones para Muestreos Futuros

Esta sección tiene la finalidad de dar sugerencias para muestreos futuros de la población en el área de estudio y en aquellas adyacentes que presenten características similares. Los tres métodos tienen sus ventajas y desventajas, el empleo de cualquiera de ellos dependerá de la finalidad de investigación. Para mayores detalles en el diseño muestral, se recomiendan las siguientes referencias (Neff 1968; Overton 1969; Daniel y Frels 1971; Seber 1973; Eberhardt 1978a; Anderson et al. 1979; Burnham et al. 1980; Davis y Winstad 1980; Mooty 1980; Gates 1981; Eberhardt y Simmons 1987; Hanowski et al. 1990).

#### **1. Cuento Directo de Venados.**

El muestreo con el método de conteo directo debe diseñarse de tal forma que se cumplan con los supuestos y que se obtenga un tamaño de muestra  $\geq 40$  individuos (Burnham et al. 1980; Hanowski et al. 1990). El número de individuos observados dependerá del largo del transecto y de la visibilidad a los lados de éste. Burnham et al. (1980) proveen la forma para estimar el largo de transecto necesario para obtener un tamaño de muestra dentro del nivel de confianza que el investigador requiera, pero antes se necesitan datos obtenidos de un premuestreo. Las fórmulas, son:  $L = (b/CV(D_s)^2)(L_1/n)$  y  $b = n/CV(D)^2$ , donde  $L$  = largo del transecto necesario,  $CV(D_s)$  = coeficiente de variación seleccionado por el investigador,  $n$  = número de animales vistos en el

muestreo piloto,  $L_1$  = largo del transecto del muestreo piloto y  $CV(D)$  = coeficiente de variación obtenido del muestreo piloto.

En ningún mes durante el estudio se obtuvo el tamaño de muestra recomendado. Esto se debe, como ya se explicó, a la baja visibilidad a los lados de los caminos (<40.0 m) y a lo corto del transecto (<11 km). Por tal motivo, no es posible en Chamela obtener una estimación muy precisa ( $\pm 10\%$ ) de la densidad en un mismo mes. Según las fórmulas anteriores aplicadas a los datos obtenidos en el estudio, se requeriría de un transecto con un largo aproximado de 110 km para tener una estimación con una precisión del 10%, o un transecto de 30 km para obtenerla con un 20% en un mismo mes. Dadas las dimensiones de la Estación, no es posible tener el transecto con el largo necesario incluso a un 20%. Una forma de solucionar este problema sería establecer varios transectos en otras áreas adyacentes a la Estación y muestrearlas el mismo mes. Esto no es problema, ya que  $L = \sum l_i$ , donde  $l_i$  sería el subtransecto. Con esto se tendría una estimación de la densidad para el área de Chamela y no sólo para la Estación de Biología. Engel-Wilson et al. (1981) encontraron que aumentando el largo del transecto y/o el número de réplicas, se reduce la variación en las estimaciones. Aunque Hanowski et al. (1990) mencionan que aumentar el número de réplicas en áreas pequeñas no necesariamente disminuye la varianza de los datos pues ésta puede ser mucho más grande que la varianza en áreas mayores.

Por otro lado, si sólo se quiere censar a los venados dentro de la Estación, entonces el procedimiento adecuado será realizar réplicas en el tiempo, con el fin de tratar de disminuir el CV, ya que se observó que el CV para un sólo mes es muy alto debido al bajo tamaño de muestra para ese mismo mes. Se recomienda recorrer tres veces los caminos: "Eje Central", "Norte", "Sur", "Tejón", "Ardilla", "Calandria" y "Entrada" (aproximadamente 11.0 km). Si en esos 3 recorridos se sospecha que algunos individuos pudieran ser los mismos observados en distintos momentos, deben entonces eliminarse de los cálculos. Cada vez que se observe a un venado debe medirse la distancia perpendicular al transecto o la distancia radial y el ángulo del animal al observador. Dado que la velocidad de caminata afecta el número de animales observados (Hone 1986) y a que la densa vegetación no permite observar a los venados desde un vehículo andando, se recomienda realizar los muestreos a pie durante el día. Si se quiere utilizar el método para conocer cambios en la población a través del tiempo, es más adecuado aplicarlo entre años en la misma época. Con base en la menor variabilidad en las estimaciones de todos los modelos, la época húmeda es la más adecuada para realizar los censos. Por lo tanto, se debe realizar el censo entre julio y noviembre, y tratar a cada mes como una muestra independiente. Con este diseño se requeriría aproximadamente 5 días/hombre/mes ó 25 días/hombre/año, para obtener una estimación a un nivel de confianza del 10-20%. Para estimar la densidad se recomienda emplear el programa TRANSECT. Con base en los resultados y análisis de los mismos, se tienen los siguientes estimadores como opciones recomendables para Chamela y áreas circundantes: modelo de FOURIER como el más exacto y altamente recomendable, modelo de COX por la facilidad de cálculos y, si sólo se requiere un indicador de la densidad, el modelo ALTERNATIVO II. Según los resultados obtenidos en el presente estudio, siguiendo este procedimiento se podrían detectar cambios hasta de un 15% en el tamaño de la población de un año a otro.

Para obtener un índice del número de venados detectados por kilómetro de transecto recorrido y poder aplicar el modelo desarrollado en este estudio (ALTERNATIVO II), se deben considerar los siguientes aspectos. El índice es muy variable de un mes a otro, esto tiene como consecuencia un coeficiente de variación muy alto para un mismo mes (ver Cuadro 1). Por lo tanto, para obtener un índice confiable es recomendable considerar los resultados del modelo de simulación presentados en la Figura 9 (sección 2 página 48). Los límites de predicción al 95% indican que con un transecto de 10 km recorrido sólo una vez se tendría una predicción de la densidad poco confiable dada la alta variabilidad del índice; por el contrario, si el transecto se recorre 25 veces los límites de la predicción se estrechan considerablemente lo cual tiene como consecuencia una predicción más confiable de la densidad. Una segunda alternativa sería recorrer una vez un transecto de 250 km, que, como ya se mencionó, para el área de estudio no es posible. Por lo tanto, si bien obtener el índice es muy fácil en términos de cálculo, es alto el número de réplicas necesarias para que sea confiable, lo cual lo hace poco práctico en términos de esfuerzo de muestreo. No es recomendable realizar las 25 réplicas en un mismo mes ya que el índice es afectado por la actividad de los animales la cual varía a lo largo del año. En este sentido, el modelo de FOURIER es más adecuado.

## **2. Conteo de Huellas.**

Por el momento, se recomienda el modelo ALTERNATIVO I ( $D = \text{INDICE} \times 8.33$ ) para obtener un indicador de la densidad en la Estación. Para obtener un índice adecuado se recomienda aumentar el número de transectos de 500 m, para lo cual es necesario mejorar las condiciones de los caminos removiendo mecánicamente la tierra. Por otro lado, se observó que el aumentar de 2 a 5 el número de días de revisión de los transectos, no mejoró la precisión de la estimación, por lo cual se recomienda sólo recorrer 2 ó 3 veces los transectos en días consecutivos. Mooty et al. (1984) mencionan que es mejor aumentar el número de transectos que el número de replicas por transecto. Si se adecuaban las partes de los caminos que actualmente no sirven, en la Estación se tendría un máximo de 13.5 km de transectos (27).

## **3. Conteo de Grupos Fecales.**

El dato importante que se requiere para convertir de número de grupos de excrementos a número de venados, es la tasa de defecación. Sin embargo, ésta no se tiene para el área de estudio. Por el momento, y con base en los resultados, es más adecuado emplear una tasa de 26.9 grupos fecales/ind/día, que la estándar de 12.7. Algunos otros aspectos importantes que deben considerarse para aplicar este método son discutidos en otros trabajos (Ezcurra y Gallina 1981; Galindo-L y Morales 1987; Gallina 1990). Para Chamela, se recomienda el método de conteo directo de venados para obtener datos demográficos de la población.

#### 4. Obtención de Otros Datos Demográficos.

En el presente estudio se puso énfasis en el análisis y evaluación de métodos para estimar la densidad en el bosque tropical caducifolio y no se consideró su utilidad para obtener otros parámetros demográficos como proporción de sexos, clases de edades, tasa de natalidad, entre otros. En algunos estudios se han empleado las huellas y grupos fecales para obtener datos demográficos (McCullough 1965; Romo 1987; Ezcurra y Gallina 1981; Gallina 1990). Sin embargo, ha sido más común emplear la observación directa de los animales para obtener estos datos (Downing et al. 1977; Hirth 1977; Smith y Lecount 1979; McCullough 1982b; Alados y Escos 1986; Villarreal 1990). Como ya se mencionó, para Chamela la observación directa de los venados es el método más confiable para estimar la densidad. Realizando observaciones detalladas, éste método también puede proveer de información para conocer otros parámetros demográficos (ver por ejemplo el Apéndice 2).

El uso del hábitat es otro aspecto que no se analizó en detalle en este estudio. Si bien ha sido muy común el conteo de rastros para conocer el uso del hábitat (McCaffery 1976; Gallina 1990; Gallina et al. 1991; Leopold y Krausman 1991), también se ha encontrado que éstos presentan algunos problemas (Collins y Urness 1981; Loft y Kie 1988). Se ha empleado también el método de observación directa para conocer el uso del hábitat (Suring y Vohs 1979; Collins y Urnes 1983; Alados 1985, 1986; Cajal 1989). Sin embargo, para conocer con más detalle éste aspecto ha sido muy común el empleo de la radiotelemetría (Kohn y Mooty 1971; Kammermeyer y Marchinton 1977; Larson et al. 1978; Rodríguez et al. 1985; Tierson et al. 1985; Mooty et al. 1987; Beier y McCullough 1990), si bien tampoco ésta deja de estar exenta de sesgos (Springer 1979).

De lo anterior se desprende un aspecto básico y es que no existe un sólo método que sea totalmente satisfactorio para obtener datos demográficos y de uso del hábitat para todos los tipos de hábitats y a un costo de muestreo razonable. En aquellos lugares donde sea factible observar a los venados y de ser posible marcarlos, el método de observación directa es la alternativa recomendada. En las áreas donde no sea posible observar a los venados, el empleo de sus rastros es la alternativa pero se debe tener en cuenta los posibles sesgos.

## CONCLUSIONES

Para el área de estudio, ninguno de los tres métodos analizados (conteo directo, conteo de huellas y conteo de grupos fecales) da resultados totalmente satisfactorios. Todos presentan ventajas y desventajas. Los métodos dan estimaciones de la densidad significativamente distintas. Inclusive, en un mismo método la densidad varía dependiendo del modelo empleado. También, la estimación de la densidad puede estar influenciada por el patrón de actividad de los venados.

Con base en el análisis de los supuestos de cada método y la validación de las estimaciones a través de un modelo de simulación, se tiene que el método de conteo directo de venados, empleando el modelo de Fourier, da la estimación más confiable y es el recomendado para el área de estudio. No obstante, los modelos COX y ALTERNATIVO II (este último desarrollado en el presente estudio), por su facilidad de cálculos y la semejanza de las estimaciones con el modelo de FOURIER, pueden también emplearse para estimar la densidad en este tipo de habitat. La época húmeda (julio a noviembre) es el período más conveniente para realizar los muestreos con el método directo, en caminatas diurnas. La densidad poblacional promedio anual del venado cola blanca en el bosque tropical caducifolio de Chamela en el período de julio 1989 a junio de 1990, fue de  $12.0 \pm 1.9$  ind/km<sup>2</sup>.

La exactitud en la estimación por medio de los métodos indirectos (conteo de huellas y grupos fecales) depende, en gran medida, de conocer el patrón de actividad diaria y la tasa de defecación promedio para este tipo de habitat. Cuando se conozcan éstos aspectos, no debe descartarse la utilidad de estos métodos en este tipo de habitat. Para el área de estudio, se recomienda emplear una tasa de defecación de 26.9 gpos/ind/día en el método de conteo de excrementos y, en el método de huellas, el modelo ALTERNATIVO I desarrollado en el presente estudio.

Por lo tanto, la estimación de la densidad obtenida en un área y momento dado depende de los siguientes factores: el número de animales que hay en sí en el área; el patrón de actividad de los venados (ritmos circadianos, período del ciclo reproductivo, uso del habitat); el método y modelo empleado para calcular la densidad; y los errores de muestreo.

Los resultados del presente estudio tienen consecuencias importantes para la conservación y aprovechamiento del venado cola blanca, tanto en Chamela como en otras áreas con características similares. La densidad, como un parámetro demográfico, es un reflejo de las tasas de mortalidad, de natalidad y de migración. El manejo del venado debe estar basado en un conocimiento preciso de su demografía y, en este sentido, es fundamental conocer el número de individuos de la población y los factores que lo determina. Esto es crítico en aquellos lugares donde se plantea un aprovechamiento intensivo de las poblaciones de venados (por ejemplo, para caza deportiva o para extracción de hembras para repoblar otras áreas). Dar estimaciones muy sesgadas

son de consecuencias importantes, principalmente en aquellas áreas donde se pretende aprovecharlos. Una sobreestimación puede estimular un exceso de caza que disminuya peligrosamente el tamaño de la población, o que aumente la proporción hembra/macho a un nivel no adecuado para fines de cosecha cinegética. Por tal motivo, es básico seleccionar un método que brinde estimaciones poco sesgadas a un costo razonable. Esto significa que antes de dar conclusiones y plantear alternativas de manejo, es indispensable evaluar varios métodos y modelos para las condiciones del área donde se pretenda aprovechar al venado. Por otro lado, en áreas donde no se tiene contemplado el aprovechamiento de la población, no siempre es necesario obtener una estimación exacta debido a que éste normalmente requiere de un intenso esfuerzo de muestreo lo cual incrementa los costos. Para tales casos, es más adecuado el empleo de un método que provea de un índice preciso el cual pueda detectar cambios en la población a través del tiempo o entre distintas áreas.

Lo anterior implica que antes de iniciar cualquier programa de censo poblacional, es básico tener muy claros los objetivos y finalidades del estudio. La selección del método de censo depende de este aspecto. Finalmente, es necesario la realización de más estudios que profundicen sobre aspectos de la biología y ecología de este herbívoro en el bosque tropical caducifolio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALADOS, C.L. 1985. An analysis of vigilance in the Spanish ibex (Capra pyrenaica). Z. Tierpsychol. 68: 58-64.
- ALADOS, C.L. 1986. Time distribution of activities in the Spanish ibex, Capra pyrenaica. Biology of Behaviour 11: 70-82.
- ANDERSON, B.W. y R.D. OHMART. 1981. Comparisons of avian census results using variable transect and variable circular plot techniques. Studies in Avian Biology No.6: 186-192.
- ANDERSON, D.R., K.P. BURNHAM y B.R. CRAIN. 1978. A log-linear model approach to estimation of population size using the line transect sampling method. Ecology 59: 190-193.
- ANDERSON, D.R., J.L. LAAKE, B.R. CRAIN y K.P. BURNHAM. 1979. Guide-lines for line transect sampling of biological populations. Journal of Wildlife Management 43: 70-78.
- BARNES, A., G.J.E. HILL y G.R. WILSON. 1985. Correcting for incomplete sighting in aerial surveys of kangaroos. Australian Wildlife Research 13: 339-348.
- BATCHELER, C.L. 1975. Development of distance method for deer census from pellet groups. Journal of Wildlife Management 39: 641-652.
- BAYLISS, P., G.J.W. WEBB, P. WHITEHEAD, K. DEMPSEY y A. SMITH. 1986. Estimating the abundance of saltwater crocodiles, Crocodylus porosus Schneider, in trial wetlands of the northern Territory: a mark-recapture experiment to correct spotlight counts to absolute numbers, and the calibration of helicopter and spotlight counts. Australian Wildlife Research 13: 309-320.
- BEGON, M. 1989. Ecología Animal: Modelos de Cuantificación de Poblaciones. Editorial Trillas, México. 134pp.
- BEIER, P. y D.R. McCULLOUGH. 1990. Factors influencing white-tailed deer activity patterns and habitat use. Wildlife Monographs No. 109, 51pp.
- BENNETT, L.J., P.F. ENGLISH y R. McCAIN. 1940. A study of deer populations by use of pellet group counts. Journal of Wildlife Management 4: 398-403.
- BERGSTEDT, R.A. y D.R. ANDERSON. 1990. Evaluation of line transect sampling based on remotely sensed data from underwater video. Transnational American Fisheries Society 119: 86-91.
- BOBEK, B., K. PERZANOWSKI y J. ZIELIŃSKI. 1986. Red deer population census in mountains: testing of an alternative method. Acta Theriologica 31: 423-431.
- BRENNAN, L.A. y W.M. BLOCK. 1986. Line transect estimates of mountain quail density. Journal of Wildlife Management 50: 373-377.
- BROCKELMAN, W.Y. y R. ALI. 1987. Methods of surveying and sampling forest primate populations. Primate Conservation in the Tropical Forest. 23-62.
- BULL, E.L. 1981. Indirect estimates of abundance of birds. Studies in Avian Biology No. 6: 76-80.
- BULLOCK, S.H. 1986. Climate of Chamela, Jalisco, and trends in the South Coastal Region of Mexico. Arch. Meteorological Geophaphic Bioclimate 36: 297-316.

- BURGOYNE, G.E. y M.L. MOSS. 1974. The 1974 deer pellet group surveys. Survey and Statistical Services Report No.134, 15pp.
- BURNHAM, K.P. y D.R. ANDERSON. 1976. Mathematical models for nonparametric inferences from transect line data. *Biometrics* 32: 325-336.
- BURNHAM, K.P. y D.R. ANDERSON. 1984. The need for distance data in transect counts. *Journal of Wildlife Management* 48: 1248-1254.
- BURNHAM, K.P., D.R. ANDERSON y J.L. LAAKE. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs* 72: 1-202.
- BURNHAM, K.P., D.R. ANDERSON y J.L. LAAKE. 1981. Line transect estimation of bird population density using a Fourier series. *Studies in Avian Biology*, 6: 466-482.
- BURNHAM, K.P., D.R. ANDERSON y J.L. LAAKE. 1985. Efficiency and bias in strip and line transect sampling. *Journal of Wildlife Management* 49: 1012-1018.
- CAJAL, J.L. 1989. Uso de habitat por vicuñas y guanacos en la reserva San Guillermo, Argentina. *Vida Silvestre Neotropical* 2: 21-31.
- CARRERA, J. 1985. Manejo de un ható de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de Coahuila. In: Simposium Internacional de Fauna Silvestre. The Wildlife Society de México, A.C. y SEDUE, México. 2: 756-761.
- CAUGHLEY, G. 1974. Bias in aerial survey. *Journal of Wildlife Management* 38: 921-933.
- CAUGHLEY, G. 1977. Analysis of Vertebrate Populations. Wiley-Interscience Publication. 234pp.
- CAUGHLEY, G. y D. GRICE. 1982. A correction factor for counting Emus from the air, and its application to counts in western Australia. *Australian Wildlife Research* 9: 253-259.
- CERVANTES, L. y M. MASS. 1988. Relación lluvia-escurrimiento en un sistema pequeño de cuencas de selva baja caducifolia. *Ingeniería Hidráulica en México/ enero-abril*. 30-42.
- CLEMENTE, F. 1984. Utilización de la vegetación nativa en la alimentación del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en el estado de Aguascalientes. Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 87pp.
- COLLINS, W.B. y P.J. URNESS. 1981. Habitat preferences of mule deer as rated by pellet-group distributions. *Journal of Wildlife Management* 49: 953-972.
- COLLINS, W.B. y P.J. URNESS. 1983. Feeding behavior and habitat selection of mule deer and elk on northern Utah summer range. *Journal of Wildlife Management* 47: 646-663.
- CONANT, S., M.S. COLLINS y C.J. RALPH. 1981. Effects of observers using different methods upon the total population estimates of two resident island birds. *Studies in Avian Biology* No.6: 377-381.
- CONNER, R.N. y J.G. DICKSON. 1980. Strip transect sampling and analysis for avian habitat studies. *Wildlife Society Bulletin* 8: 4-10.
- COULSON, G.M. y J.A. RAINES. 1985. Methods for small-scale surveys of gray kangaroo populations. *Australian Wildlife Research* 12: 119-125.

- CRAIN, B.R., K.P. BURNHAM, D.R. ANDERSON y J.L. LAKE. 1978. A Fourier series estimator of population-density for line transect sampling. Utah St. Univ. Press, Logan, Utah. 25pp.
- DANIEL, W.S. y D.B. FRELS. 1971. A track-count method for censusing white-tailed deer. Texas Parks and Wildlife Departement No.7 18pp.
- DAVIS, D.E. y R.L. WINSTAD. 1980. Estimating the numbers of wildlife populations. Pp 221-245 in S.D. Schamnitz (ed.) Wildlife Management Techniques Manual. 4<sup>a</sup> Ed. The Wildlife Society, Washington, D.C.
- DAWSON, D.G. 1981. The usefulness of absolute ("census") and relative ("sampling" or "index") measures of abundance. Studies in Avian Biology No. 6: 554-558.
- DOWNING, R.L., W.H. MOORE y J. KIGHT. 1965. Comparison of deer census techniques applied to a know population in a Georgia enclosure. Southeastern Game and Fish Communicating Meeting: 26-30.
- DOWNING, R.L. E.D. MICHEAL y R.J. POUX. 1977. Accuracy of sex and age ratio counts of white-tailed deer. Journal of Wildlife Management 41: 709-714.
- DOWNING, R.L. y D.C. GUYNN. 1985. A generalized sustained yield table for white-tailed deer. Symposium Game Harvest Management. Kingsville, Texas: 95-103.
- DIETRICH, U., J.FRANCOIS y J.C. MORENO. 1990. El conteo de heces fecales ("pellet-group-count") como método para estimar la densidad poblacional de ungulados: una discusión a base de nuevos datos. In VIII Simposio sobre Fauna Silvestre en México. UNAM y AZAHM. México. 52-62.
- DRUMMER, T.D. 1991. SIZETRAN: analysis of size-biased line transect data. Wildlife Society Bulletin 19: 117-118.
- EBERHARDT, L.L. 1968. A preliminary appraisal of line transects. Journal of Wildlife Management 32: 82-88.
- EBERHARDT, L.L. 1978a. Transect methods for population studies. Journal of Wildlife Management 42: 1-31.
- EBERHARDT, L.L. 1978b. Apprasing variability in population studies. Journal of Wildlife Management 42: 207-238.
- EBERHARDT, L.L. 1990. Using radio-telemetry for mark-recapture studies with edge effects. Journal applied Ecology 27: 259-271.
- EBERHARDT, L.L. y R.C. VAN ETEN. 1956. Evaluation of the pellet group count as a deer census method. Journal of Wildlife Management 20: 70-74.
- EBERHARDT, L.L. y M.A. SIMMONS. 1987. Calibration population indices by doubling sampling. Journal of Wildlife Management 51. 665-675.
- EMLEN, J.T. 1971. Population densities of birds derived from transect counts. Auk 88: 323-342.
- EMLEN, J.T. 1977. Estimating breeding season bird densities from transect counts. Auk 94: 455-468.
- ENGEL-WILSON, R.W., A.K. WEBB, K.V. ROSENBERG, R.D. OHMART y B.W. ANDERSON. 1981. Avian censusing with the strip method: a computer simulation. Studies in Avian Biology No.6: 445-449.
- ESCOS, J. y C.L. ALADOS. 1988. Estimating mountain ungulate density in Sierras de Cazorla y Segura. Mammalia 52: 425-428.

- EZCURRA, E. y GALLINA, S. 1981. Biology and population dynamics of white-tailed deer in northwestern Mexico. Pp 77-108 in P.F. Follot y S. Gallina (eds.) Deer Biology, Habitat Requirements, and Management in Western North America. Instituto de Ecología, A.C. México.
- FIRCHOW, K.M., M.R. VAUGHAN y W.R. MYTTON. 1990. Comparison of aerial survey techniques for pronghorns. Wildlife Society Bulletin 18: 18-23.
- FLOYD, T.J., L.D. MECH y M.E. NELSON. 1979. An improved method of censusing deer in deciduous-coniferous forest. Journal of Wildlife Management 43: 258-261.
- FRANZREB, K.E. 1976. Comparison of variable strip transect and spot-map methods for censusing avian populations in a mixed-coniferous forest. Condor 78: 260-262.
- FREDDY, D.J. y D.C. BOWDEN. 1983. Sampling mule deer pellet-group densities in juniper-pinyon woodland. Journal of Wildlife Management 47: 476-485.
- FULLER, T.K. 1991. Do pellet count index white-tailed deer numbers and population changes? Journal of Wildlife Management 55: 393-396.
- GALINDO-G, J.R., M. de la ROSA, A. GONZALEZ, L. SNOOK y J.H. SHAW. 1985. Manejo forestal y el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en Macuiltilanguis, Oaxaca, México. In Primer Simposio Internacional de fauna Silvestre. The Wildlife Society México. México, D.F. 512-529.
- GALINDO-LEAL, C. y M.A. MORALES. 1987. Aspectos del muestreo en la estimación de poblaciones de venados. In V Simposio sobre Fauna Silvestre en México. UNAM y AZARM, México. 328-332.
- GALLINA, S. 1990. El venado cola blanca y su habitat en La Michilía Durango. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 98pp.
- GALLINA, S., E. MAURY y V. SERRANO. 1978. Hábitos alimenticios del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Rafinesque) en la reserva La Michilía, estado de Durango. Pp. 47-108. In G. Halffter (ed.), Reservas de la Biosfera en el Estado de Durango. Instituto de Ecología, A.C. México, D.F.
- GALLINA, S., P. GALINA-TESSARO y S. ALVAREZ-CARDENAS. 1991. Mule deer density and pattern distribution in the pine-oak forest at the Sierra de la Laguna in Baja California Sur, Mexico. Ethology, Ecology and Evolution 3:27-33.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koepfen. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. 246pp.
- GARCIA, L.C. y R. MONROY. 1985. Estimación de la población de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en la selva baja caducifolia del sureste del Estado de Morelos. In: III Simposio sobre Fauna Silvestre. UNAM y AZARM. México. 68-80.
- GATES, C.E. 1980. Linetran, a general computer program for analyzing line-transect data. Journal of Wildlife Management 44: 659-661.
- GATES, C.E. 1981. Optimizing sampling frequency and numbers of transects and stations. Studies In Avian Biology No.6: 399-404.
- GATES, C.E., W.H. MARSHALL y D.P. OLSON. 1968. Line transect method of estimating grouse population densities. Biometrics 24: 135-145.

- GLANZ, W.E. 1982. The terrestrial mammal fauna of Barro Colorado Island: census and long-term changes. Pp. 455-468 *In* E.H. Leigh, A.S. Rand y D.M. Windsor (eds.), *The Ecology of a Tropical Forest. Seasonal Rhythms and Long-Term Changes*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- GUTHERY, F.S. 1988. Line transect sampling of bobwhite density on rangeland: evaluation and recommendations. *Wildlife Society Bulletin* 16: 193-203.
- HALLS, L.K. (ed.). 1984. *White-Tailed Deer: Ecology and Management*. Published Stackpole Books. Harrisburg, PA. 870pp.
- HANOWSKI, J.M., G.J. NIEMI y J.G. BLAKE. 1990. Statistical perspectives and experimental design when counting birds on line transects. *Condor* 92: 326-335.
- HARDEN, R.H., R.J. MIUR y D.R. MILLEDGE. 1986. An evaluation of the strip transect method for censusing bird communities in forests. *Australian Wildlife Research* 13: 203-211.
- HARESTAD, A.S. y F.L. BUNNELL. 1987. Persistence of black-tailed deer fecal pellets in coastal habitats. *Journal of Wildlife Management* 51:33-37.
- HARLOW, R.F. y R.L. DOWNING. 1967. Evaluating the deer track census method used in the southeast. *Proc. 21th Annual Conference Southeast Association Game and Fish Communication* 39-41.
- HAYNE, D.W. 1984. Population dynamics and analysis. Pp. 203-210 *in* L.K. Halls (ed.), *White-Tailed Deer: Ecology and Management*. Published Stackpole Books. Harrisburg, PA.
- HEMINGWAY, P. 1971. Field trials of the line transect method of sampling large populations of herbivores. Pp 405-411 *in* E. Duffey y A.S. Watts (eds): *The Scientific Management of Animal and Plant Communities for Conservation*. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- HERNANDEZ, M.A., G. QUIÑONES y M. DIAZ. 1974. Estudio de la fauna silvestre en el área de Chuncucmil, Yucatán. *Revista Bosques y Fauna* 11: 35-45.
- HERRERA, C.M. 1980. Composición y estructura de dos comunidades mediterráneas de passeriformes. *Acta Vertebrata* 7(4):1-340.
- HIRTH, D.H. 1977. Social behavior of white-tailed deer in relation to habitat. *Wildlife Monographs* No. 53, 55pp.
- HONE, J. 1986. Accuracy of the multiple regression method for estimating population density in strip transects. *Australian Wildlife Research* 13: 121-126.
- HONE, J. 1988a. A test of the accuracy of line and strip transect estimators in aerial survey. *Australian Wildlife Research* 15: 493-497.
- HONE, J. 1988b. Evaluation of methods for ground survey of feral pigs and their sign. *Acta Theriologica* 33: 451-465.
- JENKINS, J.H. y R.L. MARCHINTON. 1969. Problems in censusing the white-tailed deer. *Proc. Symp. White-Tailed Deer Southern Forest Habitat*. 115-118.
- JETER, L.K. 1965. Census methods. Pp. 186-192 *In* R.F. Harlow y F.K. Jones (eds.) *The White-Tailed Deer In Florida*. Florida Game and Fresh Water Fish Commission, Technical Bulletin No. 9.

- KAMMERMEYER, K.E. y R.L. MARCHINTON. 1977. Seasonal change in circadian activity of radio-monitored deer. *Journal of Wildlife Management* 41: 315-317.
- KOHN, B.E. y J.J. MOOTY. 1971. Summer habitat of white-tailed deer in north-central Minnesota. *Journal of Wildlife Management* 35:476-487.
- LAAKE, J.L., K.P. BURNHAM y D.R. ANDERSON. 1979. User's manual for program TRANSECT. Utah State University Press, Logan, Utah. 28pp.
- LARSON, J.T., O.J. RONGSTAD y F.W. TERBILCOX. 1978. Movement and habitat use of white-tailed deer in southcentral Wisconsin. *Journal of Wildlife Management* 42: 113-117.
- LEOPOLD, A.S. 1965. Fauna Silvestre de México. IMRNR, México, D.F. 608pp.
- LEOPOLD, B.D. y P.R. KRAUSMAN. 1991. Factors influencing desert mule deer distribution and productivity in Southwestern Texas. *Southwestern Naturalist* 36: 67-74.
- LOFT, E.R. y J.G. KIE. 1988. Comparison of pellet-group and radio triangulation methods for assessing deer habitat use. *Journal of Wildlife Management* 52: 524-527.
- LOTT, E.J. 1985. Listados Florísticos de México. III. La estación de Biología Chamela, Jalisco. UNAM, México. 47pp.
- LOTT, E.J., S.H. BULLOCK y A. SOLIS-MAGALLANES. 1987. Floristic diversity and structure of upland and arroyo forests in coastal Jalisco. *Biotropica* 19: 228-235.
- LUDWING, J.A. y J.F. REYNOLDS. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons, New York. 337pp.
- MANDUJANO, S. y G. HERNANDEZ. 1990. Análisis de los factores ambientales que influyen sobre el nivel poblacional del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), en el Parque "Desierto de los Leones", D.F. Pp 351-364 in J.L. Camarillo y F. Rivera (eds.), *Áreas Naturales Protegidas en México y Especies en Extinción*. Serie Ecológica, ENEP-I, UNAM México, D.F.
- MANDUJANO, S. y V. RICO-GRAY. 1991. Hunting, use, and knowledge of the biology of the white-tailed deer, *Odocoileus virginianus* (Hays), by the maya of central Yucatan, Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 11(2): en prensa.
- MANDUJANO, S. y J.M. ARANDA. 1992. Cuento de venado con luz artificial: recomendaciones en su aplicación. *Revista DUMAC* (en prensa).
- McCAFFERY, K.R. 1976. Deer trail counts as an index to population and habitat use. *Journal Wildlife Management* 40: 308-316.
- McCULLOUGH, D.R. 1965. Sex characteristics of black-tailed deer hooves. *Journal of Wildlife Management* 29: 210-212.
- McCULLOUGH, D.R. 1982a. The theory and management of *Odocoileus* populations. Pp. 535-549 in *Biology and Management of the Cervidae*. National Park, Smithsonian Institution.
- McCULLOUGH, D.R. 1982b. Evaluation of night spotlighting as a deer study technique. *Journal of Wildlife Management* 46: 963-973.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- MEDINA, G., A. MARTINEZ y E. HABITUD. 1997. Registro de poblaciones de venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus) en el estado de Coahuila. In Memorias V Simposio sobre Fauna Silvestre. UNAM y AZARM, México. 338-359.
- MENKES, G.E.Jr., D.E. BIGGINS y S.H. ANDERSON. 1990. Visual counts as an Index of white-tailed prairie dog density. Wildlife Society Bulletin 18: 290-296.
- MOOTY, J.J. 1980. Monitoring deer populations in the northern forested areas of the Midwest. Pp. 13-22 in R.L. Hiley y S.Nehls (eds.) White-tailed Deer Population Management in the North Central States. Proc. 1979 Symposium Northern Central Section Wildlife Society.
- MOOTY, J.J., P.D. KARNs y HEISYEG. 1984. The relationship between white-tailed deer track counts and pellet-group surveys. Journal of Wildlife Management 48:275-279.
- MOOTY, J.J., P.D. KARNs y T.K. FULLER. 1987. Habitat use and seasonal range size of white-tailed deer in Northcentral Minnesota. Journal of Wildlife Management 51: 644-648.
- MORALES, M.A. 1985. Análisis cuantitativo de las dietas de ganado vacuno y venado cola blanca en La Michilía, Durango. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 102pp.
- MORALES, M.A., M. WEBER y C. GALINDO-LEAL. 1989. Factores que afectan las estimaciones de abundancia del venado cola blanca por métodos indirectos. In III Simposio sobre Venados en México. Fac. Cien. Forst., UANL y UNAM, México. 92-104.
- NEFF, D.J. 1968. The pellet-group count technique for big game trend, census, and distribution: a review. Journal Wildlife Management 32: 597-614.
- OVERTON, W.S. 1969. Estimating the number of animals in wildlife populations. Pp. 405-455 in R.H.Giles (ed.) Wildlife Management Techniques. The Wildlife Society, Washington, D.C.
- PARER, I. y W.J PRICE. 1987. Sight counts as an index of the number of rabbits, Oryctolagus cuniculus. Australian Wildlife Research 14: 569-570.
- POLLOCK, K.H. 1978. A family of density estimators for line-transect sampling. Biometrics 34: 475-478.
- POLLOCK, K.H. y W.L. KENDALL. 1987. Visibility bias in aerial surveys: a review of estimation procedures. Journal of Wildlife Management 51: 502-510.
- QUINN II, T.J. 1979. The effects of school structure on line transect estimators of abundance. Pp. 473-491 in G.P. Patil y M. Rosenzweig (eds.), Contemporary Quantitative ecology and Related Ecometrics. International Co-operative Publishing House, Fairland, Maryland.
- QUINN II, T.J. 1981. The effect of group size on line transect estimators of abundance. Studies In Avian Biology No.6: 502-508.
- QUINN II, T.J. y V.F. GALLUCCI. 1980. Parametric models for line transect estimators of abundance. Ecology 61: 293-302.
- RABINOVICH, J.E. 1982. Introducción a la Ecología de Poblaciones Animales. Segunda Edición. Editorial Continental, México. 313pp.
- RAUTENSTRAUCH, K.R. y P.R. KRAUSMAN. 1989. Influence of water availability and rainfall on movements of desert mule deer. Journal Mammalogy 70: 197-201.

- ROBBINS, C.S. 1981. Bird activity level related to weather. *Studies In Avian Biology* No. 6: 301-310.
- ROBINETTE, W.L., C.M. LOVELESS y D.A. JONES. 1974. Field tests of strip census methods. *Journal of Wildlife Management* 38: 81-96.
- RODRIGUEZ, M., C. VAUGHAN, V. VILLALOBOS y M. McCOY. 1985. Notas sobre los movimientos del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Rafinesque) en un bosque tropical seco de Costa Rica. Pp. 37-46. *In Investigaciones sobre Fauna Silvestre de Costa Rica*. Ed. Universidad Estatal e Distancia, Costa Rica.
- ROEDER, K., B. DENNIS y E.O. GARTON. 1987. Estimating density from variable circular plot censuses. *Journal of Wildlife Management* 51: 224-230.
- ROGERS, L.L. 1987. Seasonal changes in defecation rates of free-ranging white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 51: 330-333.
- ROLLFINKE, B. y R.H. YAHNER. 1990. Effects of time of day and season on winter bird counts. *Condor* 92: 215-219.
- ROMO, M. 1987. Dinámica de la población del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en la Sierra San Blas de Paballón del estado de Aguascalientes. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México. 108pp.
- RYAN, G.W., W.B. SMITH y C.E. GATES. 1988. Simulation study of wildlife density estimators. *Communications Statistics-Simulation* 17: 431-450.
- RYEL, L.A. 1971. Evaluation of pellet group surveys for estimating deer populations in Michigan. Ph.D. Thesis, Michigan State Univ., East Lansing. 237pp.
- SALAS, C.A. y O.A. LANDAZURI. 1970. Informe acerca de la creación de criaderos de venado en el estado de Yucatán. Dir. Gral. de la fauna Silvestre, México.
- SAWYER, T.G., R.L. MARCHINTON y W.M. LENTZ. 1990. Defecation rates of female white-tailed deer in Georgia. *Wildlife Society Bulletin* 18: 16-18.
- SEBER, G.A.F. 1973. *The Estimation of Animal Abundance and related Parameters*. Griffin London, G.B. 506pp.
- SEN, A.R., J. TOURIGNY y G.E.J. SMITH. 1974. On the line transect sampling method. *Biometrics* 30: 329-340.
- SERVIN, J.I., J.R. RAU y M. DELIBES. 1987. Use of radio tracking to improve the estimation by track counts of the relative abundance of red fox. *Acta Theriologica* 32:489-492.
- SHORT, J. y J. HONE. 1968. Calibrating aerial surveys of kangaroos by comparison with drive counts. *Australian Wildlife Research* 15: 277-284.
- SCHULTZ, V. y R.J. MUNCY. 1957. An analysis of variance applicable to transect population data. *Journal of Wildlife Management* 21: 274-278.
- SMITH, R. 1968. A comparison of several sizes of circular plots for estimating deer pellet-groups density. *Journal of Wildlife Management* 32: 585-591.
- SMITH, R.H. y A. LECOUNT. 1979. Some factors affecting survival of desert mule deer fawns. *Journal of Wildlife Management* 43: 657-665.

- SMITH, G.W. y N.C. NYDEGGER. 1985. A spotlight, line-transect method for surveying jack rabbits. *Journal of Wildlife Management* 49: 699-702.
- SOKAL, R.R. y F.J. ROHLF. 1979. *Biometría: Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica*. H. Blume Ediciones, Madrid España. 832pp.
- SPRINGER, J.T. 1979. Some sources of bias and sampling error in radio triangulation. *Journal of Wildlife Management* 43: 926-935.
- SURING, L.H. y P.A. VOHS. 1979. Habitat use by columbian white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 43: 610-619.
- TELLERIA, J.L. y C. SAEZ-ROYUELA. 1986. El uso de la frecuencia en el estudio de la abundancia de grandes mamíferos. *Acta OEcologica, Oecologia Applicata* 7: 69-75.
- TIERSON, W.C., G.F. MATTFELD, R.W. SAGE y D.F. BEHREND. 1985. Seasonal movements and home ranges of white-tailed deer in the Adirondacks. *Journal of Wildlife Management* 49: 760-769.
- TILGHMAN, N.G. y D.H. RUSH. 1981. Comparison of line-transect methods for estimating breeding bird densities in deciduous woodlots. *Studies in Avian Biology* No. 6: 202-208.
- TOWRY, R.K. 1984. *Wildlife habitat requirements*. Pp. 73-209 in R.L. Hoover y D.L. Wills (eds.) *Managing Forested Lands for Wildlife*. Colo. Div. of Wildlife in cooperation with USDA For. Serv., Rocky Mount. Reg., Denver, Colo.
- TYSON, E.L. 1959. A deer drive vs. track census. *Transnational North America Wildlife Conference* 24: 457-464.
- VALENZUELA, D. 1991. Estimación de la densidad y distribución de la población de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*, Rafinesque 1832) en el bosque La Primavera, Jalisco. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 83pp.
- VAN ETEN, R.C. y C.L. BENNETT. 1965. Some sources of error in using pellet-group counts for censusign deer. *Journal of Wildlife Management* 29:723-729.
- VAUGHAN, C. y M. McCOY. 1984. Estimación de las poblaciones de algunos mamíferos en el parque nacional Manuel Antonio, Costa Rica. *Bronesia* 22: 207-217.
- VERNER, J. y L.V. RITTER. 1988. A comparison of transects and spot mapping in oak-pine woodlands of California. *Condor* 90: 401-419.
- VILLARREAL, J.G. 1986. Administración de un rancho cinegético de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de México. In I Simposio sobre Venado en México. UNAM y AZARM. México. 139-201.
- VILLARREAL, J.G. 1990. Muestreo de poblaciones silvestres de venado cola blanca: método conteo físico nocturno con auxilio de luz artificial. *Revista DUMAC* 12: 22-24.
- VINCENT, J.P. y E. BIDEAU. 1982. Note sur la détermination d'un coefficient de visibilité en foret: application au recensement du chevreuil. *Acta OEcologica, OEcologia Applicata* 3: 257-262.
- WALLMO, O.C., A.W. JACKSON, T.L. HAILEY y R.L. CARLISLE. 1962. Influence of rain on the count of deer pellet groups. *Journal of Wildlife Management* 26:50-55.
- WHITE, G.C., R.M. BARTMANN, L.H. CARPENTER y R.A. GARROTT. 1989. Evaluation of aerial line transects for

estimating mule deer densities. *Journal of Wildlife Management* 53: 625-635.

WIGLEY, T.B. y M.K. JOHNSON. 1981. Disappearance rates for deer pellets in the southeast. *Journal of Wildlife Management* 45:251-253.

WILSON, K.R. y D.R. ANDERSON. 1985. Evaluation of two density estimators of small mammal population size. *Journal Mammalogy* 66: 13-21.

APENDICE 1

Información base para la estimación de la densidad por cada modelo del método de conteo directo.

MODELO	FORMULA
FRYE	$D = N_j / (2LW_j)$
KELKER	$D = N_j / (2LW_j)$
EMLÉN	$D = N / (CD2LW_j)$
COX	$D = (3N_3 - N_2) / (4LW_3)$
FOURIER	$D = Nf(0) / (2L)$ $f(0) = 1/W_4 + \sum u_k$ $u_k = (2/NW_4) (\sum \cos(k\pi x) / W_4)$
POLINOMIAL	$D = Nf(0) / (2LW_4)$ $f(0) = 1/W_4 + \sum a_i \phi_i(0)$
EXPONENCIAL	$D = Nf(0) / (2L)$ $f(0) = (\exp(-x/h))^2 (h\Gamma(1 + 1/p))$
BINOMIAL-NEGATIVA	$D = N - 1 / (2LW_4)$
NORMAL-MEDIA	$D = Nf(0) / (2L)$ $f(0) = ((\pi/2) / (\sum x_i^2 / N))^{1/2} (N - 0.8 / N)$
FRANJA-10	$D = N_i / (2LW_i)$
FRANJA-30	$D = N_j / (2LW_j)$
FRANJA-40	$D = N / (2LW_4)$

MES	L	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	N	CD
JUL-89	20100	4	4	6	7	1	7	0.583
AGO-89	19100	7	7	7	10	4	11	0.786
OCT-89	29200	9	9	10	13	3	13	0.650
NOV-89	25350	6	6	8	9	1	9	0.563
DIC-89	26900	5	5	6	9	6	12	1.000
ENE-90	37700	5	5	9	10	3	12	0.667
MAR-90	36880	16	17	19	20	2	21	0.553
JUN-90	39200	13	14	17	22	7	24	0.706

Número de vanados en los intervalos: N<sub>1</sub>=0-10m, N<sub>2</sub>=0-15m, N<sub>3</sub>=0-20m, N<sub>4</sub>=0-30m, N<sub>5</sub>=20-40m, N=0-40m.  
 Ancho del transecto: W<sub>1</sub>=10.0m, W<sub>2</sub>=12.3m, W<sub>3</sub>=20.0m, W<sub>4</sub>=40.0m, W<sub>5</sub>=30.0m. CD= coeficiente de detección.  
 L= largo del transecto (m).

APENDICE 2

Número de Individuos, sexo, edad y número de crías por cada cuadrante de km<sup>2</sup> durante el periodo julio a diciembre de 1989. \* La letra corresponde al mismo individuo de la Figura 9.

CUADRANTE	INDIVIDUO	SEXO	EDAD	No.CRIAS
A	a	?	ADULTO	
	b	♀	JUVENIL	0
	c	♂	ADULTO	-
	d	?	?	
	e	?	ADULTO	
B	f	♀	ADULTO	0
	g	?	?	
	h	♂	ADULTO	-
	i	♂	JUVENIL	-
	j	♀	ADULTO	1
C	k	?	ADULTO	
	l	?	?	
	m	♀	JUVENIL	0
D	n	♀	ADULTO	2
	ñ	♀	ADULTO	2
	o	♀	ADULTO	1
	p	♀	ADULTO	1
	q	♀	ADULTO	0
	r	♀	JUVENIL	0
	s	♂	JUVENIL	-
	E	t	♂	ADULTO
u		?	ADULTO	-
v		♀	JUVENIL	0
w		♀	ADULTO	2
x		?	?	
y		♂	ADULTO	-