



**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y  
TECNOLÓGICAS**

**POSGRADO EN BIOCENCIAS**

---

**DIETA INVERNAL DE LA CODORNIZ  
MOCTEZUMA (*Cyrtonyx montezumae*) EN  
ARIZONA Y NUEVO MÉXICO**

**TESIS**

que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN BIOCENCIAS**

presenta:

**OSCAR ENRIQUE LÓPEZ BUJANDA**

Hermosillo, Sonora, México

Enero de 2019

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **DERECHOS DE AUTOR**

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Maestro en Biociencias** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca de Ciencias Biológicas y de la Salud para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador del Programa del Posgrado.

Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

---

**Oscar Enrique López Bujanda**

Autor

---

**Dra. Nohemí Gámez Meza**

Coordinadora del Programa de Maestría en Biociencias

## APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la tesis intitulada: Dieta Invernal de la Codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en Arizona y Nuevo México, presentada por Oscar Enrique López Bujanda, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias.



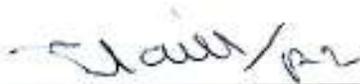
Dra. Reyna A. Castillo Gámez

Director interno



Dr. Alberto Macías Duarte

Director externo



Dr. José R. Romo León

Secretario



Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas

Sinodal interno



Dr. Pedro M. Chavarria

Sinodal externo

## DEDICATORIA

*A mi madre, Luz Aida Bujanda Muñoz  
A mi padre, Oscar López Flores  
A mi hermana, Ana Laura López Bujanda*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Alberto Macías Duarte por seguir creyendo en mi forma de trabajar y por las palabras de apoyo en todo momento, es para mí, y seguramente para más estudiantes, un ejemplo a seguir como persona y como investigador. Agradezco de igual manera a mi asesora Dr. Reyna A. Castillo Gámez por sus pláticas amenas, revisiones acertadas, consejos prácticos e incluso regaños en estos más de dos años que estuve en su laboratorio. Al Dr. José R. Romo León y al Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas por sus críticas precisas y a veces duras, el presente trabajo aumentó de calidad con sus comentarios. Al Dr. Pedro M. Chavarria por sus comentarios en la revisión del trabajo y por alentarme en seguir trabajando en la conservación de la codorniz moctezuma. Agradezco a M.C. Ángel B. Montoya por emprender el presente estudio, por las sugerencias en la elaboración de esta investigación y por brindarme toda la atención posible en mi visita a Las Cruces. Agradezco enormemente al Dr. Patrick J. Alexander por la identificación de las semillas, bulbos y/o tubérculos presentes en la dieta de la codorniz.

Agradezco a la Ecól. Selene M. Terán de la Cruz y al Ecól. Gilberto Valenzuela Encinas por la ayuda en el laboratorio, sus consejos y sobre todo por la amistad y cariño brindado desde hace ya algunos años. A Karen Ruíz, Paloma Montijo, Madoll Rodríguez, Beatriz Partida, Zamira Mazariegos, Gabriela Gastelum y a Leonardo Cárdenas, gracias a todos por su arduo trabajo. A Génesis Valenzuela, Carlos Robles, María Juárez, Hugo Cañedo, Enrique Costich, Fernando Berrelleza, Jonathan Parades y a Fernando Razo por ser parte de mi generación y por los momentos que compartí con ustedes. A mis amigos de laboratorio y de otros laboratorios, especialmente a Eduardo Sánchez, Carlos Galaz y a Román Rodríguez.

Finalmente agradezco el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Posgrado en Biociencias de la Universidad de Sonora, a la Universidad Estatal de Sonora, al apoyo financiero de Arizona Quail Alliance, Southern Arizona Quail Forever, New Mexico Quail, Inc., y Timken Foundation, así como a un gran número de cazadores y guías, especialmente a Dennis Kavanagh y Steve Hopkins. A la Dra. Sara Fuentes Soriano del Herbario de la Universidad Estatal de Nuevo México (NMSU) por recibirme con mucho entusiasmo en su laboratorio.

## RESUMEN

Las codornices de Norte América son un reto para la conservación debido a la disminución de sus poblaciones en las últimas décadas. El cambio climático y la pérdida de hábitat son los factores principales a los que se les atribuye la disminución de sus poblaciones. Varios modelos climáticos predicen que las zonas áridas del norte de México y suroeste de Estados Unidos pueden presentar un aumento en la temperatura y cambios en los eventos de precipitación. Dichos cambios pueden tener efectos negativos en la disponibilidad y calidad de los alimentos, especialmente en zonas áridas donde el alimento puede ser un recurso limitante. En este contexto, investigar la dieta de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*), un ave presente en los pastizales desérticos y bosques de encinos, es fundamental para entender las posibles implicaciones del cambio climático en la persistencia de la codorniz moctezuma en el suroeste de los Estados Unidos y norte de México. El objetivo del trabajo es analizar la variación en la composición de la dieta invernal de la codorniz moctezuma en Arizona y Nuevo México. Se analizaron 324 buches de codornices cosechadas durante las temporadas 2009-2017 y se examinaron con relación a características ambientales (temperatura, precipitación, altitud, latitud y longitud) y ecológicas (diversidad de alimentos y tipos de vegetación, tiempo de forrajeo). Las bellotas de *Quercus* spp. (31.87%), rizomas de *Cyperus fendlerianus* (17.59%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (12.99%), semillas de *Paspalum* spp. (6.69%) e insectos (3.95%) fueron los principales alimentos de la codorniz en Arizona, mientras que en Nuevo México fueron los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (30.82%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (17.67%), bulbos de *Cyperus* spp. (16.95%), insectos (6.90%) y bulbos de *Oxalis* spp. (6.25%). Dichos grupos taxonómicos cambiaron sus proporciones en los buches de *C. montezumae* dependiendo de las condiciones ambientales presentes en Arizona y Nuevo México. Sin embargo, la temperatura y la precipitación parecen ser las variables principales que hacen variar la composición alimenticia de la codorniz en el límite norte de su distribución. Entender como la dieta varía en respuesta a los cambios anuales de precipitación y temperatura es esencial para entender la ecología de la codorniz moctezuma, y así crear herramientas indispensables para el manejo y productividad de sus poblaciones a través del manejo adecuado de los hábitats presentes en las zonas áridas de Estados Unidos y México.

## ABSTRACT

North America quail are a conservation challenge due to the decline of their populations in recent decades. Climate change and habitat loss are the main factors attributed to the decline of their populations. Several climate models predict that the arid lands of northern Mexico and the southwest of the United States may present an increase in temperature and changes in precipitation events. These changes may have negative effects on the availability and quality of food, especially in arid lands where food can be a limiting resource. In this context, investigating the diet of Montezuma quail (*Cyrtonyx montezumae*), a bird present in the desert grasslands and oak forests, is fundamental to understand the possible implications of climate change on the persistence of the Montezuma quail in the southwestern United States and northern Mexico. The objective of this research was to determine the composition of the winter diet of Montezuma quail in Arizona and New Mexico. We analyzed 324 quail crops harvested during 2009-2017 seasons and examined in relation to environmental (temperature, precipitation, altitude, latitude and longitude) and ecological characteristics (diversity of food, diversity of vegetation types and foraging time). Acorns (*Quercus* spp., 31.87%), rhizomes of *Cyperus fendlerianus* (17.59%), seeds of *Phaseolus acutifolius* (12.99%), seeds of *Paspalum* spp. (6.69%) and insects (3.95%) were the main quail food items in Arizona, while in New Mexico were the rhizomes of *Cyperus fendlerianus* (30.82%), seeds of *Phaseolus acutifolius* (17.67%), bulbs of *Cyperus* spp. (16.95%), insects (6.90%) and bulbs of *Oxalis* spp. (6.25%). These taxonomic groups changed their proportions in the crops of *C. montezumae* depending on the environmental conditions present in Arizona and New Mexico. However, temperature and precipitation are the main variables that change the food composition of the quail in the northern limit of its distribution. Understanding how the diet varies in response to annual precipitation and temperature is fundamental to understand the ecology of the Montezuma quail, and thus create indispensable tools for the management and productivity of their populations through the adequate management of the habitats present in the arid lands of the United States and Mexico.

## ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
APROBACIÓN .....	<i>i</i>
DEDICATORIA .....	<i>ii</i>
AGRADACIMIENTOS .....	<i>iii</i>
RESUMEN .....	<i>iv</i>
ABSTRACT .....	<i>v</i>
ÍNDICE DE FIGURAS .....	<i>viii</i>
ÍNDICE DE TABLAS .....	<i>ix</i>
INTRODUCCIÓN .....	1
I. ANTECEDENTES .....	3
I.1 Distribución geográfica .....	3
I.2 Selección y uso de hábitat .....	5
I.3 Grupos invernales .....	6
I.4 Ámbito hogareño .....	8
I.5 Dieta .....	9
II. HIPÓTESIS .....	12
III. OBJETIVOS .....	13
III.1 Objetivo general .....	13
III.2 Objetivos específicos .....	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
IV.1 Área de estudio .....	14
IV.2 Composición de la dieta invernal .....	16
IV.3 Determinación de edad y sexo .....	19
IV.4 Diversidad del paisaje .....	19
IV.5 Análisis estadísticos .....	21

	PÁGINA
V. RESULTADOS .....	24
V.1 Patrones de forrajeo .....	24
V.2 Composición y variación de la dieta invernal .....	29
VI. DISCUSIÓN .....	43
VII. CONCLUSIONES .....	51
VIII. RECOMENDACIONES .....	52
IX. LITERATURA CITADA .....	53
X. APÉNDICE .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Distribución geográfica de <i>Cyrtonyx montezumae</i> .	4
2	Localización de los individuos cosechados de <i>C. montezumae</i> .	15
3	Separación de los elementos presente en los buches de <i>C. montezumae</i> .	18
4	Cobertura vegetal del SWReGAP.	20
5	Dimorfismo sexual en alas de <i>Cyrtonyx montezumae</i> .	21
6	Disminución de los individuos por grupo durante la temporada de cacería en Arizona y Nuevo México.	25
7	Patrón de forrajeo diario de <i>C. montezumae</i> en Arizona y Nuevo México.	26
8	Parches de vegetación en un buffer de 1000 m de radio para un individuo cosechado a 3 km al suroeste de Parker Canyon Lake en el sureste de Arizona.	28
9	Parches de vegetación en un buffer de 1000 m de radio para un individuo cosechado a 10 km al noreste de las Montañas de Guadalupe en el suroeste de Nuevo México.	28
10	Curva de acumulación de especies presente en los buches de <i>C. montezumae</i> en Arizona y Nuevo México.	30
11	Variación individual de 308 individuos de <i>C. montezumae</i> cosechados en Arizona y Nuevo México.	31
12	Variación en la proporción de la dieta invernal de <i>C. montezumae</i> en Nuevo México en dos temporadas de cacería diferentes.	39
13	Variación espacial de los principales alimentos presentes en la dieta de <i>C. montezumae</i> en Arizona y Nuevo México.	41

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Número de codornices cosechadas en Arizona y Nuevo México.	17
2	Proporción de sexo y edad (%) de <i>C. montezumae</i> en Arizona y Nuevo México.	26
3	Principales comunidades vegetales presentes en las áreas de forrajeo invernal de <i>C. montezumae</i> en Arizona y Nuevo México.	27
4	Composición de la dieta invernal de <i>C. montezumae</i> en Arizona (2016-2017).	32
5	Insectos presentes en los buches de <i>C. montezumae</i> en Arizona.	35
6	Composición de la dieta invernal de <i>C. montezumae</i> en Nuevo México (2009-2016).	36
7	Insectos presentes en los buches de <i>C. montezumae</i> en Nuevo México.	38
8	Asociación entre las proporciones de los principales componentes en la dieta de <i>C. montezumae</i> y variables explicativas.	42

## INTRODUCCIÓN

Los hábitats de la vida silvestre se encuentran en constantes cambios, debido en gran medida a las perturbaciones humanas (p. ej. cambio climático y cambios de uso de suelo, Acevedo-Whitehouse y Duffus, 2009; Birnie-Gauvin *et al.*, 2017). Los cambios en los hábitats pueden tener efectos negativos en la disponibilidad y calidad del recurso alimenticio (Birnie-Gauvin *et al.*, 2017), especialmente en ecosistemas áridos y semiáridos donde el alimento puede ser un recurso limitante (Easterling *et al.*, 2000; Seager *et al.*, 2007). Consecuentemente, los cambios en disponibilidad y calidad de alimento pueden modificar el comportamiento de forrajeo de la fauna silvestre (Schoener, 1971; Charnov, 1976; Felton *et al.*, 2009; Tuomainen y Candolin, 2011). En este sentido, las especies de fauna silvestre deben seleccionar de la manera eficiente el alimento disponible en sus hábitats, con el fin de cumplir con los requisitos de crecimiento, reproducción y supervivencia (Rosenzweig, 1981; Hanley, 1997; Bjørneraas *et al.*, 2012).

En general, las especies especialistas son más susceptibles a los cambios en sus hábitats en comparación a las especies generalistas (Devictor *et al.*, 2008). Algunas especies pueden modificar sus preferencias alimenticias debido a la escasez de sus alimentos principales (Felton *et al.*, 2009), aunque esto pueda significar un gasto de energía más alto debido al esfuerzo de forrajeo por encontrar nuevos alimentos (Birnie-Gauvin *et al.*, 2017). Lo anterior sugiere que un aspecto importante en la selección de la dieta es la plasticidad en el comportamiento de forrajeo de las especies (Desmond *et al.*, 2008; Toumainen y Candolin, 2011), incluso para especies que presentan una presión cinegética (McGrath *et al.*, 2018). En este sentido, la ecología nutricional es fundamental para entender que factores determinan la selección de la dieta en la fauna silvestre con el fin de proveer herramientas esenciales para el manejo y productividad de las poblaciones en vida libre (Robbins, 1983; Hanley, 1997; Barboza *et al.*, 2008; Felton *et al.*, 2009).

La disminución de las poblaciones de las codornices de Norte América en las últimas décadas debido a la pérdida de hábitat, son un reto importante para la conservación (Church *et al.*, 1993; Brennan, 1994; Engel-Wilson y Kuvlesky, 2002; Kuvlesky *et al.*, 2002; Brennan y Kuvlesky, 2005; Salas *et al.*, 2017). Es importante determinar cómo los cambios en los hábitats redituables de las codornices pudieran afectar la disponibilidad de alimentos

en el suroeste de Estados Unidos y Norte de México (Desmond *et al.*, 2008), región que será especialmente afectada por el cambio climático (Seager *et al.*, 2007; MacDonald, 2010). En este contexto, la codorniz moctezuma puede ser una especie clave para identificar cambios en los ecosistemas áridos y semiáridos de esta región a través de sus preferencias alimenticias debido a su dieta especializada y su hábitat restringido.

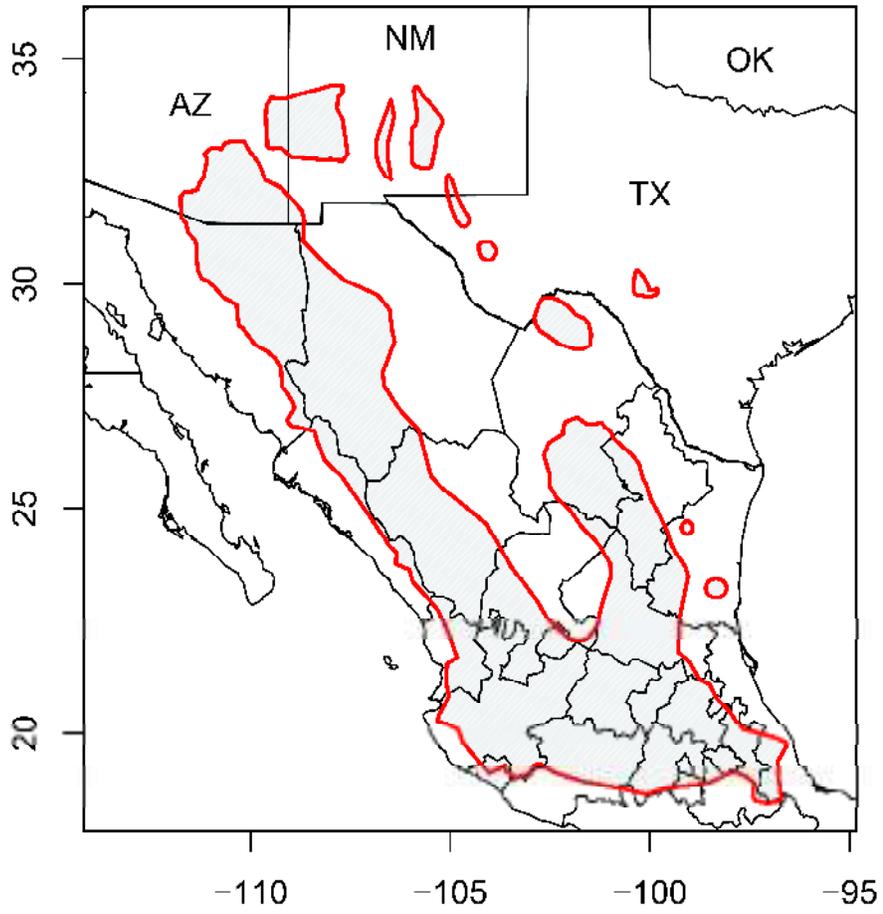
La codorniz moctezuma *Cyrtonyx montezumae* Vigors (Galliformes: Odontophoridae) es un ave popular de cacería presente en los bosques mixtos de pino-encino, así como en los pastizales semi-desérticos del suroeste de los Estados Unidos y gran parte de México (Leopold y McCabe, 1965). Dado su plumaje críptico, su comportamiento de ocultamiento y la difícil captura, la codorniz moctezuma es la especie menos estudiada de las codornices de Norteamérica (Hernandez *et al.*, 2006b; Chavarria *et al.*, 2012a; Sanders, 2012; Chavarria, 2013); inclusive gran parte de los estudios ecológicos de la especie son meramente anecdóticos (Fuertes, 1903; Spaulding, 1949). Aunque existen estudios acerca de la dieta de la codorniz moctezuma en el límite norte de su distribución, estos estudios se enfocan en composición y en una sola localidad dentro de su distribución. Aunado a lo anterior, al poder ocupar diferentes tipos de vegetación, (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964), la codorniz moctezuma puede presentar variación en la composición de la dieta, y no ser una especie especialista como indican los estudios previos (Bishop y Hungerford, 1965; Brown, 1982). En este sentido, el objetivo de esta investigación es determinar los patrones de forrajeo, así como la variación temporal y geográfica en la composición de la dieta invernal de *Cyrtonyx montezumae* en el sureste de Arizona y Nuevo México a través del análisis del contenido en buches de codornices cosechadas legalmente. A su vez, este estudio pretende determinar los factores climáticos (precipitación y temperatura), geográficos (elevación, latitud y longitud) y ecológicos (diversidad de alimentos y diversidad de hábitat) que determinan la variación de la dieta invernal de la codorniz moctezuma.

## I. ANTECEDENTES

### I.1 Distribución geográfica

La codorniz moctezuma es una especie de origen neotropical (Leopold y McCabe, 1957) que se extiende desde el suroeste de Estados Unidos en los estados de Arizona, Nuevo México y Texas, a través de las Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental hasta el Eje Neovolcánico (Figura 1). En el sureste de Arizona la codorniz está presente en gran parte del Bosque Nacional de Coronado, desde el Borde de Mogollón hasta la frontera con México, mientras que en Nuevo México se les puede encontrar en las montañas presentes en Capitán, Sacramento, San Mateo, Black y Mogollón, así como en el suroeste, cerca de la frontera con Arizona y México (Bishop, 1964; Johnsgard, 1973; Stromberg, 2000). Texas es el estado que presenta la distribución más restringida de la codorniz moctezuma. Se le puede encontrar en la región de Edwards Plateau, en las montañas de la región de Trans-Pecos y en la Sierra de Chisos, la cual se encuentra en la cercanía con la frontera de Chihuahua y Coahuila (Johnsgard, 1973; Harveson *et al.*, 2007; Holdermann *et al.*, 2007). En México se cuenta con la distribución más extensa de *C. montezumae*, la cual va desde el norte de Sonora hasta llegar a Oaxaca, donde la vegetación tropical presente en el Istmo de Tehuantepec separa a *C. montezumae* con *C. ocellatus* (Leopold y McCabe, 1957).

Dado a diferencias en la coloración del plumaje y a las barreras geográficas presentes en su distribución geográfica, se reconocen cinco subespecies de *Cyrtonyx montezumae*. La subespecie con la distribución más norteña es *C. m. mearnsi*, la cual se está presente en el sur de Arizona, Nuevo México y Texas, así como en el norte de México en los estados de Sonora, Coahuila y sur de Durango (Leopold y McCabe, 1957; Johnsgard, 1973; Sullivan, 1994). *Cyrtonyx m. montezumae* ocurre desde Sinaloa hasta el sur de Michoacán, Tlaxcala, norte de Puebla, Tamaulipas y Nuevo León a través de la Sierra Madre Oriental (Leopold y McCabe, 1957; Johnsgard, 1973; Sullivan, 1994). En Veracruz, en las cercanías del Pico de Orizaba, se encuentra *C. m. merriami* (Leopold y McCabe, 1957; Johnsgard, 1973; Sullivan, 1994). En Guerrero ocurre la subespecie *C. m. rowleyi* (Johnsgard, 1973; Sullivan, 1994) y *C. m. sallei* se encuentra en las tierras altas de Guerrero, Oaxaca y este de Puebla (Leopold y McCabe, 1957; Johnsgard, 1973; Sullivan, 1994).



**Figura 1.** Distribución geográfica de *Cyrtonyx montezumae*. Modificado de BirdLife International (2016).

## I.2 Selección y uso de hábitat

La codorniz moctezuma ha sido frecuentemente asociada a los bosques de pino-encino y de encino-táscate que están presentes en un gradiente altitudinal entre los 1000 y 3000 m en Estados Unidos y a través de la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental en México (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964; Howell y Webb, 1995; Russell y Monson, 1998; Stromberg, 2000). Sin embargo, también se ha reportado que la codorniz puede ocupar diferentes tipos de vegetación a lo largo de su distribución (Bishop, 1964). Leopold y McCabe (1957) proponen que la especie ocurre estrictamente en las zonas de vegetación de pinos y encinos, especialmente en áreas abiertas donde hay un gran porcentaje de arbustos bajos y pastos perenes. Bishop (1964) observó a las codornices en Arizona y encontró que pueden ocurrir en pastizales con presencia de mezquites (*Prosopis* spp.) y en zonas de pinos, aunque en estos extremos la abundancia es menor a comparación de las áreas de encino-táscate que es donde comúnmente se encuentra en el sur Arizona. Chavarria (2013) encontró, a partir del uso de telemetría, que estas codornices usan en mayor frecuencia los pastizales semi-desérticos representados principalmente por zacatón (*Sporobolus wrightii*), aunque menciona que las codornices si utilizaban los encinares mixtos cuando los pastizales estaban ausentes o se encontraban fragmentados.

Holdermann (1992), estudió la abundancia y uso de hábitat de la codorniz moctezuma a partir de la presencia de grupos sociales en gran parte de las montañas del suroeste de Nuevo México. Durante el periodo de estudio encontró que el hábitat preferido de la codorniz moctezuma fue el pastizal semi-desérticos con encinos dispersos (58%, presencia de grupos), seguido de los pastizales chihuahuenses semi-desérticos (20%) y los bosques de coníferas (15%). Greene (2011), por su parte, realizó un estudio ecológico de la codorniz moctezuma en las montañas de Jeff Davis en Texas en el noreste del Desierto Chihuahuense. Con el uso de radio-telemetría, este autor encontró que la codorniz moctezuma utiliza en gran medida las sabanas de montaña y de piedemonte, las cuales presentan suelos fértiles y húmedos, así como una adecuada estructura vertical de pastos, árboles y arbustos.

En México solo existen dos estudios que abarcan el uso de hábitat de la codorniz moctezuma. Leopold y McCabe (1957) en el primer estudio ecológico de la codorniz

moctezuma, proponen a la especie como un ave de bosque de pino-encino aunque mencionan que el sotobosque (buen estrato vertical de arbustos y herbáceas) es más importante que la presencia de árboles de encinos o pinos. Por su parte, Zaragoza-Hernández (2001) caracterizó el hábitat de la codorniz en el noroeste del Estado de México, encontrando que los pastizales y el ecotono bosque-pastizal son los hábitats más representativos de la codorniz, seguido del hábitat pastizal-nopalera, la cual es una interacción entre pastizales, encinos dispersos y nopales (*Opuntia* spp.).

El uso constante de los pastizales resalta la importancia de estos hábitats para la presencia de la codorniz a través de su distribución geográfica. La codorniz moctezuma utiliza los pastizales como estrategia de escape de los depredadores como el Gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*) y el Aguililla de Cola Roja (*Buteo jamaicensis*), entre otros depredadores (Brown, 1979; Brown, 1982; Stromberg, 1990; Holdermann y Holdermann, 1993; Heffelfinger y Olding, 2000). Durante la temporada de reproducción la codorniz moctezuma construye sus nidos en una gran variedad de hábitats, aunque selecciona los pastos altos con mayor frecuencia para la construcción de los nidos (Wallmo, 1954; Stromberg, 1990). Por otro lado, los pastizales sirven como sitios de descanso durante la noche para satisfacer las necesidades de termorregulación de la codorniz (Stromberg, 1990; Heffelfinger y Olding, 2000; Harveson *et al.*, 2007) y como sitios de forrajeo, ya que es en donde la codorniz busca alimentos rascando en el suelo constantemente, principalmente durante el invierno (Albers y Gehlbach, 1990; Stromberg, 2000).

### **I.3 Grupos invernales**

La formación de grupos sociales es un patrón conocido en el orden Galliformes, especialmente en la familia Phasianidae (Faisanes) y Odontophoridae (Johnsgard, 1973; Carroll, 1994; Williams *et al.*, 2003). Estos grupos o asociaciones están presentes en gran parte del año con excepción de la temporada reproductiva cuando el comportamiento monógamo de las codornices reduce los grupos a un macho y una hembra reproductores (Johnsgard, 1973). Los grupos sociales tienen un valor funcional para las codornices durante el invierno, ya que ayuda a mejorar la eficiencia de forrajeo, la detección de depredadores y la probabilidad de sobrevivencia individual (Johnsgard, 1973; Williams *et al.*, 2003). Los

tamaños de grupos (número de individuos por grupo) difieren entre las especies de codornices. Algunas especies tienden a formar grupos más grandes que otras (Johnsgard, 1973). La codorniz de montaña (*Oreortyx pictus*) y la codorniz de norteña o cotuí forman grupos de 9 y 11 individuos promedio respectivamente, pero otras especies como la codorniz escamosa (*Callipepla squamata*) puede formar grupos de hasta 30 individuos en promedio (Williams *et al.*, 2003; Johnsgard, 2017). Johnsgard (1973) resalta que el tamaño de grupo de las codornices es un simple reflejo de la densidad poblacional total, así como la temporada del año en que se reporta.

El agrupamiento de individuos de *C. montezumae* es más notorio a partir de septiembre hasta finales de marzo y a diferencia de otras codornices, los grupos están constituidos por relativamente pocos individuos (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964; Johnsgard, 1973; Stromberg, 1990; Holdermann, 1992; Heffelfinger y Olding, 2000; Harveson *et al.*, 2007). Durante el invierno la codorniz moctezuma forma grupos que van de los 6.4 individuos (Harveson *et al.*, 2007) hasta los 9.5 individuos en promedio (Holdermann, 1992). Sin embargo, en años extraordinarios, se han reportado grupos de 20 e incluso 40 individuos (Bishop; 1964; Stromberg, 2000).

Dentro de los grupos invernales se pueden diferenciar individuos por clase de edad (adultos o juveniles) y sexo. Leopold y McCabe (1957) y Johnsgard (1973) reportan que en la población adulta de la codorniz moctezuma existe un ligero exceso de machos (60% aproximadamente), sesgo que se presenta en otras especies de codornices (Johnsgard, 1973; Brown y Gutiérrez, 1980; Johnsgard, 2017). Las razones de lo anterior no son muy claras, pero se hipotetiza que la depredación y el estrés de anidación que sufren las hembras pueden ser el principal factor del exceso de machos (Johnsgard, 1973; Brown y Gutiérrez, 1980). Por su parte, la estructura de edad favorece mayormente a los individuos juveniles durante el invierno. Las codornices juveniles pueden representar hasta un 70% de los individuos de la codorniz moctezuma (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964; Johnsgard, 1973; Chavarria, 2013). Por lo anterior, se cree que los grupos de forrajeo de la codorniz moctezuma presentes en el invierno pueden ser unidades familiares, es decir, macho y hembra adultos y sus crías (Leopold y McCabe, 1957; Stromberg, 2000; Johnsgard, 1973, 2017).

#### **I.4 Ámbito hogareño**

El área o ámbito hogareño que pueden utilizar los grupos sociales de la codorniz moctezuma es relativamente pequeño durante el invierno (Leopold y McCabe, 1957), lo cual es similar a otras codornices (Gullion, 1962; Cantu *et al.*, 2005; Terhune *et al.*, 2006). Stromberg (1990), realizó el primer estudio de ámbito hogareño para la codorniz moctezuma en el sureste de Arizona con radio transmisores. Encontró que durante el invierno los grupos utilizan áreas entre 0.09 a 6 hectáreas por periodos largos, pero cuando se acercaba el final del invierno y principio de la primavera, podían usar áreas de hasta 50 ha. De igual manera encontró que los grupos pueden permanecer en una misma área hasta por 30 días en promedio, aunque algunos grupos podían estar 133 días, sugiriendo que la codorniz tiene una gran fidelidad a los sitios de invierno ya que solo se movían entre 15 y 60 metros diarios durante gran parte del año.

Chavarria (2013), observó que los grupos invernales de la codorniz moctezuma tienen movimientos más grandes, incluso encontrando individuos con un ámbito hogareño de hasta 206 ha en diferentes localidades en el sur de Arizona. Este autor encontró que la distancia media en que las codornices se movían de una locación a otra fue de  $302.8 \pm 181.9$  m durante una temporada y la distancia linear máxima de un individuo fue de  $1,128.4 \pm 619.5$  metros. Las codornices regresaban a sus antiguos rangos de invierno después de haberse alejado durante la temporada de reproducción, sugiriendo al igual que Stromberg (1990), fidelidad de las codornices a los sitios o rangos invernales.

Por su parte, Greene (2011) estudiando los movimientos de la codorniz en Texas, encontró que pueden tener un ámbito hogareño de 2,149 ha promedio, variando desde 16.8 ha – 15,751.4 ha. La distancia linear máxima que una codorniz se movió entre un sitio a otro varió de 0.6 – 12.7 km. Por otro lado, y aunque no fue parte de sus objetivos, este autor reportó que los grupos podían estar en una misma área hasta por 4 semanas, sugiriendo que la fidelidad de sitio también puede ser una característica en las poblaciones de Texas, tal como sucede en Arizona.

## I.5 Dieta

La codorniz moctezuma cuenta con gruesas patas y largas garras que le ayudan a escarbar en suelo en busca de alimentos subterráneos como bulbos y tubérculos, principalmente (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964; Albers y Gehlbach, 1990). Dicho comportamiento de forrajeo contrasta con la dieta de otras codornices presentes en zonas áridas y semi-áridas de Norteamérica, las cuales se alimentan casi exclusivamente de semillas de plantas leñosas y herbáceas durante gran parte del año (Hungerford, 1962; Johnsgard, 1973; Campbell-Kissock *et al.*, 1985; Hunt y Best, 2001).

Los sitios de forrajeo de la codorniz moctezuma han sido poco estudiados. Albers y Gehlbach (1990) reportan que los sitios de forrajeo en el centro de Texas están en áreas que presentan pastos altos, que también les sirven como refugio, y en suelos profundos y secos en las laderas de los bosques de encino. Hernandez *et al.* (2006a), identificaron que los sitios de forrajeo de la codorniz en el oeste de Texas presentan dos características distintivas: 1) una alta densidad de plantas del género *Allium* (cebollas silvestres) y 2) mayor pendiente media.

Los trabajos de Bishop y Hungerford (1965) y Brown (1982) son los únicos que reportan la dieta para la codorniz moctezuma en el límite norte de su distribución. Bishop y Hungerford (1965) determinaron la variación estacional de la dieta de *C. montezumae* a partir de 221 individuos en el sur de Arizona. Estos autores encontraron que los bulbos de *Oxalis* spp. y *Cyperus* spp. son los principales alimentos de la codorniz en gran parte del año (octubre a junio), llegando a constituir hasta un 64 % y 20% de la dieta total (en peso seco) respectivamente. En los meses previos a las lluvias de verano (abril-junio), hubo un incremento en el consumo de bellotas de *Quercus* spp., constituyendo más del 40% de la dieta. Con la llegada de las lluvias de verano (julio-septiembre) los insectos, principalmente escarabajos (Coleoptera), representaron el 50% de la dieta de la codorniz moctezuma. El aumento de insectos en la dieta durante el verano coincidió con la temporada de reproducción de la codorniz, donde los adultos y crías aprovechan la abundancia de insectos (Stromberg, 2000).

Brown (1982) analizó 188 buches de la codorniz moctezuma colectados de 1967–1977 en las áreas de encinos y pastizales en el condado de Santa Cruz en el sureste de

Arizona. Si bien el autor no menciona la estación en que se cosecharon las codornices, encontró que los bulbos de *Cyperus rusbyi* (51%) y de *Oxalis amplifolia* (26%) fueron los elementos más importantes en la dieta de la codorniz, los cuales son resultados similares a lo encontrado por Bishop y Hungerford (1965) en Arizona.

Aun siendo México en donde se encuentra la mayor parte de la distribución de *C. montezumae*, los trabajos de Hernández-Téllez *et al.* (2004) y Zaragoza-Hernández *et al.* (2004) en el Estado de México y Fernández-López (2015) en Tlaxcala, son los únicos que reportan la dieta de la codorniz. Hernández-Téllez *et al.* (2004), analizando 9 bucheros (individuos) de codorniz moctezuma cosechadas durante el invierno del 2001 y 2002, encontraron que los bulbos de *Oxalis* spp. (42%) y granos de *Triticum aestivum* (trigo, 41%) fueron el alimento más abundante en la dieta de la codorniz. Por su parte, Zaragoza-Hernández *et al.* (2004) encontró que los bulbos de *Oxalis* spp. (68%), granos de *Zea mays* (maíz, 14%) y granos de *Triticum aestivum* (5%) fueron los elementos más abundantes encontrados en 14 bucheros durante la temporada invernal del 2000–2001 en el Estado de México.

Fernández-López (2015) estudió la dieta invernal de la codorniz moctezuma en Tlaxco, Tlaxcala, durante las temporadas invernales de 2003-2007. Analizando 35 bucheros de codorniz moctezuma este autor encontró que los bulbos de *Oxalis* spp. fue el alimento más abundante en cada temporada invernal. En la temporada 2003-2004 los bulbos de *Oxalis* fue el alimento más importante con el 50% del total de la dieta (peso seco), siendo esa temporada donde se encontró la menor abundancia de estos bulbos en los bucheros. Durante las demás temporadas invernales (2004-2007) los bulbos de *Oxalis* representaron más del 80% de la dieta total. Las semillas de *Triticum* fueron el segundo alimento de mayor abundancia, llegando a representar hasta un 38% de la dieta.

El consumo de granos de trigo y maíz por parte de la codorniz moctezuma en el centro de México resalta la capacidad de la codorniz de adaptarse a la transformación de su hábitat natural a áreas agrícolas. Leopold y McCabe (1957) encontraron ocasionalmente granos de cultivos en los bucheros de la codorniz moctezuma, pero no era un acontecimiento habitual. Los cultivos agrícolas representan una fuente importante de alimento para la codorniz debido a su buen nivel de proteína, calcio y fosforo (Romero-Sánchez, 2003); al

mismo tiempo fungen como sitios de escape o escondite en caso de una amenaza (Leopold y McCabe, 1957; Brown, 1982).

## **II. HIPÓTESIS**

La composición de la dieta invernal de la codorniz Moctezuma en Arizona y Nuevo México, especie generalmente considerada especialista en bulbos subterráneos, es de hecho influenciada por factores climáticos, geográficos y ecológicos que afectan el consumo de los distintos tipos de alimento en el límite norte de su distribución.

### **III. OBJETIVOS**

#### **III.1 Objetivo general**

Analizar la variación en la composición de la dieta invernal de *Cyrtonyx montezumae* en Arizona y Nuevo México.

#### **III.2 Objetivos específicos**

- Determinar los patrones temporales de forrajeo en *C. montezumae* durante el invierno en Arizona y Nuevo México
- Obtener la composición alimenticia de *C. montezumae* en diferentes temporadas invernales en Arizona y Nuevo México.
- Analizar la variación en la composición de la dieta con relación a características ambientales (temperatura media anual, precipitación anual, altitud, latitud y longitud) y ecológicas (diversidad de especies en los buches, diversidad de hábitat y hora de cosecha/tiempo de forrajeo).

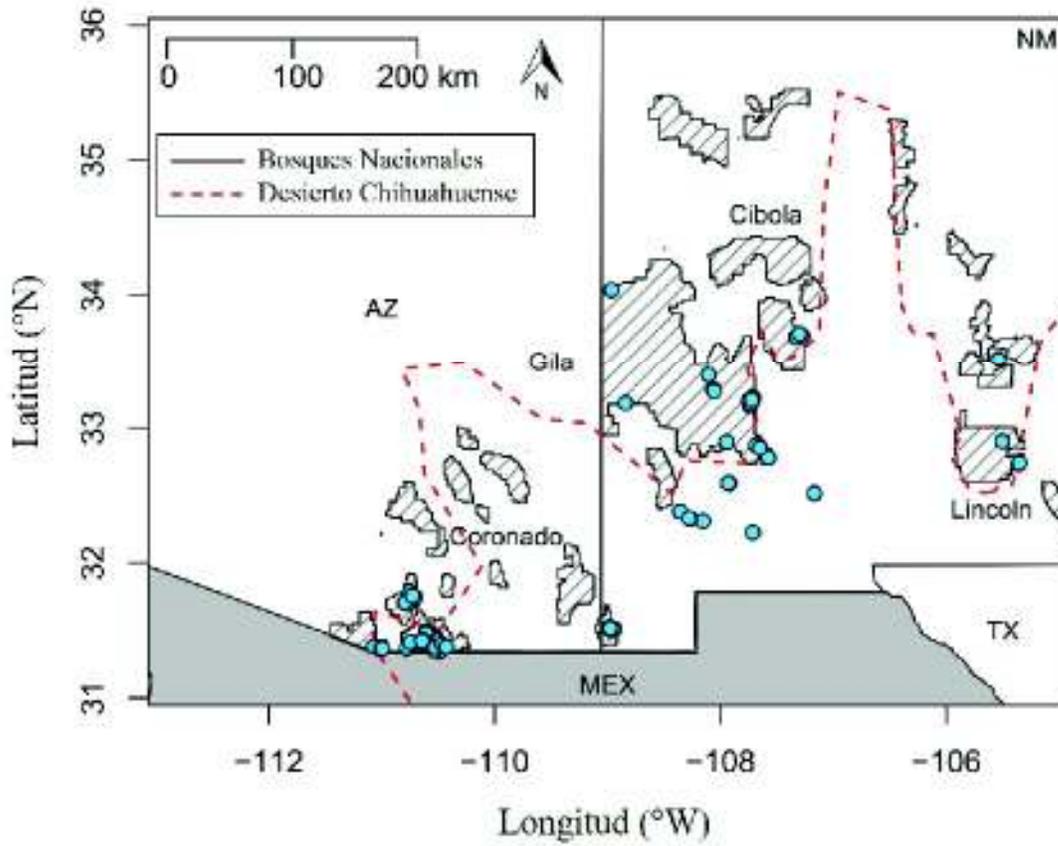
## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### IV.1 Área de estudio

El área de estudio se ubica en diferentes localidades en el sureste de Arizona y gran parte de Nuevo México en los Estados Unidos de América (Figura 2), los cuáles comprenden el límite norte de la distribución de *C. montezumae*. Las localidades de estudio se encuentran a una altitud entre los 1,206 y 2,518 m. El área de estudio en Arizona está dentro de la administración del Bosque Nacional (U.S. National Forest) de Coronado en los condados de Cochise, Pima y Santa Cruz. La porción del área de estudio en Nuevo México está en los Bosques Nacionales de Coronado, Gila, Cibola y Lincoln en los condados de Catron, Dona Ana, Grant, Hidalgo, Lincoln, Luna, Otero, Sierra y Socorro. A su vez, gran parte de las diferentes localidades estudiadas se encuentran en islas del cielo (Sky Islands, Warshall, 1995) dentro del límite norte del Desierto Chihuahuense.

Las principales comunidades de vegetación del Bosque Nacional de Coronado presente en el sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México son el encinal madrense y los pastizales semi-desérticos (Austin *et al.*, 2013). Los arboles dominantes en estas comunidades son *Quercus arizonica* y *Q. emoryi*, mientras que los pastizales están representados por *Bouteloua curtipendula*, *B. hirsuta*, *B. gracilis*, *Aristida ternipes* y *Andropogon barbidonis* (Brown, 1978). El Pastizal Chihuahuense es el principal bioma en el suroeste de Nuevo México, la composición florística es diversa incluyendo a *Pleuraphis mutica*, *Bouteloua* spp., *Aristida* spp., *Dasyilirion* spp., *Agave* spp., y *Nolina* spp. (Holdermann, 1992).

Los bosques de pino-táscate y de pino ponderosa son las comunidades con mayor extensión en los Bosques Nacionales de Gila y Cibola, aunque también presentan pastos como *Bouteloua* spp., *Andropogon* spp., *Mulhenbergia* spp. y *Bromus* spp. (Holdermann, 1992; Shaw, 2008; Vander-Lee *et al.*, 2008). Por su parte el Bosque Nacional de Lincoln tiene como principal vegetación a los bosques de encinos y al pastizal semi-desértico, seguido de los bosques de pino-encino (Vander-Lee *et al.*, 2008).



**Figura 2.** Localización de los individuos cosechados de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México (círculos azules).

## IV.2 Composición de la dieta invernal

Buches y alas de *C. montezumae* se obtuvieron a partir de codornices cosechadas durante diversas temporadas de cacería en el sureste de Arizona y Nuevo México (Tabla 1). En aves, el buche es una sección del esófago, y parte del sistema digestivo, que se expande y contrae y, además, puede variar en estructura y tamaño dependiendo de la especie. En el buche se almacena y se suavizan los alimentos para su posterior flujo a través del tracto digestivo (Gill, 2007). Al no haber trituración de los alimentos mientras éstos están almacenados en el buche antes de pasar por el tracto digestivo (hasta dos horas), los contenidos de los buches representan una herramienta importante para la determinación de la composición de la dieta en codornices que son aprovechadas cinegéticamente.

Durante el invierno (noviembre a febrero) se visitaron diferentes localidades en el suroeste de Estados Unidos donde cazadores y guías cosecharon individuos de *C. montezumae*. Para la búsqueda de codornices fue necesario el uso de perros entrenados debido al comportamiento de ocultamiento extremo de la especie (Chavarria, 2013). Para cada codorniz cosechada se obtuvo la información pertinente como coordenadas geográficas de cacería, hora y fecha de cacería, número de codornices cazadas por grupo y el total de individuos de los grupos invernales a través de conteos aproximados.

Para determinar la dieta invernal de la codorniz moctezuma se analizó el contenido de los buches extraídos de los individuos cosechados. El contenido de los buches se separó en diferentes categorías: bulbo, tubérculo/rizoma, semillas e insectos (Figura 3). La identificación de los componentes se intentó hasta el nivel de especie, pero en ocasiones la identificación llegó sólo hasta género, familia u orden. La capacidad del buche fue determinada a partir del peso húmedo total en gramos. El contenido de los buches fue secado a peso constante durante 48 horas a 65°C en una estufa de aire forzado y cada componente se pesó a una precisión de 0.0001 g. El peso seco se utilizó para calcular la proporción de cada componente presente en los buches de cada individuo.

Para la identificación de semillas, bulbos o tubérculos se utilizó la base de datos que provee SEINet (<http://swbiodiversity.org/seinet/>) en el capítulo del suroeste de los Estados Unidos (Arizona y Nuevo México). A su vez, se visitaron algunos sitios de cosecha en Arizona y Nuevo México para la identificación de bulbos y tubérculos con la ayuda de un

experto en plantas (Bureau of Land Management). La identificación de los insectos se hizo a través de la Guía de Campo de Kaufman para los Insectos de Norte América (Eaton y Kaufman, 2007).

**Tabla 1.** Número de codornices cosechadas en Arizona y Nuevo México

<b>Temporada de cacería</b>	<b>Número de codornices cosechadas</b>	
	<b>Arizona</b>	<b>Nuevo México</b>
2007-2008	2	0
2009-2010	5	75
2010-2011	2	3
2011-2012	0	7
2012-2013	0	4
2014-2015	0	14
2015-2016	12	43
2016-2017	156	1
Total	177	147



**Figura 3.** Separación de los elementos presente en los buches de *C. montezumae*: A) bellotas de *Quercus* spp., B) escarabajo *Zygogramma tortuosa*, C) rizomas de *Cyperus fendlerianus* y D) semillas de *Euphorbia bilobata*.

### **IV.3 Determinación de edad y sexo**

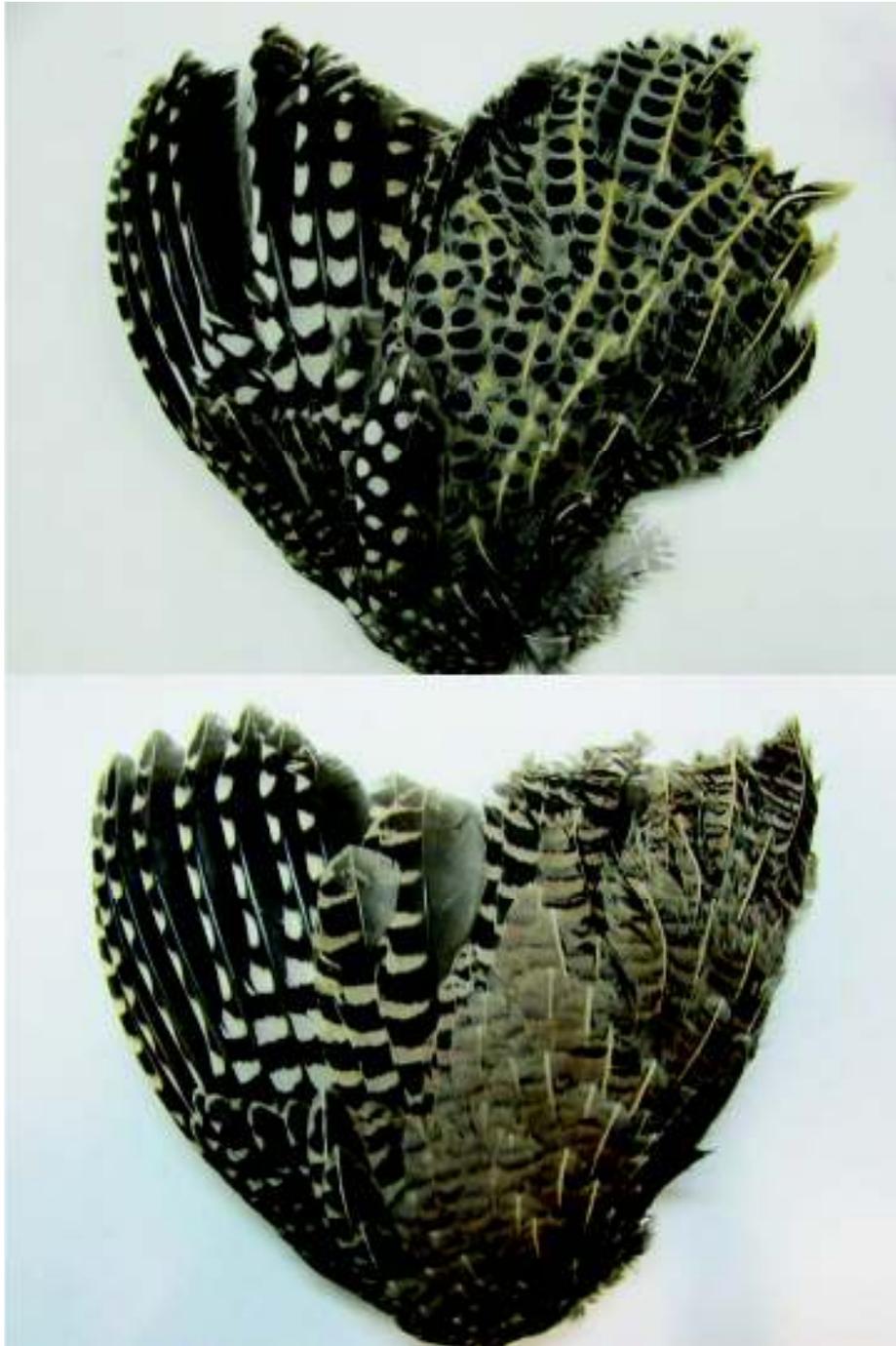
A partir de las alas de las codornices cosechadas se determinó el sexo y la edad (adultos y juveniles) de cada individuo. Dado al dimorfismo sexual que presenta la codorniz moctezuma, la determinación del sexo fue en base a la coloración presente en el plumaje de las alas (Figura 4). La diferencia en coloración de machos y hembras es notable entre la semana 5 y 7 después de la eclosión (Stromberg, 2000; García-Solórzano, 2005). Para diferenciar la clase de edad de los individuos, se realizó un protocolo y guía fotográfica para determinar la edad de los individuos a partir de las plumas primarias y coberteras primarias presentes en las alas de *C. montezumae* (Apéndice). El protocolo fue elaborado en base a la información propuesta por Pyle (1997) y Stromberg (2000).

### **IV.4 Diversidad del paisaje**

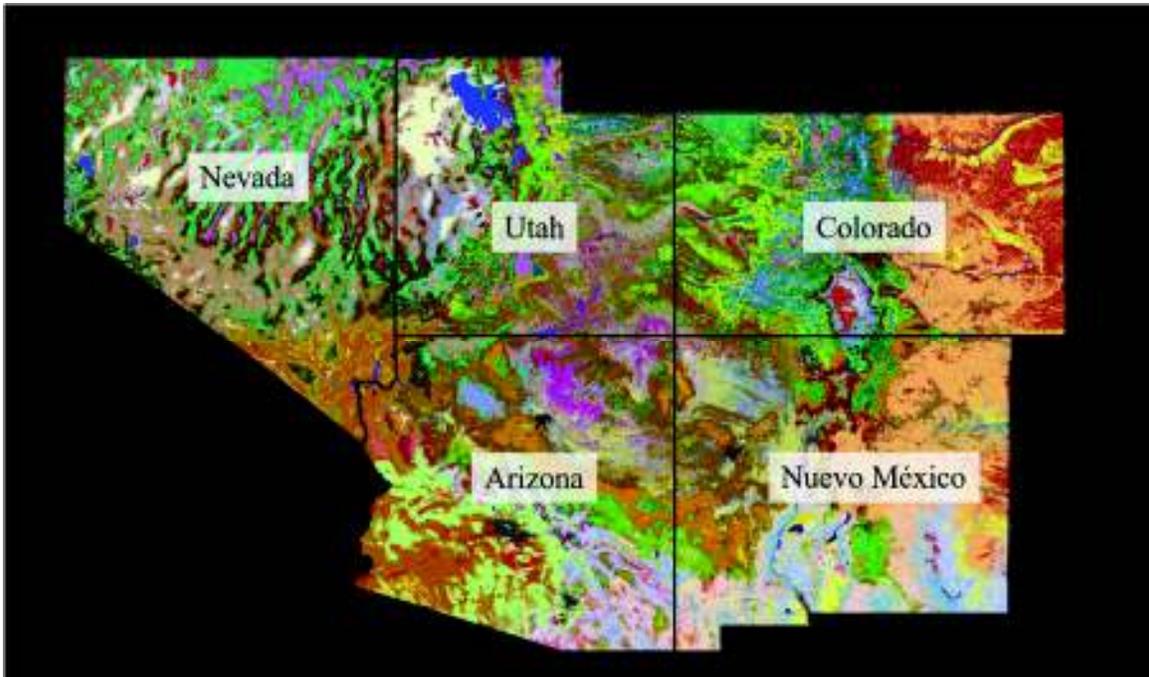
Dado el ámbito hogareño y movimientos en pequeñas áreas de la codorniz moctezuma durante el invierno (Stromberg, 1990; Greene, 2011; Chavarria, 2013) se puede determinar el tipo de comunidad vegetal presente en los sitios de cosecha de *C. montezumae* a partir de mapas de vegetación del suroeste de los Estados Unidos. En este sentido, se usaron datos de cobertura vegetal del Southwest Regional Gap Analysis Project (SWReGAP) para determinar el tipo hábitat disponible que la codorniz pudiera utilizar durante el invierno a través de su distribución geográfica. El SWReGAP (Figura 5) es un esfuerzo multi-institucional para el mapeo de la biodiversidad en el suroeste de los Estados Unidos, el cual comprende los estados de Arizona, Colorado, Nevada, Nuevo México y Utah (USGS, 2004).

Para determinar los parches de vegetación presente en los sitios de cosecha de la codorniz moctezuma se utilizaron las coordenadas geográficas de cada codorniz. Se creó un perímetro o buffer de 1,000 m de radio para cada individuo cosechado. Se extrajo de la capa ráster del SWReGAP los tipos de vegetación dentro de los buffers de cada individuo con el programa QGIS (QGIS Development Team, 2018, Figura 6 y Figura 7). El área de cada parche de vegetación se obtuvo con las funciones PatchStats y ConnCompLabel del paquete “SDMTools” (VanDerWal *et al.*, 2014) en el programa R 3.5.0 (R Core Team, 2018). La función PatchStats está basado en la estadística calculada del programa FRAGSTATS

(McGarigal *et al.*, 2012), la cual cuantifica la estructura del paisaje, es decir, la heterogeneidad espacial a partir de patrones en mapas categórico.



**Figura 4.** Dimorfismo sexual en alas de *Cyrtonyx montezumae*. Macho (imagen superior) y hembra (imagen inferior).



**Figura 5.** Cobertura de los diferentes tipos de vegetacion presentes en el suroeste de los Estados Unidos (USGS, 2004).

#### IV.5 Análisis estadístico

Para describir la diversidad de especies en los buchec, se determinó el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) para cada individuo con la siguiente fórmula (Peet, 1974):

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

donde  $s$  es el número de especies presente en la dieta o la cantidad de parches de vegetación y  $p_i$  es la proporción de la  $i$ -ésima especie o parche de vegetación. A su vez, con la proporción de área de cada parche obtenido con PatchStats, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ , Figura 6 y Figura 7) para determinar la diversidad de hábitats presente en los sitios invernales de la codorniz moctezuma (Nagendra, 2002). Para conocer si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para determinar el total de especies consumidas, se realizó una curva de acumulación de especies generada a partir de 1,000 permutaciones (Ugland *et al.*, 2003). La curva de acumulada de especies en el promedio del número de

especies bajo todas las posibles permutaciones de las muestras independientes, es decir, de cada buche o individuo.

Se realizaron modelos de regresión lineal simple con la finalidad de determinar la evolución del tamaño de grupo durante el invierno, el patrón diario de forrajeo y el patrón de diversidad de especies presente en los buches de *C. montezumae*. El modelo de regresión lineal simple está dado por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \epsilon$$

donde  $y$  es la variable dependiente,  $X_1$  es el predictor lineal o variable independiente,  $\beta_0$  es la intercepción,  $\beta_1$  el coeficiente de regresión y  $\epsilon$  es el error.

Se analizó la asociación entre el tamaño de los grupos y la fecha de cacería para determinar los cambios en los grupos de forrajeo durante el invierno, se realizó un análisis de varianza para evaluar el modelo de regresión lineal. Para determinar el patrón diario de forrajeo se utilizó el peso húmedo del buche como la variable de respuesta y la hora de cacería como la variable independiente, y se realizó un análisis de varianza para evaluación del modelo. Por último, determinó la relación entre la diversidad de especies presente en los buches ( $H_B$ ) y la diversidad del paisaje ( $H_L$ ).

Para determinar la variación en la composición de la dieta de la codorniz moctezuma se utilizó un modelo estadístico multivariado (Roa, 1992). El análisis de los datos composicionales en la dieta de la codorniz se hizo implementando el modelo de regresión de Dirichlet (Maier, 2014), la cual ha sido empleado en otros trabajos de selección de dieta en aves de pastizal (Titulaer, 2016). El modelo de regresión de Dirichlet se utiliza para el análisis de un conjunto de variables de respuesta que se encuentran dentro de un intervalo (0,1), es decir, datos composicionales o proporciones ( $y_1, y_2, \dots, y_C$ , tal que  $\sum_i y_i = 1$ ; Maier, 2014; Titulaer *et al.*, 2017). Se asume que los datos composicionales o proporciones son realizaciones de una distribución (multivariada) Dirichlet con parámetros  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_C$ . El análisis de regresión de Dirichlet evalúa el efecto de variables explicatorias  $x_1, x_2, \dots, x_P$  sobre los cada  $y_c$  mediante la estimación de los coeficientes de regresión ( $\beta_{cp}$ ) en el modelo:

$$\log \alpha_c = \beta_{c0} + \beta_{c1} x_1 + \beta_{c2} x_2 + \dots + \beta_{cP} x_P$$

Para abordar el problema de ceros frecuentes (no todos los componentes de la dieta están presentes en cada individuo), las proporciones de los componentes de la dieta fueron transformadas con la siguiente función (Maier, 2014):

$$y^* = \frac{y(N - 1) + 1/C}{N}$$

En este contexto, la composición de la dieta (proporción de cada especie) fue la variable de respuesta, mientras que las variables explicativas fueron la temperatura media anual, precipitación anual, altitud, latitud, longitud, diversidad de especies en los buches, diversidad de hábitat y hora de cosecha/tiempo de forrajeo. Las variables de temperatura media anual y precipitación anual fueron obtenidas a través de los datos bioclimáticos (Bioclim 1 y Bioclim 12) del WorldClim versión 2.0 (Fick y Hijmans, 2017). Las capas ráster de temperatura y precipitación del WorldClim cuentan con una resolución de  $\sim 1 \text{ km}^2$  ( $0^\circ 00' 30''$ ).

La significancia de los coeficientes de regresión para cada variable de composición (esto es el rechazo de  $H_0: \beta_{cp} = 0$ ) se realizó con una prueba de Wald (Gouriéroux *et al.*, 1982). De esta forma, coeficientes de regresión  $\beta_{cp} > 0$  y valores de significancia observados  $P < 0.05$  sugieren que la proporción de las especies (bulbos/rizomas, semillas, frutos, insectos, etc.) presentes en los buches de *C. montezumae* son están positivamente asociados a la variable explicativa  $x_p$  y viceversa para los coeficientes de regresión negativos. El análisis de regresión fue realizado con el paquete “DirchletReg” (Maier, 2014) en el programa R 3.5.0 (R Core Team, 2018).

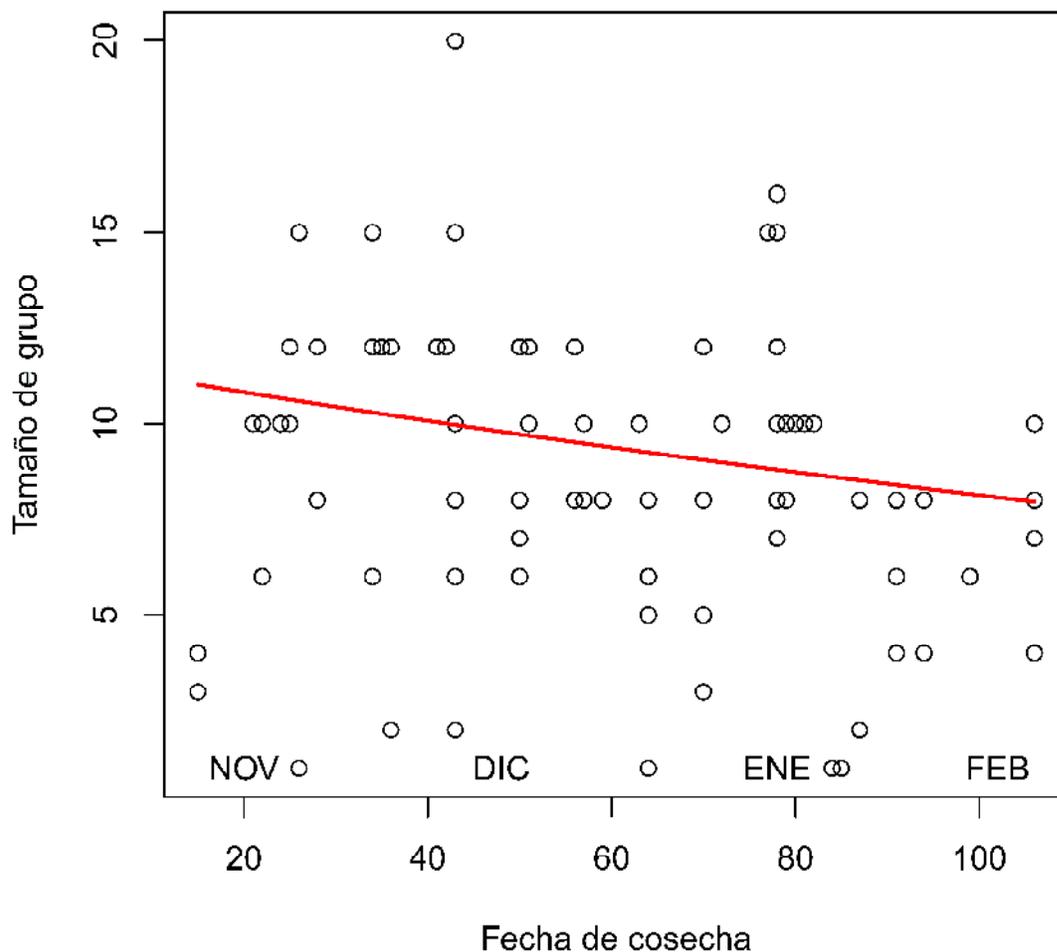
## V. RESULTADOS

### V.1 Patrones de forrajeo

Se analizaron un total de 324 individuos de *C. montezumae* cosechados en el sur de Arizona ( $n = 177$ ) y Nuevo México ( $n = 147$ ) durante diferentes temporadas de cacería (noviembre-febrero, 2008-2017). Los individuos cosechados se encontraban en grupos invernales de forrajeo de  $8.48 \pm 0.37$  y  $9.45 \pm 0.35$  codornices por grupo en Arizona y Nuevo México respectivamente. Los grupos invernales detectados durante la temporada de cacería disminuían en el número de codornices conforme la temporada de cosecha avanzaba (prueba de Wald sobre coeficiente de regresión lineal,  $t = 266.49$ , g.l. = 150,  $P < 0.001$ , Figura 6). Se encontró que los individuos machos fueron el sexo más frecuente tanto en Arizona y Nuevo México, presentándose en un 65.67% y 59.18% respectivamente (Tabla 2). Por su parte, los individuos juveniles o inmaduros fue la clase de edad dominante en la muestra, estando presente en un 71.11% en Arizona y en un 70.03% en Nuevo México. La razón juvenil-adulto fue 2.5 y 2.3 codornices juveniles por cada adulto en Arizona y Nuevo México respectivamente. Se encontró que durante el invierno el peso del buche aumenta constantemente durante el día tanto en Arizona (ANOVA para regresión lineal,  $F_{1,63} = 50.22$ ,  $P < 0.001$ ) y Nuevo México ( $F_{1,156} = 182.5$ ,  $P < 0.001$ ), siendo después de las 1400 horas donde los buches se encontraban llenos (Figura 7). La capacidad media de los buches (peso húmedo) en Arizona ( $2.91 \pm 0.18$  g), no difirió de aquella en Nuevo México ( $3.02 \pm 0.23$  g, Prueba de  $t$  de Student de diferencia de medias,  $t = 0.35$ , g.l.=260.78,  $P = 0.72$ ).

Se encontraron un total de 40 tipos de comunidades vegetales en los sitios de cosecha de la codorniz moctezuma en Arizona y Nuevo México (Tabla 3), a partir del análisis de PatchStat para cada individuo colectado (ej. Figura 8 y 9). Arizona presentó 18 tipos o parches de vegetación, en donde las comunidades con mayor área disponible fue el Pastizal desértico (30.61% del área total), seguido del Encinal Madrense (29.11%) y el Matorral de tierra alta o transición matorral-pastizal (19.38%), mientras que el 20.90% del área total restante en Arizona está compuesto por 15 parches de vegetación. Por su parte, en Nuevo México se encontraron 39 parches de vegetación en las áreas de cacería de la codorniz moctezuma, los parches de mayor área (ha) fue el Bosque madrense de pino-táscate (26.16%

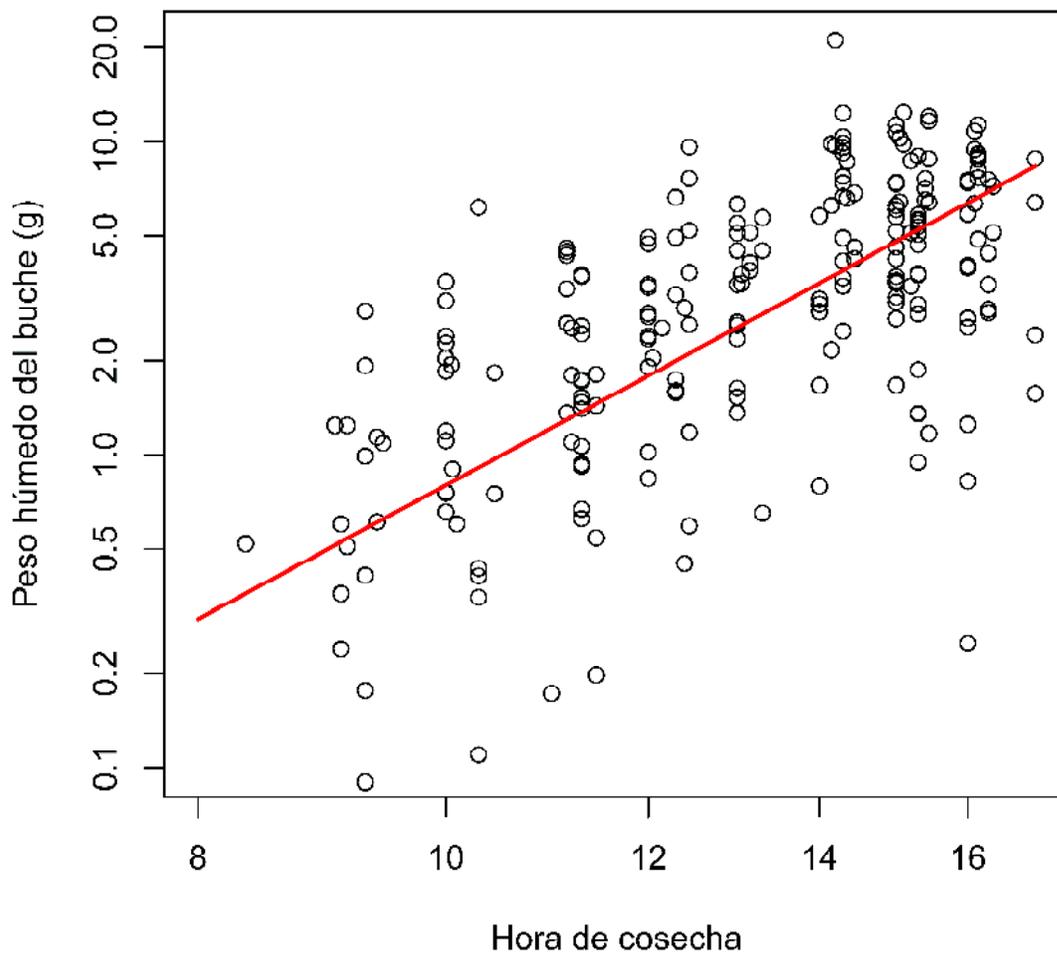
del área total), seguido del Pastizal desértico (24.21%), Bosque de pino-táscate de Colorado Plateau (19.53%) y el Encinal madrense (9.16%). El 20.94% del área total restante en Nuevo México está representado por 35 parches diferentes. El índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) del paisaje fue de  $1.29 \pm 0.03$  y  $0.89 \pm 0.03$  para Arizona y Nuevo México respectivamente. La diversidad de paisaje de Arizona difirió con respecto a la diversidad de paisaje presente en Nuevo México (Prueba de  $t$  de Student de diferencia de medias,  $t = 10.41$ , g.l.=212.47,  $P < 0.001$ ).



**Figura 6.** Disminución de los individuos por grupo durante la temporada de cacería en Arizona y Nuevo México. La temporada de cacería empieza el 15 de noviembre y termina el 14 de febrero.

**Tabla 2.** Proporción de sexo y edad (%) de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México.

Estado	<i>n</i>	Sexo (%)		Edad (%)	
		Macho	Hembra	Adulto	Juvenil
Arizona	177	65.67	34.33	28.89	71.11
New Mexico	147	59.18	40.82	29.97	70.03

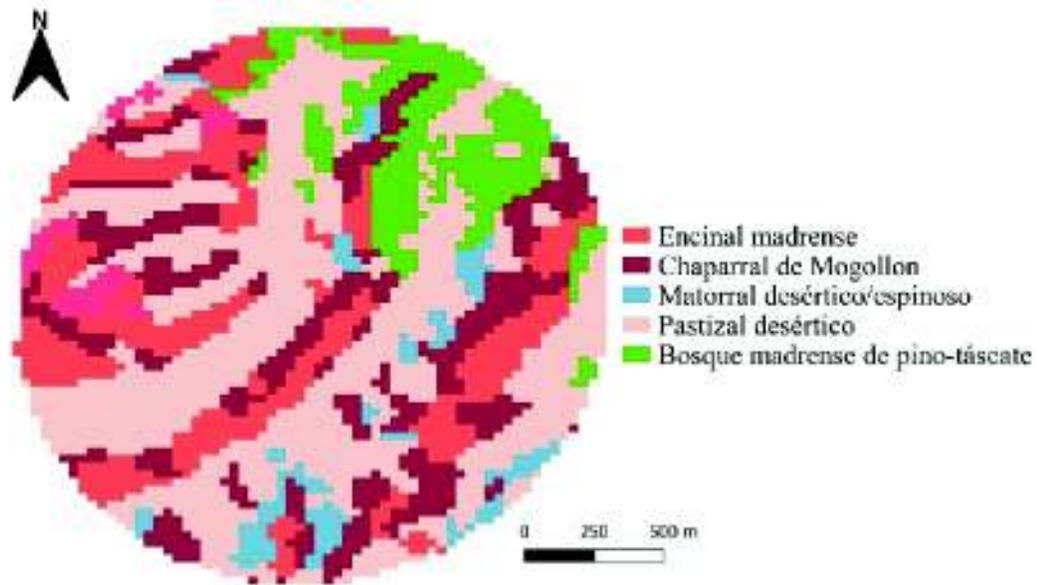


**Figura 7.** Patrón de forrajeo diario de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México. Ecuación de la regresión:  $\log(y) = -8.1449 + 3.5668 \cdot \log(x)$ ,  $P < 0.001$ .

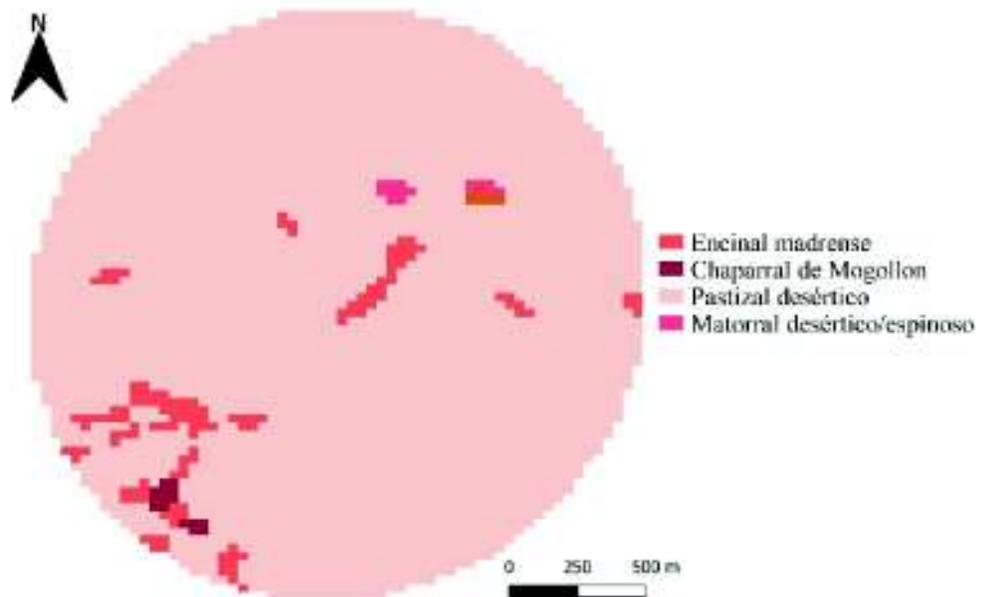
**Tabla 3.** Principales comunidades vegetales presentes en las áreas de forrajeo invernal de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México. Las comunidades representan más del 90% del área total encontrado en el análisis de PatchStats (VanDerWal *et al.*, 2014).

<b>Hábitat de forrajeo</b>	<b>AZ (%)</b>	<b>NM (%)</b>
Pastizal desértico	30.61	24.21
Encinal madrense	29.11	9.16
Matorral de tierra alta (matorral-pastizal)	19.38	0.78
Matorral desértico micrófilo	6.85	0.41
Chaparral de Mogollón	5.49	1.30
Bosque madrense de pino-táscate	4.89	26.16
Bosque de pino-táscate de Colorado Plateau	-	19.53
Bosque de pino ponderosa	-	8.17
Sabana madrense de táscate	0.01	2.42
Bosque de pino-táscate del sur de las montañas rocallosas	-	1.80
Otros*	3.66	6.03

\* El 3.66% y el 6.03% restante en AZ y NM lo componen 10 y 29 parches de vegetación diferentes respectivamente.



**Figura 8.** Parches de vegetación en un buffer de 1000 m de radio para un individuo cosechado a 3 km al suroeste de Parker Canyon Lake en el sureste de Arizona.

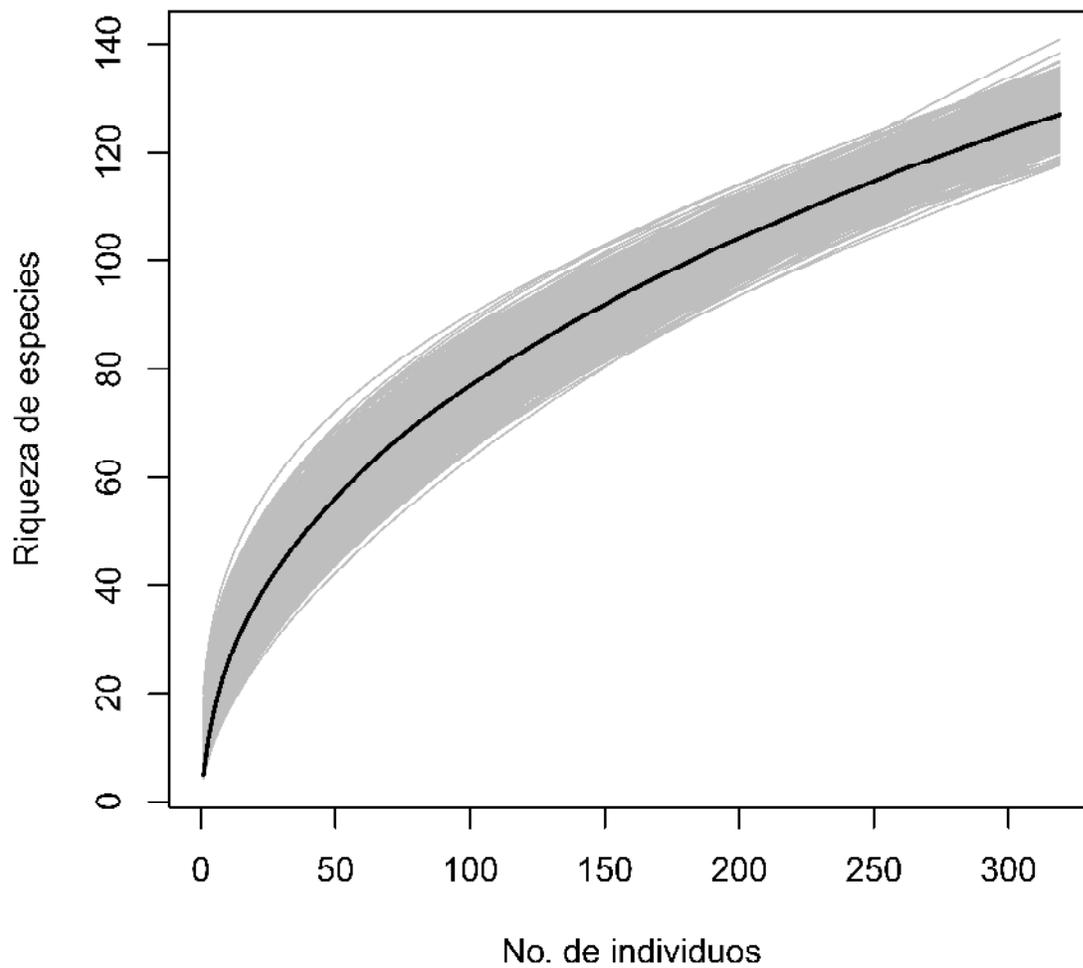


**Figura 9.** Parches de vegetación en un buffer de 1000 m de radio para un individuo cosechado a 10 km al noreste de las Montañas de Guadalupe en el suroeste de Nuevo México.

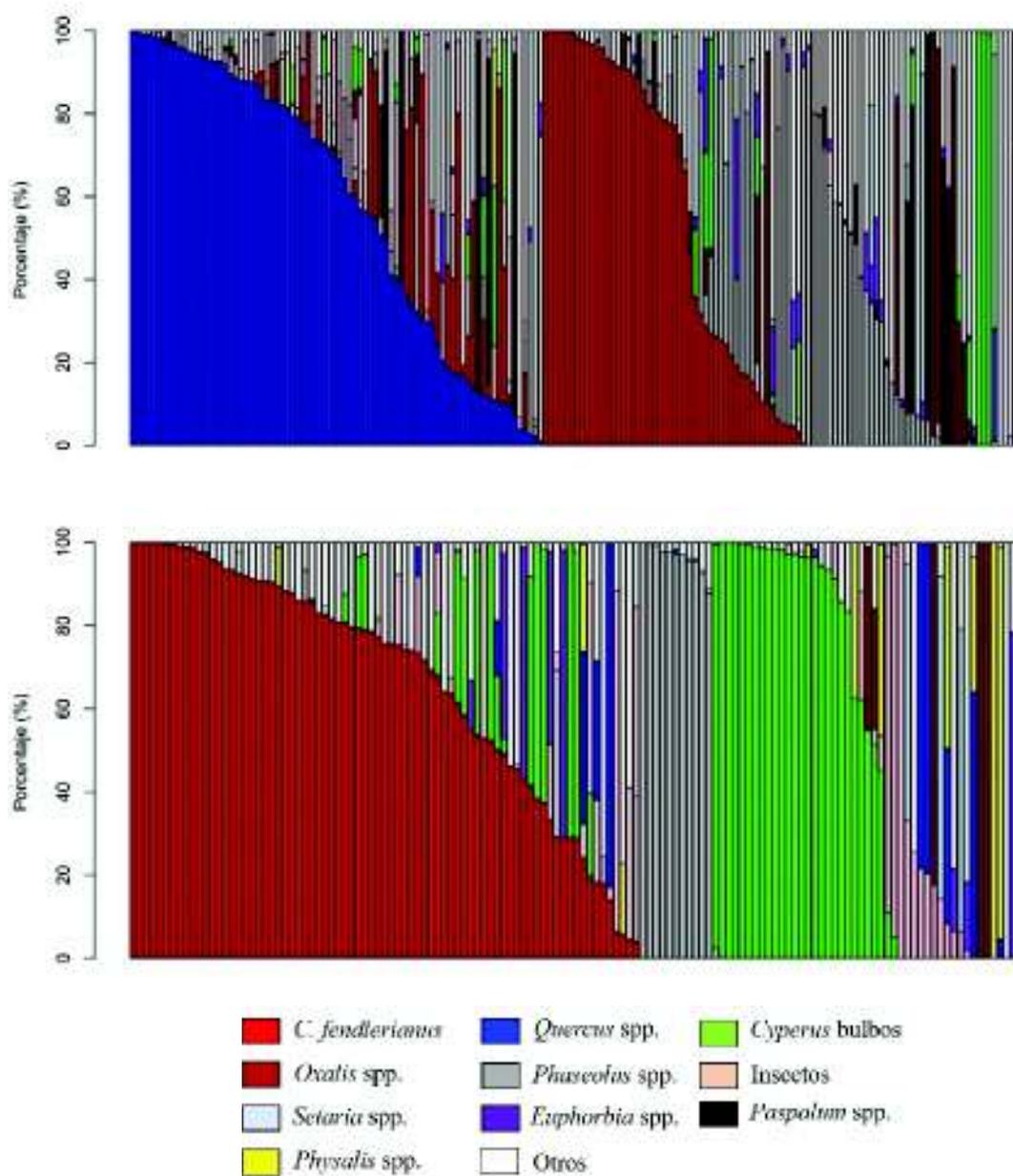
## V.2 Composición y variación de la dieta

Se analizaron 324 buches de *C. montezumae* provenientes de Arizona ( $n = 177$ ) y Nuevo México ( $n = 147$ ) durante diferentes temporadas de cacería de 2008–2017. Las codornices fueron cosechadas entre las 0800 y 1700 durante los meses de noviembre a febrero en cada temporada de cacería. Se encontraron 59 especies o morfoespecies de plantas pertenecientes a 26 familias y alrededor de 21 especies de insectos que pertenecen a 14 familias. Este esfuerzo de muestreo fue insuficiente para enlistar todas las especies/taxones consumidos por *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México. La riqueza de especies encontradas en el límite norte de distribución de la codorniz no se acercó a la asíntota (Figura 10). Además, no se encontró asociación en la diversidad de especies en los buches y a la diversidad de parches de vegetación (ANOVA de la regresión lineal,  $F_{1,218}$ ,  $p = 0.2767$ ).

Se observó una gran variación individual en la composición de los contenidos de los buches (Figura 11), aunque se pueden percibir algunos patrones generales. La dieta invernal de la codorniz moctezuma en Arizona estuvo conformada por 36% de semillas, 32% de bellotas, 25% de bulbos/rizomas, 4% de insectos y el 3% restante por diversas morfoespecies no identificadas (Tabla 4). Las bellotas de *Quercus* spp. (31.87%, peso seco) fue el principal alimento de *C. montezumae* durante el invierno, seguido de rizomas de *Cyperus fendlerianus* (17.59%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (12.99%) y semillas de *Paspalum* spp. (6.69%), los cuales representan alrededor del 70% de la dieta de la codorniz en el sureste de Arizona. Por su parte, los bulbos de *Oxalis* spp. y *Cyperus* spp., reportados como principales alimentos en estudios previos, obtuvieron el 3.68% y 3.47% del peso seco total respectivamente. Las semillas de pastos (Poaceae) como *Paspalum* spp., *Urochloa* spp., *Piptochaetium fimbriatum*, *Setaria* spp., *Panicum hirticaule*, *Bothriochloa* spp. e incluso *Sorghum halepense* (especie invasora), representaron el 12.5% de la dieta de la codorniz en Arizona. El 4% de la dieta de la codorniz moctezuma consistió en una variedad de insectos, principalmente del orden Coleoptera y Heminoptera (Tabla 5). La especie *Liorphyssus hylianus* (Hemiptera: Rhopalidae) fue el insecto más frecuente en los buches de *C. montezumae* en Arizona, seguido de los centípedos de tierra (Geophilomorpha) y los saltamontes del género *Melanoplus* spp. (Orthoptera: Acridae). En menor proporción se encontraron restos de arañas (Arachnida) e incluso caracoles desérticos (Gastropoda).



**Figura 10.** Curva de acumulación de especies (línea negra) generada con 1,000 permutaciones (líneas grises), presente en los buches de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México.



**Figura 11.** Variación individual de 308 individuos de *C. montezumae* cosechados en Arizona ( $n = 173$ ) y Nuevo México ( $n = 135$ ). Individuos de Arizona (gráfica superior) e individuos de Nuevo México (gráfica inferior).

**Tabla 4.** Composición de la dieta invernal de *C. montezumae* en Arizona (2016-2017).

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
<i>Quercus</i> spp.	Fagaceae	bellota	31.8734
<i>Cyperus fendlerianus</i>	Cyperaceae	rizoma	17.5957
<i>Phaseolus acutifolius</i>	Fabaceae	semilla	12.9979
<i>Paspalum</i> spp.	Poaceae	semilla	6.69024
Insectos	-	-	3.95494
<i>Oxalis</i> spp.	Oxalidaceae	bulbo	3.68706
<i>Urochloa</i> spp.	Poaceae	semilla	3.56393
<i>Cyperus</i> spp.	Cyperaceae	bulbo	3.4708
<i>Commelina dianthifolia</i>	Commelinaceae	semilla	2.40106
<i>Piptochaetium fimbriatum</i>	Poaceae	semilla	1.43994
<i>Euphorbia bilobata</i>	Euphorbiaceae	semilla	1.4283
<i>Lupinus</i> spp.	Fabaceae	semilla	1.1778
<i>Vitis arizonica</i>	Vitaceae	semilla	0.85189
<i>Tephrosia</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.80767
<i>Diodia teres</i>	Rubiaceae	semilla	0.65223
<i>Cyperus fendlerianus</i>	Cyperaceae	semilla	0.62593
<i>Kallstroemia parviflora</i>	Zygophyllaceae	semilla	0.49372
Asteraceae	Asteraceae	semilla	0.45525
<i>Calliandra humilis</i>	Fabaceae	semilla	0.31798
<i>Setaria</i> spp.	Poaceae	semilla	0.26368
<i>Mirabilis longiflora</i>	Nyctaginaceae	semilla	0.21915
<i>Euphorbia</i> spp.	Euphorbiaceae	semilla	0.21592

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
<i>Panicum hirticaule</i>	Poaceae	semilla	0.20020
<i>Chilopsis linearis</i>	Bignoniaceae	semilla	0.19753
<i>Setaria nigricans</i>	Poaceae	semilla	0.17857
<i>Ipomoea</i> spp.	Convolvulaceae	semilla	0.17446
<i>Tragia</i> spp.	Euphorbiaceae	semilla	0.16276
<i>Desmodium</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.14231
<i>Physalis</i> spp.	Solanaceae	fruto	0.13458
<i>Bothriochloa</i> spp.	Poaceae	semilla	0.11815
<i>Solanum</i> spp.	Solanaceae	semilla	0.07549
<i>Agave/Yucca</i>	Asparagaceae	semilla	0.07265
<i>Lotus</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.06176
<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae	semilla	0.05039
Arachnida	-	-	0.04280
<i>Sphaeralcea fendleri</i>	Malvaceae	semilla	0.02863
<i>Euphorbia exstipulata</i>	Euphorbiaceae	semilla	0.01787
<i>Celtis reticulata</i>	Cannabaceae	semilla	0.0152
Caracol (Gastropoda)	-	-	0.01373
<i>Amaranthus</i> spp.	Amaranthaceae	semilla	0.01259
<i>Ziziphus obtusifolia</i>	Rhamnaceae	semilla	0.00973
<i>Talinum aurantiacum</i>	Talinaceae	semilla	0.00661
<i>Bidens leptcephala</i>	Asteraceae	semilla	0.00628
Solanaceae	Solanaceae	semilla	0.00517
<i>Pinus edulis</i>	Pinaceae	semilla	0.00495

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
<i>Lupinus</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.00295
<i>Juniperus</i> spp.	Cupressaceae	hoja	0.00114
Malvacea	Malvaceae	semilla	0.00111
<i>Sida</i> sp	Malvaceae	semilla	0.00036
<i>Aristida</i> spp.	Poaceae	semilla	0.00003
Sin identificar	-	-	3.07775

La dieta de la codorniz moctezuma en Nuevo México (Tabla 6) estuvo constituida por bulbos/rizomas (54% de la dieta), seguido de semillas (29%), insectos (7%), frutos/bellotas (8%) y otras especies sin identificar (2%). Los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (30.82%) fue el principal alimento encontrado en los individuos de Nuevo México, seguido de semillas de *Phaseolus acutifolius* (17.67%), bulbos de *Cyperus* spp. (16.95%) e insectos (6.9%), estos componentes representaron alrededor del 72% de la dieta total. Por su parte, los bulbos de *Oxalis* spp. y las bellotas de *Quercus* spp. representaron el 6.25% y 3.51% de la dieta total respectivamente. Las semillas de pastos (Poaceae) constituyó el 3.44% de la dieta de la codorniz en Nuevo México, las semillas pertenecían a las especies *Setaria* spp., *Piptochaetium fimbriatum*, *Panicum hirticaule* y *Urochloa* spp. Los insectos representaron el 6.9% de la dieta, donde el orden Coleoptera fue el que presentó mayor número de especies (Tabla 7). Las especies más abundante en los buches de la codorniz fue *Zygogramma tortuosa* (Coleoptera: Chrysomelidae), saltamontes del género *Melanoplus* (Orthoptera: Acrididae) y centípedos de tierra (Geophilomorpha). En los buches de Nuevo México también se encontraron restos de caracoles desérticos (Gastropoda) al igual que en los buches analizados en Arizona.

La dieta de la *C. montezumae* varió notablemente en la proporción de los principales alimentos en dos temporadas invernales (2009-2010 y 2015-2016) en Nuevo México (Figura 12). En la temporada invernal 2009-2010 ( $n = 75$ ) la dieta estuvo compuesta principalmente

por rizomas de *Cyperus fendlerianus* (49.90%), bulbos de *Cyperus* spp. (12.70%), semillas de *Euphorbia bilobata* (7.80%), insectos (7.57%), semillas de *Paspalum* spp. (4.56%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (3.16%) y bulbos de *Oxalis* spp. (2.90%), los cuáles representaron alrededor del 89% de la dieta. En la temporada 2015-2016 ( $n = 43$ ) la dieta estuvo constituida principalmente por semillas de *Phaseolus acutifolius* (43.03%), rizomas de *Cyperus fendlerianus* (14.19%), insectos (9.55%), bellotas de *Quercus* spp. (9.26%) y bulbos de *Cyperus* spp. (8.25), estas especies representaron el 85% de la dieta durante el invierno.

**Tabla 5.** Insectos presentes en los bucheros de *C. montezumae* en Arizona.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre en inglés</b>
Coleoptera	Carabidae	-	Ground beetle
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Chelymorpha</i> spp.	Leaf beetle
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Disonycha glabrata</i>	Pigweed flea beetle
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Olla</i> spp.	Lady beetle
Coleoptera	Curculionidae	<i>Ophryastes</i> spp.	Weevil
Geophilomorpha	-	-	Soil centipede
Hemiptera	Pentatomidae	-	Stink bug
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Euschistus</i> spp.	Stink bug
Hemiptera	Rhopalidae	<i>Liorhyssus hylianus</i>	Hyaline grass bug
Hemiptera	Thyreocoridae	-	Ebony bug
Hymenoptera	Formicidae	-	Ant
Orthoptera	Acrididae	<i>Melanoplus</i> spp.	Grasshopper
Orthoptera	Grillydae	-	Cricket

**Tabla 6.** Composición de la dieta invernal de *C. montezumae* en Nuevo México (2009-2016).

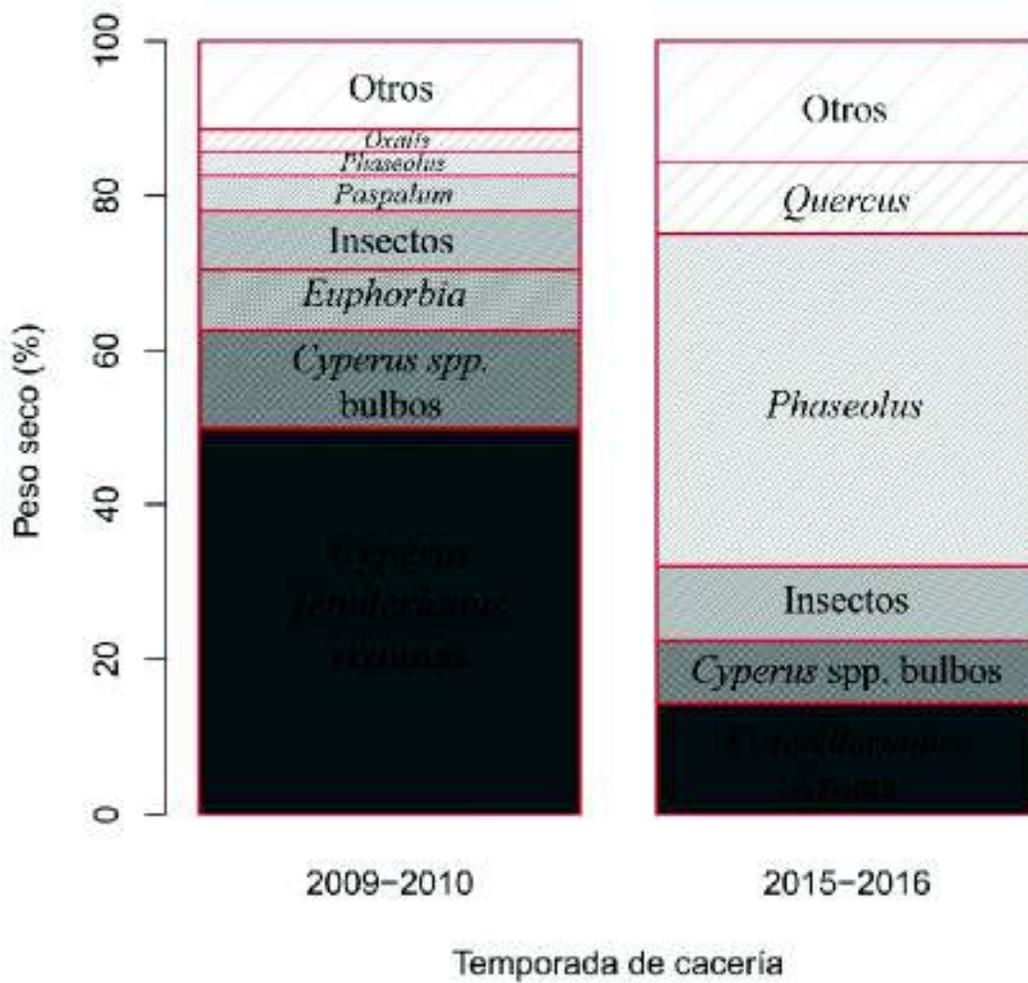
<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
<i>Cyperus fendlerianus</i>	Cyperaceae	rizoma	30.8220
<i>Phaseolus acutifolius</i>	Fabaceae	semilla	17.6705
<i>Cyperus</i> spp.	Cyperaceae	bulbo	16.9507
Insectos	-	-	6.9034
<i>Oxalis</i> spp.	Oxalidaceae	bulbo	6.2550
<i>Physalis</i> spp.	Solanaceae	fruto	3.5506
<i>Quercus</i> spp.	Fagaceae	bellota	3.5131
<i>Euphorbia bilobata</i>	Euphorbiaceae	semilla	3.3192
<i>Setaria</i> spp.	Poaceae	semilla	1.9244
<i>Cyperus fendlerianus</i>	Cyperaceae	semilla	1.2040
<i>Piptochaetium fimbriatum</i>	Poaceae	semilla	1.1903
<i>Commelina dianthifolia</i>	Commelinaceae	semilla	0.9837
<i>Ipomoea</i> spp.	Convolvulaceae	semilla	0.8230
<i>Tephrosia</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.6382
<i>Panicum hirticaule</i>	Poaceae	semilla	0.3192
<i>Heterosperma pinnatum</i>	Asteraceae	semilla	0.3086
<i>Desmodium</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.2664
<i>Solanum</i> spp.	Solanaceae	fruto	0.1612
<i>Desmanthus cooleyi</i>	Fabaceae	semilla	0.1114
<i>Solanum</i> spp.	Solanaceae	fruto	0.0766

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
Cyperaceae	Cyperaceae	semilla	0.0715
<i>Mirabilis longiflora</i>	Nyctaginaceae	semilla	0.0709
<i>Lupinus</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.0703
<i>Sphaeralcea fendleri</i>	Malvaceae	semilla	0.0576
<i>Euphorbia</i> spp.	Euphorbiaceae	semilla	0.0477
<i>Calliandra</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.0418
<i>Kallstroemia parviflora</i>	Zygophyllaceae	semilla	0.0413
<i>Calliandra humilis</i>	Fabaceae	semilla	0.0359
<i>Talinum aurantiacum</i>	Talinaceae	semilla	0.0339
<i>Celtis reticulata</i>	Cannabaceae	semilla	0.0221
<i>Polygonum</i> spp.	Polygonaceae	semilla	0.0218
<i>Lupinus</i> spp.	Fabaceae	semilla	0.0114
<i>Prunus virginiana</i>	Rosaceae	semilla	0.0113
<i>Croton pottsii</i>	Euphorbiaceae	semilla	0.0111
Fabacea	Fabaceae	semilla	0.0075
Caracol (Gastropoda)	-	-	0.0071
Fabaceae	Fabaceae	semilla	0.0058
<i>Urochloa</i> spp.	Poaceae	semilla	0.0053
<i>Hymenopappus flavescens</i>	Asteraceae	semilla	0.0036
<i>Lupinus neomexicanus</i>	Fabaceae	semilla	0.0035
Fabaceae	Fabaceae	semilla	0.0021
Malvacea	Malvaceae	semilla	0.0020

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Parte detectada</b>	<b>Peso seco (%)</b>
Fabacea	Fabaceae	semilla	0.0018
<i>Euphorbia</i> spp.	Euphorbiaceae	semilla	0.0018
<i>Cryptantha cinerea</i>	Boraginaceae	semilla	0.0012
Sin identificar	-	-	2.4179

**Tabla 7.** Insectos presentes en los buches de *C. montezumae* en Nuevo México.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre en inglés</b>
Coleoptera	Carabidae	<i>Selenophorus</i> spp.	Ground beetle
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Zygogramma tortuosa</i>	Ambrosia leaf beetle
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Paria</i> spp.	Leaf beetle
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Disonycha</i> spp.	Flea beetle
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Olla</i> spp.	Lady beetle
Coleoptera	Curculionidae	<i>Ophryastes</i> spp.	Weevil
Coleoptera	Tenebrionidae	-	Darkling beetle
Geophilomorpha	-	-	Soil centipede
Hymenoptera	Formicidae	-	Ant
Isopoda	Armadillidium	<i>Armadillidium vulgare</i>	Pill-bug
Isoptera	-	-	Termites
Orthoptera	Acrididae	<i>Melanoplus</i> spp.	Grasshopper
Spirostreptida	-	-	Desert millipede



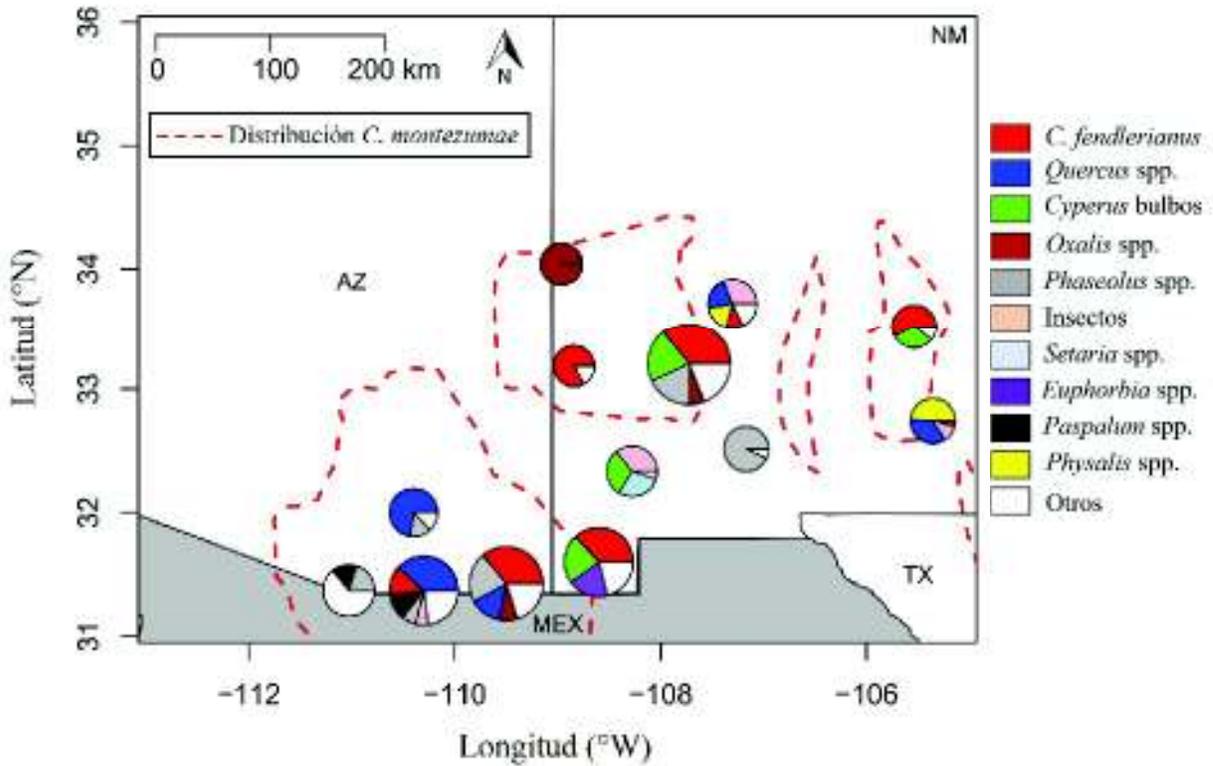
**Figura 12.** Variación en la proporción de la dieta invernal de *C. montezumae* en Nuevo México en dos temporadas de cacería con 5 años de separación.

La composición de la dieta de la codorniz cambia dependiendo de las variables ambientales y de hábitat presente en el límite norte de su distribución (Figura 13) de acuerdo con los resultados del análisis de regresión de Dirichlet (Tabla 8). La temperatura media anual tuvo una asociación positiva en la proporción de bellotas de *Quercus* ( $\beta = 3.59$ ,  $z = 15.494$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ), semillas de *Phaseolus* ( $\beta = 0.36$ ,  $z = 2.29$ , g.l.=1170,  $p = 0.022$ ) e insectos ( $\beta = 0.41$ ,  $z = 2.061$ , g.l. = 1170,  $p = 0.039$ ) y una asociación negativa con los rizomas de *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = -0.41$ ,  $z = -2.232$ , g.l. = 1170,  $p = 0.025$ ) y bulbos de *Cyperus* ( $\beta = -0.59$ ,  $z = -3.154$ , g.l.=1170,  $p < 0.001$ ). La precipitación anual presentó una asociación negativa con *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = -0.005$ ,  $z = -3.138$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ) e insectos ( $\beta = -0.006$ ,  $z = -2.53$ , g.l. = 1170,  $p = 0.011$ ).

La altitud o elevación mostró una asociación positiva con *Quercus* ( $\beta = 0.019$ ,  $z = 13.317$ , g.l.= 1170,  $p < 0.001$ ), *Phaseolus* ( $\beta = 0.002$ ,  $z = 2.035$ , g.l. = 1170,  $p = 0.041$ ), insectos ( $\beta = 0.003$ ,  $z = 2.53$ , g.l. = 1170,  $p = 0.011$ ) y con las semillas de *Commelina dianthifolia* ( $\beta = 0.003$ ,  $z = 2.343$ , g.l. = 1170,  $p = 0.019$ ). Los bulbos de *Cyperus* ( $\beta = -0.58$ ,  $z = -3.154$ , g.l. = 1170,  $p = 0.003$ ) fue el único componente que presentó una asociación negativa con la altitud. La latitud se asoció positivamente con *Quercus* ( $\beta = 4.94$ ,  $z = 15.14$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ), y negativamente con los bulbos de *Cyperus* ( $\beta = -0.603$ ,  $z = -2.335$ , g.l. = 1170,  $p = 0.019$ ) y rizomas de *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = -1.59$ ,  $z = -5.488$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ). Por otro lado, la longitud tuvo una asociación negativa con *Quercus* ( $\beta = -1.34$ ,  $z = -9.596$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ) y *Phaseolus* ( $\beta = -0.294$ ,  $z = -2.71$ , g.l. = 1170,  $p = 0.006$ ).

La proporción de insectos ( $\beta = 0.374$ ,  $z = 2.341$ , g.l. = 1170,  $p = 0.019$ ), *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = 0.547$ ,  $z = 3.716$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ), *Commelina dianthifolia* ( $\beta = 0.522$ ,  $z = 3.05$ , g.l. = 1170,  $p = 0.002$ ) y *Euphorbia bilobata* ( $\beta = 0.651$ ,  $z = 3.798$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ) se asoció positivamente con la diversidad de especies presente en los buches. Por otro lado, *Quercus* ( $\beta = -0.323$ ,  $z = -2.343$ , g.l. = 1170,  $p = 0.019$ ) se relacionó negativamente con la diversidad de especies en los buches. La hora de cacería o tiempo de forrajeo se asoció positivamente con *Quercus* ( $\beta = 0.0009$ ,  $z = 3.637$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ), *Phaseolus* ( $\beta = 0.0008$ ,  $z = 2.68$ , g.l. = 1170,  $p = 0.007$ ) y rizomas *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = 0.001$ ,  $z = 5.24$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ). La diversidad del paisaje tuvo una relación positiva con *Phaseolus* ( $\beta = 0.524$ ,  $z = 2.344$ , g.l. = 1170,  $p = 0.019$ ) y rizomas *Cyperus fendlerianus* ( $\beta = 0.82$ ,  $z =$

2.758, g.l. = 1170,  $p = 0.005$ ) y negativa con *Quercus* ( $\beta = -3.813$ ,  $z = -16.334$ , g.l. = 1170,  $p < 0.001$ ) y *Euphorbia bilobata* ( $\beta = -0.728$ ,  $z = -2.271$ , g.l. = 1170,  $p = 0.022$ ).



**Figura 13.** Variación espacial de los principales alimentos presente en la dieta de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México. Círculos más grandes indican mayor número de muestras analizadas.

**Tabla 8.** Asociación entre las proporciones de los principales componentes en la dieta de la codorniz moctezuma y variables explicativas: temperatura media anual (*T*), precipitación anual (*P*), elevación (*E*), latitud (*Lat*), longitud (*Lon*), índice de Shannon-Wiener de los buches individuales (*H<sub>B</sub>*), índice de Shannon-Wiener de los tipos de vegetación en la ubicación geográfica de los individuos cosechados (*H<sub>L</sub>*) y hora de cacería (*t*). Los símbolos + y – denotan los coeficientes de regresión  $\beta > 0$  y  $\beta < 0$  respectivamente. Símbolo individual o doble denotan los valores de  $P < 0.01$ ,  $< 0.05$  y  $< 0.001$  respectivamente, para el test de Wald de  $\beta = 0$ .

Componente alimenticio	Variables explicativas							
	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>H<sub>B</sub></i>	<i>H<sub>L</sub></i>	<i>t</i>
<i>Cyperus fendlerianus</i> (rizomas)	0	---	0	---	0	+++	++	+++
<i>Quercus</i> spp. (bellotas)	+++	0	+++	+++	---	--	---	+++
<i>Phaseolus acutifolius</i> (semillas)	++	0	++	0	--	0	++	++
<i>Cyperus</i> spp. (bulbos)	---	0	--	--	0	0	0	0
Insectos	++	--	+	0	0	0	0	0
<i>Oxalis</i> spp. (bulbos)	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Commelina dianthifolia</i> (semillas)	0	0	+	0	0	++	0	0
<i>Euphorbia bilobata</i> (semillas)	0	0	0	0	0	+++	-	0

## VI. DISCUSIÓN

El tamaño de los grupos de forrajeo y la clase de edad y sexo de los individuos dentro de los grupos son de gran importancia para observar cambios en dinámica poblacional de la codorniz moctezuma a través de diferentes temporadas invernales. Los tamaños de grupos de forrajeo (individuos por grupo) obtenido en este trabajo,  $8.48 \pm 0.37$  en Arizona y  $9.45 \pm 0.35$  en Nuevo México, son similares a lo encontrado por diferentes autores en la distribución norte de la codorniz moctezuma, en donde reportan grupos que van de los 6 hasta 10 individuos promedio (Leopold y McCabe, 1957; Bishop, 1964; Stromberg, 1990; Holdermann, 1992; Heffelginfer y Olding, 2000; Harveson *et al.*, 2007). Probablemente este número de individuos por grupo sea el tamaño óptimo de grupos invernales, el cuál puede promover una mejor eficiencia de forrajeo como en otras especies de codornices (Williams *et al.*, 2003).

A su vez, se encontró que dichos grupos de forrajeo disminuían conforme la temporada de cacería terminaba, lo cual es posible atribuirlo al comportamiento monógamo de la codorniz moctezuma (Johnsgard, 1973, 2017), donde a finales de marzo las codornices se vuelven territoriales y empiezan a buscar parejas para la temporada de reproducción. El tamaño o abundancia de grupos de las codornices están relacionados con las condiciones presentes en sus hábitats (Chavarria *et al.*, 2012b; Parent *et al.*, 2016). Los eventos extremos (sequía o tormentas severas) y la estructura del hábitat son los factores que posiblemente determinen la abundancia de los grupos sociales de la codorniz moctezuma, en este sentido, el tamaño de grupos puede ser utilizado como un indicador del estado actual de los hábitats que la codorniz ocupa en el límite norte de su distribución (Chavarria *et al.*, 2012b; Parent *et al.*, 2016)

De igual manera se obtuvo el sexo y la edad de cada codorniz cosechada. El porcentaje de machos fue mayor que al de las hembras tanto en Arizona (65.67%) como Nuevo México (59.18%), esto parece ser algo normal en las codornices de Norte América (Emlen, 1940; Leopold, 1945; Bishop, 1964; Raitt y Ohmart, 1968; Brown y Gutiérrez, 1980; Chavarria, 2013; Johnsgard, 2017). Algunos autores coinciden que la proporción de sexos divergen de números casi iguales (proporción 1:1 al momento de eclosionar) a proporciones que favorecen a los machos en la población adulta, probablemente debido a la depredación y

estrés de anidación de las hembras (Leopold, 1945; Leopold y McCabe, 1957; Johnsgard, 1973). Por su parte, las clases de edades (adulto y juvenil) fue contrastante, los individuos juveniles o inmaduros tuvieron un porcentaje muy alto de presencia en Arizona (71.11%) y Nuevo México (70.03%) lo que hace que la proporción de juveniles sea más del doble que la de los adultos, sin embargo, es una tendencia reportada en la codorniz moctezuma como en otras especies de la familia Odontophoridae (Emlen, 1940; Leopold, 1945; Bishop, 1964; Raitt y Ohmart, 1968; Johnsgard, 1973; Brown and Gutiérrez, 1980; Chavarria, 2013; Johnsgard, 2017). Dado al tamaño pequeño de los grupos invernales, a la proporción de juveniles:adultos y la disminución de los grupos conforme la temporada de reproducción se acerca, es por lo que se cree que los grupos de forrajeo pueden estar conformados por unidades familiares, es decir, la pareja adulta y sus crías (Leopold y McCabe, 1957; Stromberg, 2000; Johnsgard, 1973, 2017).

Bishop (1964) menciona que *C. montezumae* forrajea continuamente durante el día, siendo después de las 1500 horas cuando los buches estaban llenos. Este trabajo confirma el comentario anterior, al encontrar que el peso húmedo de los buches aumenta constantemente durante el día. Este resultado sugiere que el tiempo de forrajeo puede ser un factor limitante durante el invierno debido a la disminución de las horas de luz y la necesidad de cubrir las necesidades energéticas para la termorregulación. La capacidad del buche promedio (g) encontrado en Arizona ( $2.91 \pm 0.18$ ) y en Nuevo México ( $3.02 \pm 0.23$ ) fue ligeramente mayor comparado con el 2.43 y 2.03 reportado por Zaragoza-Hernández (2001) y Fernández-López (2015) respectivamente en el centro de México. La capacidad máxima del buche de Zaragoza-Hernández (2001) fue de 7.5 en el noroeste del Estado de México, mientras que en este trabajo se encontró que para Arizona la capacidad máxima fue de los buches fue 10.71 g y 21.10 g para Nuevo México. Una posible explicación a la diferencia de almacenamiento de los buches puede estar ligado a cambios en la morfología del sistema digestivo debido a la calidad y disponibilidad de alimentos presentes en el invierno (Whiteside *et al.*, 2015; Bravo *et al.*, 2016). Leopold (1953) encontró que varias especies del orden Galliformes difieren en el tamaño del ciego e intestinos dependiendo del tipo de alimentación invernal, en general, un tamaño más largo significaba que la comida era de calidad “pobre” y más cortos de calidad “buena”. Dicha relación también se encontró en dos poblaciones de la Codorniz Californiana (*Callipepla californica*), Codorniz Escamosa (*Callipepla squamata*)

y Codorniz Norteña (*Colinus virginianus*) (Leopold, 1953; Leif y Smith, 1993). En este sentido, debido a la diferencia en la disponibilidad de alimentos en el límite norte y centro de la distribución de la codorniz moctezuma, se hipotetiza que los buches de las poblaciones presentes en zonas áridas y semi-áridas (p. ej. Arizona y Nuevo México) podrían ser más grandes con respecto a las poblaciones presentes en el centro de México. Posiblemente los buches relativamente más grandes en las poblaciones norteñas de la codorniz moctezuma le ayude a tener más espacio para el almacenamiento de alimentos, lo cual le sería útil en temporadas donde el alimento principal escasea y es necesario buscar alimentos alternativos o de baja calidad durante gran parte del día para sustituir el alimento principal.

Los grupos invernales de la codorniz moctezuma pueden utilizar una gran variedad de tipos de vegetación para forrajeo. De total de los parches de vegetación encontrados en los diferentes puntos de cosecha, Arizona ( $H' = 1.29$ ) presentó la mayor diversidad en comparación con Nuevo México ( $H' = 0.89$ ). Sin embargo, más del 80% del área de forrajeo tanto en Arizona como en Nuevo México está representado por 4 tipos de vegetación. En Arizona los parches de vegetación con mayor área (>10% del total) en los sitios de forrajeo de la codorniz moctezuma fueron el Pastizal desértico, el Encinal madreño y el Matorral de tierra alta (transición matorral-pastizal), mientras que en Nuevo México fueron los Bosques de pino-táscate y el Pastizal desértico. El gran porcentaje de área que ocupan estos parches de vegetación son similares a los trabajos previos realizados en el suroeste de Estados Unidos y centro de México (Bishop, 1964; Holdermann, 1992; Zaragoza-Hernández, 2001; Greene, 2011; Chavarria, 2013).

La dieta de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México estuvo constituida por una gran diversidad de especies de plantas e insectos. Aunque la diversidad de especies presente en los buches de la codorniz fue similar entre Arizona ( $H' = 0.85 \pm 0.04$ ) y Nuevo México ( $H' = 0.54 \pm 0.03$ ), la composición de la dieta difirió entre ambos estados. A pesar de la diversidad de parches de vegetación, no se encontró una relación entre la diversidad de especies en los buches de *C. montezumae* con la diversidad del paisaje. La composición de la dieta invernal de la codorniz moctezuma fue diferente en comparación con los estudios realizados hace alrededor de 50 años en Arizona (Bishop y Hungerford, 1965; Brown, 1982). Los estudios previos realizados en el sureste de Arizona destacan que durante el invierno y gran parte del año el principal alimento de la codorniz moctezuma son los bulbos de *Oxalis*

spp. y *Cyperus* spp., los cuales pueden representar más del 70% de la dieta (Bishop y Hungerford, 1965; Brown, 1982). Sin embargo, en el presente estudio las bellotas de encinos (*Quercus* spp.) fue el principal alimento de la codorniz con un 32% del peso seco total, mientras que los bulbos de *Oxalis* y *Cyperus* representaron únicamente el 7% de la dieta durante la temporada 2016-2017. Bishop y Hungerford (1965) sugieren que una alta cantidad de bellotas en la dieta de la codorniz puede deberse a la baja disponibilidad de otros alimentos, la cual pudiera estar asociada a las lluvias de verano. Estos autores observaron que lluvias inadecuadas durante el verano de 1962 se vio reflejado en una gran cantidad de bellotas presente en los buches de *C. montezumae* en el invierno. Sin embargo, durante el invierno de 1963 la dieta estaba constituida por una gran cantidad de semillas en lugar de bellotas, lo cual lo asociaron a las buenas lluvias de verano de ese año. Aunque Brown (1982) no discute extensamente sobre la dieta de la codorniz, no encontró bellotas en los 188 buches de la analizados durante diferentes años (1967-1977) en el sur de Arizona. Por otro lado, Stromberg (1990) no analizó en detalle la dieta invernal de la codorniz moctezuma, aunque observó una gran cantidad de bellotas en 45 buches analizados. Lo anterior refleja la importancia de las bellotas, ya que representan una alternativa en la dieta cuando existe una baja disponibilidad de bulbos y/o tubérculos en los hábitats de la codorniz moctezuma.

Los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (17.59%) y las semillas de *Phaseolus acutifolius* (12.99%) constituyeron una gran parte de la dieta de la codorniz en Arizona. Los rizomas, al igual que los bulbos y tubérculos, son modificaciones subterráneas de los tallos, y posiblemente pueden tener un valor nutrimental parecido a los bulbos de *Oxalis* y *Cyperus* dado a la frecuencia de aparición en la dieta de la codorniz. La presencia de semillas de *Phaseolus acutifolius* en la dieta invernal de la codorniz ya había sido reportada con anterioridad (Bishop y Hungerford, 1965; Brown, 1982) aunque no representaba más del 3% de la dieta. El aumento de esta especie en la dieta invernal puede representar, al igual que las bellotas, una alternativa para el cumplimiento de los requerimientos alimenticios durante la temporada invernal o simplemente la abundancia de *Phaseolus* en lo buches está dado debido a la alta disponibilidad de la especie en los hábitats de la codorniz debido a la adaptación que tienen estas plantas a las zonas áridas-semiáridas y a altas altitudes. Las especies de pastos (12.5%) y los insectos (4%), principalmente Coleópteros, fueron componentes relativamente abundantes en la dieta de los individuos de *C. montezumae* en Arizona.

La composición de la dieta de *C. montezumae* obtenida en Nuevo México es información novedosa para la especie, ya que el estudio de las preferencias alimenticias para la codorniz solo había sido abordado en Arizona. Las especies encontradas en los buches de los individuos cosechados en Nuevo México es similar a los de Arizona; sin embargo, la proporción de las especies fue diferente entre ambos estados. Las bellotas de *Quercus* representaron solo el 3.51% de la dieta en Nuevo México, una proporción muy baja cuando se compara con lo encontrado en Arizona, en donde las bellotas constituyeron el alimento más importante para la codorniz. Por otro lado, los rizomas de *Cyperus fendlerianus* pasó a ser el alimento principal en Nuevo México, constituyendo el 32% de la dieta total. Los bulbos de *Oxalis* spp. y *Cyperus* spp. tuvieron una mayor presencia en los buches de Nuevo México (23.20%) que en Arizona (7%). El porcentaje de semillas de *Phaseolus acutifolius* fue similar entre Nuevo México (17.67%) y Arizona (12.99%), lo cual refleja la importancia de esta especie en la dieta de invierno de la codorniz. Los insectos (6.95%) y las semillas de pastos (3.44%) fueron importantes en la dieta de *C. montezumae* en Nuevo México al igual que en Arizona.

El número de individuos cosechados de *C. montezumae* en Nuevo México durante la temporada de cosecha del 2009-2010 ( $n = 75$ ) y del 2015-2016 ( $n = 43$ ) permitió determinar si existe variación en la composición alimenticia de la codorniz durante diferentes temporadas invernales en un periodo de tiempo más corto que en Arizona. Si bien las especies que presentaron una mayor abundancia en la dieta en ambas temporadas de cacería fueron similares, la proporción de entre ellas fue diferente (Figura 12). Los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (49.90%) y los bulbos de *Cyperus* spp. (12.70%) fueron los componentes más abundantes durante la temporada 2009-2010 en Nuevo México, mientras que en la temporada 2015-2016 fueron las semillas de *Phaseolus acutifolius* (40.03%) y los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (14.19%). Las bellotas de *Quercus* spp. estuvieron ausente en la temporada 2009-2010, sin embargo, en la temporada 2015-2016 constituyeron alrededor del 10% de la dieta. Estos cambios en la dieta de la *C. montezumae* en un tiempo relativamente corto en Nuevo México, destaca la capacidad de la codorniz de cambiar sus hábitos alimenticios. A través del Monitor de Sequía de los Estados Unidos (USDM, Svoboda *et al.*, 2002) se observó que durante julio (periodo de mayor precipitación) del 2009 no hubo una clasificación de sequía en el oeste y suroeste de Nuevo México, sin embargo, en el mismo periodo pero del

2015, se presentaron sequías anormales y sequías moderadas tanto en el oeste como suroeste de Nuevo México. En dichas partes de Nuevo México es donde se encuentran los puntos de cosecha de la codorniz, lo cual puede sugerir que la abundancia de rizomas de *C. fendlerianus* y bulbos de *Cyperus* spp. en la temporada 2009-2010 fue debido a las condiciones normales de temperatura y humedad, mientras que el aumento en la proporción de semillas de *Phaseolus acutifolius* y bellotas de *Quercus* spp. en la temporada 2015-2016 esté relacionada con las sequías ocurridas durante el verano del 2015.

Como se mencionó anteriormente, la dieta de la codorniz moctezuma está constituida por una gran cantidad de especies, sin embargo, las especies más abundantes o de mayor consumo pertenecen a un número pequeño de grupos taxonómicos (*Quercus* spp, *Cyperus fendlerianus*, *Phaseolus acutifolius*, *Cyperus* spp. e insectos). Dichas especies cambiaron sus proporciones en los buches de *C. montezumae* debido a la disponibilidad de ellas en los sitios de cosecha que, a su vez, la disponibilidad de alimento depende de las condiciones presentes en esos sitios. Algunas de las especies principales cambiaron sus proporciones dependiendo de la temperatura media anual, tal es el caso de las bellotas de *Quercus* spp., semillas de *Phaseolus acutifolius* y los bulbos de *Cyperus* spp. ( $p < 0.001$ ) los cuales se encontraban en mayor porcentaje en los sitios en donde temperatura media anual era mayor. La proporción de rizomas de *Cyperus fendlerianus* en los buches de *C. montezumae* fue menor en sitios más cálidos (con mayor la temperatura media anual). Por otro lado, la precipitación anual tuvo una asociación negativa con la presencia de rizomas de *Cyperus fendlerianus* e insectos. Si bien la precipitación anual obtenida del WorldClim (precipitación media de 1970-2000) puede ser un buen acercamiento para observar una variación en la composición de la dieta, es necesario para trabajos futuros obtener la precipitación acumulada del verano del año en que las codornices fueron cosechadas. La latitud y longitud también se relacionó con la variación los principales componentes de la dieta de *C. montezumae* (Figura 13). La diversidad del paisaje influyó en la proporción tanto de bellotas de *Quercus* spp., semillas de *Phaseolus acutifolius* y rizomas de *Cyperus fendlerianus*, los tres componentes más abundantes en la dieta de la codorniz. Los individuos que fueron cosechados en áreas que presentan mayor diversidad de parches de vegetación son los que en los buches presentaban una mayor abundancia de rizomas y *Phaseolus*, caso

contrario ocurrió con las bellotas de *Quercus*, los cuales estaban en mayor abundancia cuando la diversidad de parches era menor.

La variación en la composición de la dieta invernal de *C. montezumae* en Arizona y Nuevo México sugiere que la plasticidad en la utilización de los recursos alimenticios, en respuesta a la variación anual de humedad y temperatura, juega un papel de gran relevancia en el comportamiento forrajero de la codorniz. Incluso la variación de temperatura y humedad puede tener efecto en la variación individual de la dieta de *C. montezumae*. En este sentido, cambios en los eventos de precipitación y aumento en la temperatura en el suroeste de los Estados Unidos y Norte de México debido al cambio climático (Seager *et al.*, 2007; MacDonald, 2010) puede tener efectos negativos en los hábitats de la codorniz moctezuma en Arizona y Nuevo México. Williams *et al.* (2010), predice que, si la temperatura y la aridez aumentan conforme a lo proyectado en el suroeste de los Estados Unidos, los árboles presentes en los bosques pueden tener altas tasas de mortalidad debido a los incendios y plagas en la corteza los cuales se relacionan con el aumento de la temperatura. A su vez, Thorne *et al.* (2018) predice que los bosques de pino-táscate, de pino ponderosa, y de encinos, entre otros, presentan una alta vulnerabilidad y una baja adaptación a los futuros escenarios climáticos (mayor aridez). De igual manera los pastizales presentes en el suroeste de Estados Unidos son considerados uno de los ecosistemas más amenazados debido a las actividades antropogénicas como la conversión a tierras agrícolas o ganaderas y la desertificación (Ceballos *et al.*, 2010; Pool *et al.*, 2014), incluso Gremer *et al.* (2015) menciona que las condiciones actuales, las cuales soportan pastos perennes, serán menos comunes en un futuro, especialmente en el Desierto Chihuahuense.

La posible reducción de los bosques y los pastizales en el suroeste de Estados Unidos pueden representar una gran pérdida de hábitat para la codorniz moctezuma. Salas *et al.* (2017) prevé que para el 2050 y 2070 se podría perder hasta un 40% del hábitat redituable de *C. montezumae*. Si bien los cambios en los hábitats de la codorniz moctezuma debido a la impredecibilidad de las lluvias y el aumento de la temperatura pudieran ya estarse reflejando en la composición de la dieta de la codorniz moctezuma, es necesario seguir estudiando no solo los hábitos alimenticios en la distribución norte de la codorniz, si no también otros aspectos relevantes como el ámbito hogareño, uso de hábitat y genética de poblaciones. Dichos estudios serán una herramienta indispensable para realizar un manejo adecuado del

hábitat de la codorniz, con el fin de que la especie persista en las zonas áridas y semiáridas del norte de México y suroeste de los Estados Unidos.

## VII. CONCLUSIONES

La información presentada en este trabajo contribuye al conocimiento ecológico de la codorniz moctezuma en la porción norte de su distribución. Si bien los patrones temporales de forrajeo (tiempo de forrajeo, tamaño de los grupos de forrajeo y estructura de edad y sexo de los grupos) no fueron analizados extensamente en este trabajo, siguen siendo datos importantes para entender de mejor manera el comportamiento de forrajeo de la codorniz moctezuma durante el invierno.

Existe una clara variación temporal y espacial en la composición de la dieta invernal de la codorniz moctezuma en el límite norte de su distribución. La composición de la dieta en el sur de Arizona fue diferente a lo reportado con anterioridad. Los bulbos de *Oxalis* spp., el cuál es considerado el alimento principal de la codorniz en Arizona (>60% de la dieta), representó menos del 4% de la dieta total en el presente trabajo. Por su parte, las bellotas de *Quercus* spp. fueron el alimento más importante de invierno (>30%). La composición y variación de la dieta de *C. montezumae* en Nuevo México es información novedosa para la especie. Los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (>30%), las semillas de *Phaseolus acutifolius* (>17%) y los bulbos de *Cyperus* spp. (>16%) fueron los taxones más importantes en la dieta de la codorniz en el Nuevo México.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que la codorniz moctezuma no es especialista en bulbos de *Oxalis* spp. La composición de la dieta depende de la disponibilidad de los recursos presentes en su hábitat, los cuáles pueden cambiar anualmente en respuesta a la variación de la humedad y temperatura presente en los diferentes sitios de cosecha a través de Arizona y Nuevo México. En este sentido, los posibles cambios en los eventos de precipitación y aumento en la temperatura (mayor aridez) en el suroeste de los Estados Unidos y Norte de México debido al cambio climático puede tener efectos negativos en los hábitats de la codorniz moctezuma, los cuales a su vez modificaran la disponibilidad del recurso alimenticio en presente en los hábitats que la codorniz puede ocupar actualmente.

## VIII. RECOMENDACIONES

La codorniz moctezuma puede ser considerada como una especie indicadora de pastizales-encinales templados en el norte de su distribución dadas las relaciones funcionales entre variables climáticas y la composición de su dieta. En este contexto, se recomienda el monitoreo de la dieta de la especie mediante un diseño de muestreo robusto como instrumento de monitoreo ecológico de ecosistemas. Este diseño de muestreo robusto deberá considerar la cosecha de buches de codorniz con repeticiones espaciales y temporales distribuidas uniformemente, esto es, cosechar un número relativamente constante de buches cada invierno a través de una red geográfica de puntos de muestreo. Este diseño robusto permitirá estimaciones precisas de las proporciones de los componentes de la dieta y sus cambios en el tiempo a medida que la región empieza a experimentar los efectos del cambio climático.

De igual manera es recomendable analizar el contenido nutricional (p. ej. proteína, calcio, fosforo, aminoácidos, etc.) de los diferentes componentes de la dieta, ya sea de los alimentos más abundantes o un análisis nutricional por buche, esto con el fin de determinar si la selección de la dieta es basada a la disponibilidad o al contenido de energía y nutrientes de los diferentes alimentos. Se prevé que los hábitats de la codorniz moctezuma serán altamente susceptibles al cambio climático, por lo que se recomienda realizar un esfuerzo de modelación de nicho de los diferentes componentes presentes en la dieta de la codorniz moctezuma para determinar con mayor precisión los efectos de los futuros escenarios climáticos sobre la distribución potencial de los alimentos más importantes en la codorniz a través de su distribución norteña.

## IX. LITERATURA CITADA

- Acevedo-Whitehouse, K., y A. L. Duffus. 2009. Effects of environmental change on wildlife health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364: 3429-3438. DOI: 10.1098/rstb.2009.0128
- Albers, R. P. y F. R. Gehlbach. 1990. Choices of feeding habitat by relict Montezuma quail in Central Texas. *Wilson Bulletin*, 102: 300-308.
- Austin, T., Y. Begay, S. Biedenbender, R. Biggs, E. Boyle, E. Curiel, S. Davis, S. Detchet, T. Emmett, M. Farrell, R. Gerhart, W. Gillespie, P. Haessig, E. Holloway, M. Jenkins, L. Jones, D. Kriegel, R. Lefevre, M. Stamer, M. Lehew, A. Lynch, G. McKay, L. Peery, A. Peralta, J. Ruyle, J. Sautter, K. Schienle, S. Shafiqullah, C. Stetson, M. Vogel, L. White, C. Wilcox and J. York. 2013. Coronado National Forest draft land and resource management plan: Cochise, Graham, Pima, Pinal, and Santa Cruz Counties, Arizona, and Hidalgo County, New Mexico. MB-R3-05-7. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southwestern Region, Albuquerque NM, 279 p.
- Barboza, P. S., K. L. Parker y I. D. Hume. 2008. Integrative wildlife nutrition. Springer Science and Business Media. Berlin: Springer-Verlag,
- BirdLife International. 2016. *Cyrtonyx montezumae*. The IUCN Red List Threatened Species 2016: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22728212A94975065.en>. Downloaded on 08 February 2018.
- Birnie-Gauvin, K., K. S. Peiman, D. Raubenheimer y S. J. Cooke. 2017. Nutritional physiology and ecology of wildlife in a changing world. *Conservation Physiology*, 5: 1-18. DOI: 10.1093/conphys/cox030
- Bishop, R. A. 1964. The Mearns quail (*Cyrtonyx montezumae mearnsi*) in Southern Arizona. Thesis, University of Arizona, Tucson, USA.
- Bishop, R. A. y C. R. Hungerford. 1965. Seasonal food selection of Arizona Mearns quail. *The Journal of the Wildlife Management*, 29: 813-819. DOI: 10.2307/3798558
- Bjørneraas, K., I. Herfindal, E. J. Solberg, B. Sæther, B. van Moorter y C. M. Rolandsen. 2012. Habitat quality influences population distribution, individual space use and functional responses habitat selection by a large herbivore. *Oecologia*, 168: 231-243. DOI: 10.1007/s00442-011-2072-3
- Bravo, C., C. Ponce, L. M. Bautista y J. C. Alonso. 2016. Dietary divergence in the most sexually size-dimorphic bird. *The Auk*, 133: 178-197. DOI: 10.1642/AUK-15-206.1
- Brennan, L. A. 1994. Broad-scale population declines in four species of North American quail: An examination of possible causes. In: Sustainable ecological systems: Implementing an ecological approach to land management. Fort Collins, CO: USDA-Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report Rm-247. p 44-50.
- Brennan, L. A. y W. P. Kuvlesky. 2005. North American grassland birds: an unfolding conservation crisis?. *The Journal of Wildlife Management*, 69: 1-13. DOI: 10.2193/0022-541X(2005)069<0001:NAGBAU>2.0.CO;2

- Brown, R. L. An ecological study of Mearns' quail. 1978. Federal Aid in Wildlife Restoration Project W-78-R-22, Work Plan 2, Job 2, Final Report, Research Division Arizona Game and Fish Department. Phoenix, USA.
- Brown, D. E. 1979. Factors influencing reproductive success and population densities in Montezuma quail. *The Journal of Wildlife Management*, 43(2): 522-526. DOI: 10.2307/3800365
- Brown, D. E. y R. J. Gutiérrez. 1980. Sex ratios, sexual selection and sexual dimorphism in quails. *The Journal of the Wildlife Management*, 44: 198-202. DOI: 10.2307/3808366
- Brown, R. L. 1982. Effects of livestock grazing on Mearns' quail in Southeastern Arizona. *Journal of Range Management*, 35: 727-732. DOI: 10.2307/3898250
- Campbell-Kissock, L., L. H. Blankenship y J. W. Stewart. 1985. Plant and animal foods of Bobwhite and Scaled quail in southwest Texas. *The Southwestern Naturalist*, 30: 542-553. DOI: 10.2307/3671048
- Cantu, R., D. Rollins y S. P. Lerich. 2005. Scaled quail in Texas: their biology and management. W7000-1183. Austin, Texas, Texas Parks and Wildlife Department.
- Carroll, J. 1994. Family Odontophoridae (New World Quails). In: del Hoyo, J., A. Elliot, J. Sargatal (Eds.), *Handbook of the Birds of the World Vol II: New world vulture to guinea fowl*. Lynx Edicions. Barcelona.
- Ceballos, G., A. Davidson, R. List, J. Pacheco, P. Manzano-Fischer, G. Santos-Barrera y J. Cruzado. 2010. Rapid decline of a grassland system and its ecological and conservation implications. *PLoS ONE* 5: e8562, DOI: 10.1371/journal.pone.00082562.
- Charnov, E. L. 1976. Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology*, 9: 129-136. DOI: 10.1016/0040-5809(76)90040-X
- Chavarria, P. M., A. R. Kocek, N. J. Silvy y R. R. Lopez. 2012a. Use of portable infrared cameras to facilitate detection and capture success of Montezuma quail. *Proceedings of the National Quail Symposium*, 7: 333-338.
- Chavarria, P. M., A. B. Montoya, N. J. Silvy y R. R. Lopez. 2012b. Impact of inclement weather on overwinter mortality of Montezuma quail in southeast Arizona. *Proceedings of National Quail Symposium*, 7: 346-351.
- Chavarria, P. M. 2013. Ecology of Montezuma quail in Southeast Arizona. Thesis, Texas A&M University.
- Church, K. E., J. R. Sauer y S. Droege. 1993. Population trends of quails in North America. *Proceedings of the National Quail Symposium*, 3: 44-54.
- Desmond, M. J., C. Mendez-Gonzales y L. B. Abbott. 2008. Winter diets and seed selection of granivorous birds in southwestern New Mexico. *Studies in Avian Biology*, 37: 101-112.
- Devictor, V., R. Julliard y F. Jiguet. 2008. Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos*, 117: 507-514. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2008.16215.x

- Easterling, D. R., G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl y L. O. Mearns. 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289: 2068-2074. DOI: 10.1126/science.289.5487.2068
- Eaton, E. R. y K. Kaufman. 2007. Kaufman field guide to insects of North America. Houghton Mifflin Harcourt.
- Emlen, J. T. 1940. Sex and age ratios in survival of the California quail. *Journal of Wildlife Management*, 4: 92-99. DOI: 10.2307/3796273
- Engel-Wilson, R. W. y W. P. Kuvlesky. 2002. Arizona Quail: species in jeopardy? *Proceedings of the National Quail Symposium*, 5: 1-7.
- Felton, A. M., A. Felton, D. Raubenheimer, S. J. Simpson, W. J. Foley, J. T. Wood, I. R. Wallis y D. B. Lindenmayer. 2009. Protein content of diets dictates the daily energy intake of a free-ranging primate. *Behavioral Ecology*, 20: 685-690. DOI: 10.1093/beheco/arp021
- Fernández-López, M. A. 2015. Hábitos alimenticios de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en la época invernal en Tlaxco, Tlaxcala, México. Tesis, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Fick, S. E. y R. J. Hijmans. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37: 4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086
- Fuertes, L. A. 1903. With the Mearns quail in southwestern Texas. *Condor*, 5: 112-116.
- García-Solórzano, D. 2005. Anidación *in-situ*, reproducción, y crianza *ex-situ* de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae montezumae*). Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gill, F. B. 2007. Ornithology. 3er ed. W. H. Freeman and Company, New York.
- Gouriéroux, G., A. Holly y A. Monfort. 1982. Likelihood ratio test, Wald test, and Kuhn-Tucker test in linear models with inequality constraints of the regression parameters. *Econometrica*, 50: 63-80. DOI: 10.2307/1912529
- Greene, C. D. 2011. Ecology of Montezuma quail in the Davis Mountains of Texas. Thesis, Sul Ross State University.
- Gremer, J. R., J. B. Bradford, S. M. Munson y M. C. Duniway. 2015. Desert grassland responses to climate and soil moisture suggest divergent vulnerabilities across the southwestern United States. *Global Change Biology*, 21: 4049-4062. DOI: 10.1111/gcb.13043
- Gullion, G. W. 1962. Organization and movements of coveys of a Gambel quail population. *The Condor*, 64: 402-415. DOI: 10.2307/1365548
- Hanley, T. A. 1997. A nutritional view of understanding and complexity in the problem of diet selection by deer (Cervidae). *OIKOS*, 79: 209-218. DOI: 10.2307/3546006
- Harveson, L. A., T. H. Allen, F. Hernández, D. A. Holdermann, J. M. Muller y M. S. Whitley. 2007. Montezuma quail ecology and life history. Pages 23-29 in L. A. Brennan, ed. Texas quails. Texas A&M University Press, College Station, USA.

- Heffelfinger, J. R. y R. J. Olding. 2000. Montezuma quail management in Arizona. National Quail Symposium Proceedings, 4: 183-190.
- Hernandez, F., L. A. Harveson, F. Hernandez y C. E. Brewer. 2006a. Habitat characteristics of Montezuma quail foraging areas in west Texas. Wildlife Society Bulletin, 34: 856-860. DOI: 10.2193/0091-7648(2006)34[856:HCOMQF]2.0.CO;2
- Hernandez, F., L. A. Harveson y C. E. Brewer. 2006b. A comparison of trapping techniques for Montezuma quail. Wildlife Society Bulletin, 34: 1212-1215. DOI: 10.2193/0091-7648(2006)34[1212:ACOTTTF]2.0.CO;2
- Hernández, F., E. A. Lozano-Cavazos, G. Chávez-León, D. García-Solórzano y L. A. Brennan. 2014. Codornices de México. En: R. Valdez y J.A. Ortega, eds. Ecología y manejo de fauna silvestre en México. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, pp. 191-228.
- Hernández-Téllez, M., M. E. Romero-Sánchez, B. C. Aguilar-Valdez, S. Ibarra-Zimbrón, M. M. Crosby-Galván y G. D. Mendoza-Martínez. 2004. Composición de la dieta de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en municipios del noroeste del Estado de México. Anales del Instituto de Biología, serie Zoología, 75: 355-361.
- Holdermann, D. A. 1992. The geographic distribution, relative population abundance, and habitat characteristics of Montezuma quail in southwestern New Mexico. Final Report Professional Services Contract Number 80-516-41 and 80-516-83, New Mexico Department of Game and Fish, Santa Fe, New Mexico, USA.
- Holdermann, D. A. y C. E. Holdermann. 1993. Immature Red-tailed Hawk captures Montezuma quail. New Mexico Ornithological Society Bulletin, 21: 31-33.
- Holdermann, D. A., S. Sorola y R. Skiles. 2007. Recent photo- and audio-documentation of Montezuma quail from the Chisos Mountains, Big Bend National Park (BBNA), Texas. Bulletin Texas Ornithological Society, 40(2): 62-67.
- Howell, S. N. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press.
- Hungerford, C. R. 1962. Adaptations shown in selection of food by Gambel Quail. The Condor, 64: 213-219. DOI: 10.2307/1365203
- Hunt, J. L. y T. L. Best. 2001. Foods of Scaled quail (*Callipepla squamata*) in southeastern New Mexico. The Texas Journal of Science, 53: 147-156.
- Johnsgard, P. A. 1973. Grouse and quails of North America. Lincoln: University of Nebraska Press. 553 pp.
- Johnsgard, P. A. 2017. The North America Quails, Partridges, and Pheasants. Zea E-Books. 58. <http://digitalcommons.unl.edu/zeabook/58>
- Kuvlesky, W. P., Jr., T. E. Fulbright y R. Engel-Wilson. 2002. The impact of invasive exotic grasses on quail in the southwestern United States. Proceedings of the National Quail Symposium, 5: 118-128.
- Leif, A. P. y L. M. Smith. 1993. Winter diet quality, gut morphology and condition of Northern Bobwhite and Scaled Quail in west Texas. Journal of Field Ornithology, 64: 527-538.

- Leopold, A. S. 1945. Sex and age ratios among bobwhite quail in southern Missouri. *Journal of the Wildlife Management*, 9: 30-34. DOI: 10.2307/3795942
- Leopold, A. S. 1953. Intestinal morphology of Gallinaceous birds in relation to food habits. *The Journal of Wildlife Management*, 17: 197-203. DOI: 10.2307/3796715
- Leopold, A. S. y R. A. McCabe. 1957. Natural history of the Montezuma quail in Mexico. *The Condor*, 59: 3-26. DOI: 10.2307/1364613
- MacDonald, G. M. 2010. Water, climate change, and sustainability in the southwest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 21256-21262. DOI: 10.2307/25756871
- Maier, M. J. 2014. DirchletReg: Dirichlet regression for compositional data in R. Research Report Series. Report 125. Institute for Statistics and Mathematics. <http://statmath.wu.ac.at/>
- McGarigal, K., S. A. Cushman y E. Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- McGrath, D., T. M. Terhune y J. A. Martin. 2018. Northern bobwhite foraging response to hunting. *Journal of Wildlife Management*, 82: 966–976. DOI: 10.1002/jwmg.21451
- Nagendra, H. 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*, 22: 175-186. DOI: 10.1016/S0143-6228(02)00002-4
- Parent, C. J., F. Hernández, L. A. Brennan, D. B. Wester, F. C. Bryant y M. J. Schnupp. 2016. Northern Bobwhite abundance in relation to precipitation and landscape structure. *Journal of Wildlife Management*, 80(1): 7-18. DOI: 10.1002/jwmg.992
- Peet, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 285-307. DOI: 10.1146/annurev.es.05.110174.001441
- Pool, D. B., A. O. Panjabi, A. Macías-Duarte y D. M. Solijhem. 2014. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico Threatens declining North American grassland bird species. *Biological Conservation*, 170: 274-281. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.12.019
- Pyle, P. 1997. Identification guide to North American Birds. Part II: Anatidae to Alcidae. Slate Creek Press, Bolinas, California, USA.
- QGIS Development Team. 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Raith, R. J. y R. D. Ohmart. 1968. Sex and age ratios in Gambel quail of the Rio Grande Valley, southern New México. *The Southwestern Naturalist*, 13: 27-33. DOI: 10.2307/3668812
- Roa, R. 1992. Design and analysis of multiple-choice feeding-preference experiments. *Oecologia*, 89: 509-515. DOI: 10.1007/BF00317157
- Robbins, C. 1983. Wildlife feeding and nutrition. New York: Academic Press.

- Romero-Sánchez, M. E. 2003. Determinación de la cantidad y calidad de la dieta de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en el Noroeste del estado de México. Tesis, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Rosenzweig, M. L. 1981. A theory of habitat selection. *Ecology*, 62: 227-335. DOI: 10.2307/1936707
- Russell, S. M. y G. Monson. 1998. *The birds of Sonora*. University of Arizona Press.
- Salas, E. A. L., V. A. Seamster, K. G. Boykin, N. M. Harings y K. W. Dixon. 2017. Modeling the impacts of climate change on Species of Concern (birds) in South Central U.S. based on bioclimatic variables. *AIMS Environmental Science*, 4: 358-385. DOI: 10.3934/environsci.2017.2.358
- Sanders, C. G. 2012. An evaluation of a presence-absence survey to monitor Montezuma quail in western Texas. Thesis, Texas A&M University-Kingsville.
- Schoener, T. W. 1971. Theory of feeding strategies. *Annual Review Ecology and Systematics*, 2: 369-404. DOI: 10.1146/annurev.es.02.110171.002101
- Seager, R., M. Ting, I. Held, Y. Kushnir, J. Lu, G. Vecchi, H. P. Huang, N. Harnik, A. Leetmaa, N. C. Lau, C. Li, J. Velez y N. Naik. 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science* 316:1181-1184. DOI: 10.1126/science.1139601
- Shaw, J. D. 2008. Forest resources of the Gila National Forest. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 14 p.
- Spaulding, E. S. 1949. *The Quails*. New York: The MacMillan Co. 123 p.
- Stromberg, M. R. 1990. Habitat, movements and roost characteristics of Montezuma quail in southeastern Arizona. *The Condor*, 92: 229-236. DOI: 10.2307/1368404
- Stromberg, M. R. 2000. Montezuma Quail (*Cyrtonyx montezumae*). *The Birds of North America Online* (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu/bnaproxy.bird.cornell.edu/bna/species/524>.
- Sullivan, J. 1994. *Cyrtonyx montezumae*. In: *Fire Effects of Agriculture*, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <http://www.fs.fed.us/database/feis/animals/bird/cymo/all.html>, [2016 octubre 26].
- Svoboda, M., D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus y S. Stephens. 2002. The drought monitor. *American Meteorological Society*, 83: 1181-1190.
- Terhune, T. M., D. C. Sisson, H. L. Stribling y J. P. Carroll. 2006. Home range, movement, and site fidelity of translocated Northern Bobwhite (*Colinus virginianus*) in southwest Georgia, USA. *European Journal of Wildlife Research* 52: 119-124. DOI: 10.1007/s10344-005-0015-1
- Thorne, J. H., H. Choe, P. A. Stine, J. C. Chambers, A. Holguin, A. C. Kerr y M. W. Schwartz. 2018. Climate change vulnerability assessment of forests in the Southwest USA. *Climatic Change*, 148: 387-402. DOI: 10.1007/s10584-017-2010-4

- Titulaer, M. 2016. Selección de semillas y dieta invernal de aves de pastizal en el norte de México. Tesis, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Titulaer, M., A. Melgoza-Castillo, A. O. Panjabi, A. Sanchez-Flores, J. H. Martínez-Guerrero, A. Macías-Duarte y J. A. Fernandez. 2017. Molecular analysis of stomach contents reveals important grass seeds in the winter diet of Baird's and Grasshopper sparrows, two declining grassland bird species. PLoS ONE 12: e0189695. DOI: 10.1371/journal.pone.018969
- Tuomainen, U. y U. Candolin. 2011. Behavioural responses to human-induced environmental change. Biological Reviews, 86: 640-657. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2010.00164.x
- Ugland, K. I., J. S. Gray y K. E. Ellingsen. 2002. The species-accumulation curve and estimation of species richness. The Journal of Animal Ecology, 72(5): 888-897. DOI: 10.1046/j.1365-2656.2003.00748.x
- USGS National Gap Analysis Program. 2004. Provisional Digital Land Cover Map for the Southwestern United States. Version 1.0. RS/GIS Laboratory, College of Natural Resources, Utah State University.
- Vander-Lee, B., R. Smith y J. Bate. 2008. Ecological and biological diversity of National Forests in Region 3. Southwest Forest Assessment Project. The Nature Conservancy, Tucson, AZ.
- Vanderwal, J., L. Falconi, S. Januchowski, L. Shoo y C. Storlie. 2015. Package "SDMTools".
- Wallmo, O. C. 1954. Nesting of Mearns quail in southeastern Arizona. The Condor, 56: 125-128.
- Warshall, P. 1995. The Madrean Sky Island Archipelago: a planetary overview. Pp. 6–18 in L. F. DeBano, P. F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. Gottfried, H. Hamre and C. B. Edminster (Tech. Coord.), eds. Biodiversity and management of the Madrean Archipelago: the Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico; 1994, Tucson, AZ. Technical Report RM-GTR-264. U.S. Dept. of Agriculture, U.S. Forest Service, Ft. Collins, CO.
- Whiteside, M. A., R. Sage y J. R. Madden. 2015. Diet complexity in early life affects survival in released pheasants by altering foraging efficiency, food choice, handling skills and gut morphology. Journal of Animal Ecology, 84: 1480-1489. DOI: 10.1111/1365-2656.12401
- Williams, A. P., C. D. Allen, C. L. Millar, T. W. Swetnam, J. Michaelsen, C. J. Still y S. W. Leavitt. 2010. Forest responses to increasing aridity and warmth in the southwestern United States. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107: 21289-21294.
- Williams, C. K., R. S. Lutz y R. D. Applegate. 2003. Optimal group size and Northern Bobwhite coveys. Animal Behaviour, 66: 377-987. DOI: 10.1006/anbe.2003.2215
- Zaragoza-Hernández, C. 2001. Caracterización del hábitat y composición de la dieta de la Codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en el noroeste del Estado de México. Tesis, Colegio de Postgraduados.

Zaragoza-Hernández, C., G. D. Mendoza-Martínez, S. Ibarra-Zimbrón, M. M. Crosby-Galván, F. Clemente-Sánchez and B. Aguilar-Valdez. 2004. Composición de la dieta de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en el noroeste del Estado de México, México. *Veterinaria México*, 35: 215-236.

## X. APÉNDICE

### **Protocolo y guía fotográfica para la determinación de edad en alas de la codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*).**

El protocolo para la determinación de edad fue elaborado en base a la información propuesta por Pyle (1997) y Stromberg (2000). La guía consiste en 2 puntos principales de observación directa en las plumas y coberteras primarias de las alas de *C. montezumae* (Figura 14), los cuales son: 1) existencia de muda en plumas primarias y 2) patrón y color en las coberteras primarias.

1. Existencia de muda en plumas primarias (P). A partir de la semana 7 después de la eclosión, la codorniz moctezuma empieza la muda de las plumas primarias como parte de su desarrollo (P-1 a P-8, Figura 15), las muda de las plumas se da una a una (Figura 16). Generalmente cuando hay presencia de muda se sugiere que es un individuo juvenil (HY/HY-SY) y adulto (AHY-ASY) cuando no la presenta. Las plumas primarias P-10 y P-9 son retenidas, es decir, no son mudadas y cuando presentan un color más opaco que las demás plumas primarias (Figura 17) puede indicar que la codorniz es un individuo adulto. Sin embargo, para confirmar si el individuo es adulto o juvenil es necesario revisar el patrón y color de las coberteras primarias.

Nota: en ocasiones pueden presentarse más de una muda al mismo tiempo, sin embargo, esto posiblemente es debido a que antes de que la codorniz fuese cazada perdió, por diferentes razones, una de las plumas y empezó a crecer mientras aún mudaba la pluma primaria en turno. Para evitar confusión, la presencia de dos o más mudas deja de ser parte de la identificación de la edad y la decisión de si el individuo es adulto o juvenil se remite directamente al patrón y coloración de las coberteras primarias.



**Figura 14.** Ubicación de las plumas primarias y coberteras primarias en un individuo hembra de *C. montezumae*.



**Figura 15.** Plumas primarias en alas de *C. montezumae*. Las plumas primarias van de la P-10 (pluma más externa) a P-1.



**Figura 16.** Presencia de muda en plumas primarias. P8 está siendo mudada en un macho de codorniz moctezuma.



**Figura 17.** Color opaco en las plumas primarias 10 y 9 en un individuo macho de *C. montezumae*.

2. Patrón y color en las coberteras primarias (C). Las coberteras primarias presentan unas barras las cuales difieren en forma y color dependiendo de la edad del individuo. Las coberteras primarias de los adultos (AHY-ASY) tienen las barras claramente separadas, con formas circulares y de color blanco, mientras que la de los juveniles (HY/HY-SY) las barras no se encuentran claramente separadas y tienen una coloración canela. El patrón mencionado anteriormente es más común en los machos adultos (Figura 18), en las hembras adultas las barras son más delgadas y no tan blanca como la de los machos adultos (Figura 19).

Nota: en ocasiones algunas coberteras primarias presentan un patrón de adulto y otras un patrón de juvenil en un mismo individuo, sin embargo, para ser considerada un individuo adulto el patrón de las coberteras debe ser igual. En este sentido, el individuo es catalogado como juvenil debido a que probablemente no haya alcanzado a desarrollarse completamente para ser considerado como una ave adulta.

### **Fecha aproximada de eclosión de juveniles**

Cuando hay presencia de muda P3 a P8 y las coberteras primarias tienen la característica de una codorniz inmadura o juvenil, se puede determinar la fecha aproximada de eclosión. Según Stromberg (2000) la codorniz moctezuma empieza a mudar las plumas primarias P3 a P5 durante la semana 7 a 8 después de la eclosión, P6 a las 11 semanas, P7 a la semana 14 y P8 en la semana 17. Al tener la edad en semanas a partir de la muda y la fecha en que fue cazada la codorniz, es posible determinar la edad aproximada con la siguiente fórmula:

$$\text{Edad aproximada} = (\text{fecha de cacería} - \text{semanas de edad} * 7) + 1$$

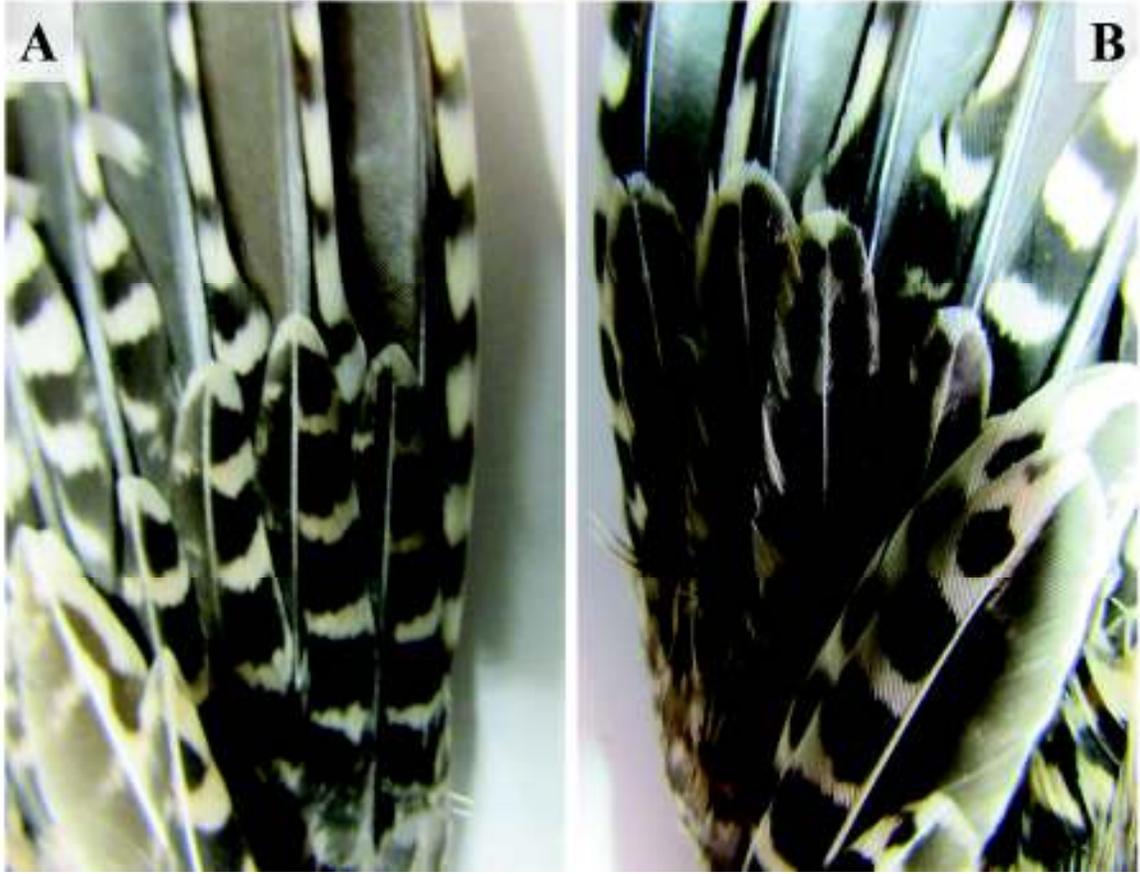
donde:

Fecha de cacería = día en que la codorniz fue cazada

Semanas de edad\*7 = semanas de edad aproximada a partir de las plumas multiplicado por 7 (días por semana).



**Figura 18.** Diferencias en coberteras primarias en alas de individuos machos de *C. montezumae*. Coberteras primarias de un macho adulto (A) y coberteras primarias de un macho juvenil (B).



**Figura 19.** Diferencias en coberteras primarias en alas de individuos hembras de *C. montezumae*. Coberteras primarias de una hembra adulto (A) y coberteras primarias de una hembra juvenil (B).