



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE
RECURSOS NATURALES**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN: PATRONES Y PROCESOS DE LA BIODIVERSIDAD DEL
NEOTRÓPICO**

**ANÁLISIS DEL NICHOTRÓFICO DE JAGUAR Y
PUMA (CARNIVORA, FELIDAE) EN LA SIERRA
NORTE DE OAXACA, MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

ANA CRISTINA VICTORIA HERNÁNDEZ

ASESOR:

DR. JOSÉ ANTONIO SANTOS MORENO

**CIIDIR
OAXACA**

Santa Cruz Xoxocotlán

Enero de 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 14:00 horas del día 23 del mes de noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:

Análisis del nicho trófico de jaguar y puma (Carnivora, Felidae) en la Sierra Norte de Oaxaca, México.

Presentada por el alumno:

Victoria
Apellido paterno
Nombre(s) Ana Cristina

Hernández
Apellido materno

Con registro:

A	1	6	0	1	3	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales


Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dr. José Antonio Santos Moreno


Dr. Marcelo Ulises García Guerrero


Dr. Gabriel Ramos Fernández


Dr. John Newhall Williams


Dr. Matthias Rös

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 23 del mes de noviembre del año 2017, el (la) que suscribe VICTORIA HERNÁNDEZ ANA CRISTINA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES, con número de registro A160130, adscrito(a) al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca**, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) **Dr. José Antonio Santos Moreno** y cede los derechos del trabajo titulado “Análisis del nicho trófico de jaguar y puma (Carnivora, Felidae) en la Sierra Norte de Oaxaca, México”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones posgradoox@hotmail.com ó anacrisvh@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

VICTORIA HERNÁNDEZ ANA CRISTINA
Nombre y firma del alumno(a)



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

AGRADECIMIENTOS

La realización del presente proyecto no podría haberse llevado a cabo sin el apoyo, principalmente en la parte económica de diversas instituciones de diversas principalmente en la parte económica, de Antes que nada agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de este posgrado, de igual manera agradezco al Instituto Politécnico Nacional por los proyectos SIP-20161645 y SIP-20171154 otorgados al Dr. José Antonio Santos Moreno.

Agradezco a los Doctores que formaron parte del comité tutorial y comité revisor de tesis: Dr. Marcelo Ulises García Guerrero, Dr. John Newhall Williams, Dr. Matthias Rös, Dr. José Roberto Sosa y al Dr. Gabriel Ramos Fernández, quienes con sus comentarios, recomendaciones y observaciones durante el desarrollo de todo el proyecto y particularmente la tesis, hicieron de éste un mejor trabajo.

Al Sr. Daniel Bautista Playas, comisariado de bienes comunales del Municipio de Santiago Comaltepec por la autorización para poder llevar a cabo el trabajo de campo en dicho municipio. Y especialmente a las autoridades de la Agencia de la Esperanza y San Martín Soyolapam por todas las facilidades y apoyo otorgado.

Agradezco a todas las personas de las comunidades de San Martín Soyolapam y La Esperanza, principalmente a Doña Alipia, Doña Silvia, Don German, Doña Anastacia y a Victor por el apoyo en campo y por abrirnos las puertas de su casa, de manera muy especial agradezco a Don Felipe, por ser un gran mentor de campo, por mostrarme lo hermoso de su campo, y por enseñarme mucho más de la naturaleza y los animales.

A la Dra. Livia León Paniagua, por donarme muestras de pelo de los distintos ejemplares de mamíferos que se encuentran en la colección del Museo de Zoología de la UNAM, que acertadamente se encuentra a su cargo. De igual manera agradezco al Biol. Luis Yescas, por donarme pelos de jaguar de los individuos que se encuentran en el Santuario del Jaguar Yaguar Zoo.

Agradezco a la Mtra. Lety y la Mtra. Anita del SBIT perteneciente a la UABJO, por todo el apoyo brindado, y las facilidades otorgadas para poder observar las muestras de pelo de diferentes especies, sin ustedes este trabajo tampoco hubiera sido posible.

De igual manera agradezco al laboratorio de isotopos estables, principalmente a los Maestros Edith Cienfuegos, Francisco Otero y Pedro Morales por permitirme la entrada a su laboratorio, por tenerme paciencia y enseñarme todo el proceso del análisis de isótopos estables. De manera muy especial agradezco al Dr. Víctor Adrián Pérez Crespo, por aceptarme y poder realizar una estancia, por ayudarme a entender un poco más sobre los isótopos estables.

Y finalmente de manera muy especial agradezco el director de tesis, el Dr. José Antonio Santos Moreno, por todo el apoyo económico, por las facilidades otorgadas para poder desarrollar el trabajo y principalmente por todo el entusiasmo y la confianza puestos al proyecto, sin él definitivamente el trabajo no hubiese podido llevar a cabo.

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado principalmente a mi familia, ya que ellos son el motor que me motiva a ser mejor cada día, a dar lo mejor de mí, que gracias a su apoyo e inmensa comprensión, hacen que la distancia se acorte.

A José, que sin saberlo se ha vuelto el pilar de la familia y que en particular con sus travesuras y ocurrencias me ha vuelto a la vida en los momentos de estrés.

También este trabajo está dedicado a mi persona especial, por todo el sacrificio que has hecho por todo el apoyo brindado durante esta estancia, gracias por tu comprensión, pero sobre todo por tu apoyo, por ayudarme a conseguir mis sueños y metas... TE AMO.

Y también este trabajo está dedicado a una persona que ha ocupado un lugar muy importante en mi corazón, una persona digna de admirar a usted Doc. (Santos) gracias por compartirme gran parte de sus conocimientos, por motivarme a seguir mejorando, pero sobre todo por su maravillosa amistad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	12
GENERAL.....	12
ESPECÍFICOS.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
ÁREA DE ESTUDIO	13
OBTENCIÓN DE MUESTRAS.....	15
ANÁLISIS DE EXCRETAS.....	15
ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	18
RESULTADOS.....	22
ANÁLISIS DE EXCRETAS.....	22
JAGUAR	22
PUMA	27
ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	32
JAGUAR	32
PUMA	39
DISCUSIÓN	45
ANÁLISIS DE EXCRETAS.....	45
JAGUAR	45
PUMA	47
TRASLAPE DE NICHOS.....	50
ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	52
JAGUAR	52

PUMA	54
CONCLUSIONES.....	57
LITERATURA CITADA.....	58
ANEXO I. GENERALIDADES SOBRE LOS ISÓTOPOS ESTABLES.....	75
DEFINICIÓN, MEDICIÓN Y UNIDADES DE MEDIDA.....	75
FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO	83
ABUNDANCIAS NATURALES DE LOS ISÓTOPOS.....	85
ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DEL PELO.....	91
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS:.....	93
CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS	95
ANEXO 3. FICHAS DIGITALES DEL PELO.....	104
METODOLOGÍA	104
RESULTADOS.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE MUNICIPIO DE SANTIAGO COMALTEPEC, CON LA REPRESENTACIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN PRESENTES.....	13
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EXCRETAS DE JAGUAR Y PUMA COLECTADAS EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO COMALTEPEC, IXTLÁN, OAXACA. LAS ETIQUETAS INDICAN EL NÚMERO DE EXCRETA COLECTADA.	23
FIGURA 3. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES Y MODELO DE DEPENDENCIA LINEAL PARA LA DIETA DE PANTHERA ONCA.	27
FIGURA 4. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES Y MODELO DE DEPENDENCIA LINEAL PARA LA DIETA DE PUMA CONCOLOR.	31
FIGURA 5. ESPACIO ISOTÓPICO DE LAS MUESTRAS DE PELO DE LOS DEPREDADORES (PANTHERA ONCA Y PUMA CONCOLOR) Y DE LAS PRESAS DE LAS CUALES CONSUMEN UNA MAYOR BIOMASA RELATIVA, EN EL CUAL SE REPRESENTA EL PROMEDIO Y LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	33
FIGURA 6. ESPACIO ISOTÓPICO CON LOS VALORES DE LAS PROPORCIONES ISOTÓPICAS CORREGIDAS CON LOS FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO TRÓFICO PARA LAS TRES FUENTES DE JAGUAR.	34
FIGURA 7. CAJA CON BIGOTES DONDE SE MUESTRA LA PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN POSTERIOR PARA LAS PROPORCIONES DIETÉTICAS DE CADA FUENTE DE PANTHERA ONCA. LOS PUNTOS EN EL BIGOTE DERECHO REPRESENTAN LOS VALORES EXTREMOS.	36
FIGURA 8. CAJA CON BIGOTES DONDE SE MUESTRA LA PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN POSTERIOR PARA LAS PROPORCIONES DIETÉTICAS DE CADA FUENTE DE JAGUAR INCLUYENDO EL GANADO BOVINO (<i>BOS TAURUS</i>).....	38
FIGURA 9. ESPACIO ISOTÓPICO CON LOS VALORES CORREGIDOS CON LOS FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO TRÓFICO DE LAS TRES PRESAS DE PUMA.....	40
FIGURA 10. CAJA CON BIGOTES DONDE SE MUESTRA LA PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN POSTERIOR DE LAS PROPORCIONES DIETÉTICAS DE LOS HERVIVOROS (<i>M. TEMAMA</i> Y <i>SYLVILAGUS SP</i>) Y DE <i>T. MEXICANA</i> EN LA DIETA DE PUMA. LOS PUNTOS EN LOS BIGOTES REPRESENTAN LOS VALORES EXTREMOS DE LAS PROPORCIONES.	42
FIGURA 11. CAJA CON BIGOTES DONDE SE MUESTRA LA PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN POSTERIOR PARA LAS PROPORCIONES DIETÉTICAS DE CADA FUENTE DE PUMA INCLUYENDO EL GANADO BOVINO (<i>BOS TAURUS</i>).	43

ÍNDICE DE CUADROS

- CUADRO 1.** ABUNDANCIA DE LOS SÓTOPOS EN LA NATURALEZA DE LOS ELEMENTOS MÁS UTILIZADOS EN ESTUDIOS ECOLÓGICOS. TOAMADA DE UNKOVICH ET AL. (2013). _____ 6
- CUADRO 2.** ISÓTOPOS ESTABLES MÁS UTILIZADOS EN ECOLOGÍA CON LA PROPORCIÓN ISOTÓPICA DE SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES INTERNACIONALMENTE RECONOCIDOS. TOMADA DE UNKOVICH ET AL. (2013) _____ 7
- CUADRO 3.** LISTA DE ESPECIES QUE CONSTITUYEN LA DIETA DE PANTHERA ONCA, CON SU RESPECTIVA FRECUENCIA DE OCURRENCIA (FO), PORCENTAJE DE OCURRENCIA (PO) Y BIOMASA RELATIVA CONSUMIDA (BRC). _____ 25
- CUADRO 4.** LISTA DE ESPECIES QUE CONSTITUYEN LA DIETA DE PUMA CONCOLOR, CON SU RESPECTIVA FRECUENCIA DE OCURRENCIA (FO), PORCENTAJE DE OCURRENCIA (PO) Y BIOMASA RELATIVA CONSUMIDA (BRC). _____ 29
- CUADRO 5.** VALORES PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (SD) DE LAS RELACIONES ISOTÓPICAS DE LOS PELOS DE LAS TRES PRESAS DE LAS CUALES EL JAGUAR CONSUME UNA MAYOR BIOMASA RELATIVA. _____ 33
- CUADRO 6.** MATRÍZ TRIANGULAR DE CORRELACIONES ENTRE LAS TRES FUENTES DE ALIMENTO DE JAGUAR. _____ 35
- CUADRO 7.** PROBABILIDAD DEL TODOS LOS ORDENES DE PROPORCIONES POSIBLES DE LAS PRESAS DE JAGUAR, ORDENADOS DE MAYOR A MENOR. _____ 37
- CUADRO 8.** PORCENTAJES DE CARBONO Y NITRÓGENO DE LAS MUESTRAS DE PELO DE JAGUAR Y SUS TRES PRESAS ANALIZADAS. _____ 39
- CUADRO 9.** VALORES PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (SD) DE LAS RELACIONES ISOTÓPICAS DE LOS PELOS DE LAS TRES PRESAS DE LAS CUALES EL PUMA CONSUME UNA MAYOR BIOMASA RELATIVA. _____ 40

CUADRO 10. MATRÍZ TRIANGULAR DE CORRELACIONES ENTRE LAS TRES FUENTES DE ALIMENTO DE PUMA. _____41

CUADRO 11. PROBABILIDAD DEL TODOS LOS ORDENES DE PROPORCIONES POSIBLES DE LAS FUENTES DE PUMA, ORDENADOS DE MAYOR A MENOR _____42

CUADRO 12. PORCENTAJES DE CARBONO Y NITRÓGENO DE LAS MUESTRAS DE PELO DE PUMA Y SUS TRES PRESAS ANALIZADAS. _____44

RESÚMEN

La pérdida y modificación del hábitat, así como la caza de subsistencia, son los factores principales que afectan las poblaciones de vida silvestre, esto tienen un efecto negativo en la ecología trófica de sus depredadores, principalmente de aquellos de gran tamaño y aún más cuando estos se encuentran en simpatria, ocasionando la caza de presas domesticas, generando así conflictos con los humanos. Entender los mecanismos de coexistencia entre las especies de depredadores y el humano es de gran importancia para su conservación, por lo que en el presente trabajo se analizó el nicho trófico de los depredadores más grandes de México: el jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*) para identificar a sus presas más importantes en la región norte de la Sierra Norte de Oaxaca, utilizando el análisis de excretas y el análisis de isótopos estables (SIA). Para el análisis de excretas, se colectaron heces de ambos felinos haciendo recorridos mensuales durante 14 meses, mientras que para los SIA se analizaron los isótopos de Carbono y Nitrógeno de los pelos (obtenidos de trampas de pelo y de excretas colectadas) de los depredadores y de las tres presas de las cuales consumen una mayor biomasa, así como del ganado bovino para conocer la importancia de este tipo de organismos en la dieta de estos felinos. En la zona de estudio se determinó que la dieta de jaguar se compone de 17 especies, siendo las más importantes en términos de abundancia relativa consumida, el tepezcuintle (*Cuniculus paca*) (21.22%), el tejón (*Nasua narica*) (11.81%) y el venado temazate (*Mazama temama*) (10.35%), por su parte la dieta del puma se compone de 12 especies, de las cuales las más importantes fueron: *M. temama* (17.38%), el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) (14.87%) y el conejo (*Sylvilagus*) (13.77%). Con los SIA y los modelos de mezcla con los que se analizaron, se identificó a *M. temama* como la presa que contribuye más a la dieta de ambos depredadores, lo que la hace una especie de gran relevancia para estos felinos en la zona de estudio. De la misma manera se determinó que el ganado no es una presa relevante para los felinos, ya que no se encontró rastros de estos en las excretas y con los modelos de mezcla se identificó que tienen un bajo aporte a la dieta de puma y jaguar.

Palabras clave: Jaguar, puma, análisis de excretas, análisis de isótopos estables.

ABSTRACT

Habitat loss and modification, as well as subsistence hunting, the main factors that affect wildlife populations, have a negative effect on the trophic ecology of their predators, mainly those of large size and even more when they are sympatric, causing the hunting of domestic prey, thus generating conflicts with humans. Understand the mechanisms of coexistence between predator species and human beings of great importance for their conservation, so in this work we analyzed the trophic niche of the largest predators in Mexico: the jaguar (*Panthera onca*) and the cougar (*Puma concolor*) to identify its most important prey in the northern region of the Sierra Norte de Oaxaca, using scat analysis and stable isotope analysis (SIA). For the scat analysis, were collected faeces from both felines making a recording monthly by 14 months, while the SIA analyzed the isotopes of Carbon and Nitrogen of hairs (obtained from hair traps and scat collected) of the predators and the three preys that consume a greater biomass, as well as livestock to know the importance of this type of organisms in the diet of these felids. In the study area it was determined that the jaguar diet is composed of 17 species, the spotted paca (*Cuniculus paca*) (21.22%), the white-nosed coati (*Nasua narica*) (11.81%) and central american red brocket (*Mazama temama*) (10.35%), for its parts the diet of the puma is composed of 12 species, of which the most important were: *M. temama* (17.38%), northern tamandua (*Tamandua mexicana*) (14.87%) and the rabbit (*Sylvilagus*) (13.77%). With the SIA and the mixing models with which they were analyzed, *M. temama* was identified as the prey that contributes most to the diet of both predators, which makes it a species of great relevance for these felines in the study area. In the same way it was determined that the cattle is not a relevant prey for the felines, that no traces of these were found in the excreta and with the mixing models it was identified that they have a low content to the puma and jaguar diet.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial México ocupa el tercer lugar en cuanto a la diversidad de mamíferos (Hernández 1992, Servín 2013), con un total de 545 especies, lo que representa el 12.4% de la diversidad mundial. De este grupo, los órdenes más diversos son Rodentia, Chiroptera y Carnivora quienes contribuyen con el 77.9% de las especies presentes en el país (Ceballos & Arroyo-Cabrales 2012).

Esta diversidad se ve seriamente afectada principalmente por la introducción de especies exóticas, la cacería, la contaminación, la deforestación y la sobreexplotación de los recursos, que ocasionan la modificación y pérdida de su hábitat (Ceballos *et al.* 2005). Esto ha provocado la desaparición histórica de al menos 18 especies de mamíferos en el territorio nacional (Baena & Halffter 2008).

El orden Carnivora es uno de los grupos más amenazados, ya que varias de sus especies han sufrido una considerable disminución en el tamaño de sus poblaciones (Ripple *et al.* 2014), ocasionando que el 50% de sus taxa se ubiquen en alguna categoría de riesgos, lo que ha provocado que sea el segundo orden más amenazado (Hernández 1992). Este grupo es más vulnerable a los factores que afectan a las demás especies de mamíferos, principalmente las especies de mayor tamaño, debido a sus características, como el requerimiento de grandes extensiones de área para sobrevivir, sus bajas abundancias relativas originadas principalmente por su baja tasa reproductiva (Hernández 1992), ya que su periodo de gestación va de los dos a tres meses, teniendo un promedio de 2 cachorros por camada, en un intervalo que puede ser desde un año y medio hasta cuatro (Dewey & Myers 2005, Etnyre *et al.* 2011), ocasionando que estos organismos sean raros y además interesantes y carismáticos (Servín 2013).

Estos organismos son importantes reguladores y estructuradores de los ecosistemas, ya que por medio de la depredación limitan las poblaciones de herbívoros y por medio de la competencia, las de mesocarnívoros (Ripple *et al.* 2014). Además, muchas de las especies de carnívoros son consideradas especies sombrilla, es decir, que son especies que requieren de grandes extensiones de área, por lo que al conservarlas, se conserva a especies coexistentes con menores

requerimientos (Isasi-Catalá 2011). Debido a esto los Carnívoros son considerados uno de los grupos más importantes para la conservación (Hernández 1992).

En México el carnívoro de mayor tamaño es el jaguar (*Panthera onca*) (Redford & Robinson 2002, Ceballos & Oliva 2005), quien no está exento de las presiones anteriormente mencionadas, lo que ha provocado que sus poblaciones estén catalogadas como Casi Amenazada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Caso *et al.* 2008) y como En Peligro de Extinción por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2010).

Además, la mayoría de las poblaciones de jaguar se encuentran interactuando con otro felino de gran tamaño: el puma (*Puma concolor*) (Novack *et al.* 2005, Medellín *et al.* 2002), quien por ser de talla similar podría considerarse como un competidor importante, particularmente en la dimensión trófica del nicho ecológico, ya que las presas que consumen son similares para ambos felinos (Scognamillo *et al.* 2003, Gómez-Ortiz *et al.* 2015).

Las especies preferidas por estos felinos generalmente son también de importancia cinegética, por lo que el ser humano también se ha convertido en un competidor importante (Redford & Robinson 2002) y cuando estas especies disminuyen significativamente su abundancia, la depredación del ganado por parte de estos depredadores aumenta (Caselli de Acevedo 2008, Amador-Alcalá *et al.* 2013), provocando el conflicto con los humanos, los cuales toman diferentes acciones, principalmente el sacrificio (Caselli de Acevedo 2008, Durán *et al.* 2010), lo que también ha disminuido radicalmente las poblaciones de estos felinos, principalmente de jaguar (Durán *et al.* 2010).

Es por ello que entender los mecanismos por los cuales pueden coexistir estas dos especies de grandes felinos simpátricos, principalmente en la dimensión trófica y su relación con la fauna doméstica y el hombre es de gran relevancia para su conservación (Estrada-Hernández 2008, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015).

Los estudios que se han realizado hasta el momento sobre ecología trófica de estas especies se basan en métodos convencionales, como el análisis de

excretas (Iriarte *et al.* 1990, Aranda 1994, Chinchilla 1997, Núñez *et al.* 2000, Garla *et al.* 2001, Rau y Jiménez 2002, Weckel *et al.* 2006, Cascelli de Azevedo & Lewis 2007, Monroy-Vilchis *et al.* 2009, Gómez-Ortiz & Monroy-Vilchis 2013), el cual es un método no invasivo que permite estudiar a organismos que son difíciles de capturar y observar (Perili *et al.* 2016). Los análisis de excretas, se utilizan para estimar cuantitativamente los diferentes alimentos ingeridos a partir de la identificación de los tejidos no digeribles de los organismos (Boitani & Powell 2012), proporcionando información de la dieta a corto plazo. Por ello se ha propuesto como metodología complementaria el análisis de isótopos estables (SIA por sus siglas en inglés), para el estudio de la ecología trófica (Allen *et al.* 2007, Caut *et al.* 2008b).

Los isótopos son átomos de un mismo elemento que difieren en el número de neutrones que poseen, por lo que su masa atómica es diferente (Fry 2006, Michener & Lajtha 2008). Aquellos que tienen una mayor masa se les conoce como isótopos pesados, mientras que los que poseen una menor se les llamas ligeros o livianos (Michener & Lajtha 2008). Los isótopos pueden clasificarse en dos tipos: radioactivos y estables (Fry 2006, Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013). Los isótopos estables, son llamados así por su estabilidad energética lo que permite que se mantengan a través del tiempo (Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013).

Los isótopos estables son considerados como herramientas en estudios ecológicos, ya que debido a la diferencia en su masa atómica, las propiedades fisicoquímicas permiten que se comporten de manera diferente (West *et al.* 2006, Pérez *et al.* 2008, Ben-David & Flaherty 2012), provocando que los elementos tengan un isótopo más abundante (generalmente el isótopo más ligero) y otro de menor abundancia (habitualmente el isótopo de más pesado) (Cuadro 1). La abundancia del isótopo menos abundante proporciona una ventaja para utilizar las fuentes con mayor abundancia de este isótopo como marcadores o grabadores ecológicos (Pérez *et al.* 2008, Unkovich *et al.* 2013) y además las proporciones de las abundancias de ambas formas crean señales características que permiten identificar procesos ecológicos (Michener & Lajtha 2008). Los isótopos estables mas

utilizados son los de Hidrógeno (H), Carbono (C), Nitrógeno (N), Oxígeno (O) y Azufre (S), ya que la mayoría de los compuestos orgánicos incluyen estos elementos (Michener & Lajtha 2008).

Cuadro 1. Abundancia en la naturaleza de los sótopos de los elementos más utilizados en estudios ecológicos. Tomada de Unkovich *et al.* (2013).

Elemento	Isótopo	Abundancia (%)
Hidrógeno	¹ H	99.985
	² H (D)	0.015
Carbón	¹² C	98.98
	¹³ C	1.11
Nitrógeno	¹⁴ N	99.63
	¹⁵ N	0.37
Oxígeno	¹⁶ O	99.759
	¹⁷ O	0.037
	¹⁸ O	0.204
Azufre	³² S	95.00
	³³ S	0.76
	³⁴ S	4.22
	³⁶ S	0.014

Las diferencias en las abundancias de los isótopos no se pueden detectar a simple vista, por lo que se han construido aparatos que permiten identificarlas, actualmente estos aparatos son conocidos como Espectrómetros de Masa de Relaciones Isotópicas (IRMS por sus siglas en ingles) (Michener & Lajtha 2008) (Anexo I).

Una forma de expresar dichas abundancias es utilizando valores delta (δ), los cuales básicamente se obtienen de comparar la proporción isotópica del isótopo pesado con respecto al ligero de una muestra en particular y compararla con la proporción isotópica de un estándar internacionalmente reconocido (Cuadro 2) que para el caso del Carbono es Pee Dee Belemnite o Vienna Pee Dee Belemnite (PDB/VPDB), para el Nitrógeno es Nitrógeno Atmosférico (AIR), para el Hidrógeno es Standard Mean Mean Water o Vienna Standard Mean Mean Water (SMOW/VSMOW), para el Oxígeno puede ser V-SMOW ó V-PDB y para el Azufre es Vienna Canon Diablo Meteorite Troilite o Vienna Canon Diablo Meteorite Troilite (CDT/VCDT).

Al final se multiplica por mil el valor resultante de la comparación isotópica de la muestra con el estándar (Ecuación 1), esto para amplificar las pequeñas diferencias que hay entre la composición isotópica de la muestra y los estándares, esto debido a que la abundancia de isótopo menos abundante es generalmente menos del 1% de la abundancia total del elemento (Unkovich *et al.* 2013). Debido a esto las unidades en las que se expresan serán partes por mil (‰) (Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013)

Cuadro 2. Isótopos estables más utilizados en ecología con la proporción isotópica de sus respectivos estándares internacionalmente reconocidos. Tomada de Unkovich *et al.* (2013).

Isótopo	Proporción medida	Estándar	Proporción isotópica del estándar de referencia
$^2\text{H}^1$	$^2\text{H}/^1\text{H}$ (D/H)	V-SMOW	1.5575×10^{-4}
^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	V-PDB	1.1237×10^{-2}
^{15}N	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	N ₂ -atm	3.677×10^{-3}
^{18}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	V-SMOW	2.0052×10^{-3}
		V-PDB	2.0672×10^{-3}
^{34}S	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	4.5005×10^{-2}

$$\delta^H X = \left(\frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} - 1 \right) \times 1000$$

Ecuación 1. Donde δ es la notación isotópica, X es el elemento en su forma pesada, H es la masa atómica del isótopo pesado (Por ejemplo $\delta^{13}\text{C}$), R es la relación de isótopos pesados con respecto al ligero (por ejemplo $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) de la muestra ($R_{muestra}$) y el estándar ($R_{estandar}$).

Los valores δ expresan diferencia en la proporción de isótopos de la muestra comparada con el estándar y naturalmente los valores oscilan entre -100‰ y 100‰ (Fry 2006). Cuando el valor δ es 0‰ indica que no hay diferencia en la proporción de isótopos con respecto al estándar. Generalmente los que presentan valores cercanos a 0 son los estándares (Fry 2006). Un valor δ positivo indica que la muestra tiene más moléculas del isótopo pesado en comparación con el estándar, lo cual es lo contrario cuando el valor es negativo (Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013).

Cuando se quieren comparar la composición isotópica de diferentes materiales, generalmente se utilizan diferentes terminologías como: alto/bajo, más positivo/más negativo o enriquecidos/empobrecidos, las primeras dos expresiones se utilizan cuando se habla de valores δ , mientras que al utilizar la última expresión se debe especificar a qué isótopo se hace referencia (pesado o ligero), sin embargo, generalmente se refiere al isótopo pesado. (Michener & Lajtha 2008, Ben-David y Flaherty. 2012, Unkovich *et al.* 2013).

El análisis de isótopos estables se ha utilizado para estudiar los dos grandes ejes del nicho: el escenopoético (aquel que establece el escenario bioclimático) y el bionómico (aquel en el que se identifica los recursos que utiliza una especie). El primero se enfoca en estudiar los movimientos de los organismos creando paisajes isotópicos, mientras que el segundo se enfoca en la ecología trófica de los organismos (Pérez *et al.* 2008).

Para los estudios de ecología trófica, los isótopos estables pueden proporcionar información del alimento que es asimilado y del tiempo en el que ha sido integrado en los tejidos del consumidor (Roth & Hobson 2000, Nardoto *et al.* 2006, Caut *et al.* 2008a, Caut *et al.* 2008b).

Lo isótopos que se utilizan para evaluar la ecología trófica son los de Nitrógeno (^{15}N y ^{14}N) y Carbono (^{13}C y ^{12}C) (Pérez *et al.* 2008, Newsome *et al.* 2010), ya que los productores (base de cadena trófica) fabrican moléculas orgánicas con valores isotópicos característicos de Carbono y Nitrógeno que los consumidores incorporan a sus tejidos cuando los consumen (Pérez *et al.* 2008). Debido a esto los isótopos estables pueden proporcionar información sobre cascadas tróficas dentro de la comunidad (Crawford *et al.* 2008), así como el nivel trófico de las especies (Adams & Sterner 2000, West *et al.* 2006), además se pueden hacer estimaciones del flujo de nutrientes por comunidad ecológica (Post 2002), diferenciar dietas basadas en plantas con diferentes vías fotosintéticas (C3 y C4) (Post 2002, Pérez *et al.* 2008) y obtener información sobre las redes alimentarias (Kelly 2000).

Una forma de analizar las redes alimentarias es utilizando los modelos de mezcla de isótopos estables (SIMM por sus siglas en inglés), los cuales asumen que los tejidos de los consumidores se forman a partir de los nutrientes de las fuentes de alimento por procesos de digestión y absorción, por lo que estos modelos estiman la contribución relativa de fuentes dietéticas asimiladas a los tejidos de los consumidores (Inger *et al.* 2006, Hopkins & Ferguson 2012), basándose en las relaciones o firmas isotópicas de los tejidos de los consumidores y las fuentes de alimento (Parnell *et al.* 2013) Generalmente cuando se tiene n isótopos y hasta $n+1$ fuentes, se puede calcular una única solución, sin embargo cuando se tiene múltiples fuentes lo que se hace es estimar una solución con la máxima probabilidad (Inger *et al.* 2006).

Cuando se hace este tipo de análisis se debe tener en cuenta el tipo de tejido que se analiza y su vida media, ya que dependiendo de esta, se proporcionará información a diferente escala de tiempo, por ejemplo, el plasma sanguíneo en mamíferos tiene una vida media de 5.6 días (Vander *et al.* 2015), lo cual proporciona información de lo que se ha asimilado en un corto plazo. Por el contrario el pelo presenta una vida media de 47.5 días, por lo que proporcionará información de mediano plazo (Tieszen *et al.* 1983).

De igual manera se debe tomar en cuenta que existen diferencias entre las proporciones isotópicas de las fuentes de alimento y los consumidores, esto debido a la retención del isótopo pesado y la excreción del isótopo ligero, ocasionado porque este último necesitan de una menor energía para romper sus enlaces, lo que ocasiona que reaccione más a menudo (Burns *et al.* 1998). Estos procesos hacen que los tejidos de los animales se encuentren enriquecidos comparados con los de sus dietas. Estas diferencias son llamadas factores de discriminación y son un elemento esencial para estimar con precisión las contribuciones dietéticas utilizando los SIMM (Hopkins & Ferguson 2012).

Para realizar cualquier análisis isotópico se pueden utilizar diversos tejidos, sin embargo, los más utilizados son aquellos metabólicamente inertes como el pelo, uñas, vibrisas (West *et al.* 2006, Crawford *et al.* 2008, Hénaux *et al.* 2011), garras (West *et al.* 2006, Hénaux *et al.* 2011) y plumas, debido a que actúan como grabadoras de mediano plazo (West *et al.* 2006), no requieren de métodos especializados para la extracción de lípidos y/o residuos (Newsome *et al.* 2010) y pueden ser muestreados repetidamente en un mismo individuo (Dalerum & Angerbjörn 2005).

Utilizar el pelo como tejido en los análisis isotópicos puede presentar otras ventajas, ya que su colecta puede hacerse por métodos no invasivos (Dalerum y Angerbjörn 2005, Caut *et al.* 2008a, Hatch *et al.* 2011) y las muestras son relativamente fáciles de obtener en campo (Sponheimer *et al.* 2003b).

En América, los estudios que se han realizado sobre ecología trófica en grandes carnívoros, específicamente en puma y jaguar, han utilizado métodos convencionales como el análisis de excretas (Iriarte *et al.* 1990, Aranda 1994, Aranda y Sánchez-Cordero 1996, Chinchilla 1997, Núñez 2000, Garla *et al.* 2001, Rau y Jiménez 2002, Weckel *et al.* 2006, Cascelli de Azevedo y Lewis 2007, Monroy-Vilchis *et al.* 2009). Los estudios que emplean otras metodologías como los análisis de isótopos estables, son pocos y únicamente se han realizado en puma y otros felinos de menor tamaño (Long *et al.* 2005, Allen *et al.* 2007, Parnig *et al.* 2014, Panarello y Fernández 2002).

En México, los estudios que han empleado el análisis de isótopos estables, principalmente ha sido en mamíferos marinos (Aurioles *et al.* 2006, Busquets 2008), mientras que en mamíferos terrestres se ha hecho en murciélagos (Fleming *et al.* 1993) y venado cola blanca (Nájera-Hillman & Mandujano 2013).

OBJETIVOS

GENERAL

Análizar el nicho trófico de *Panthera onca* y *Puma concolor* para determinar cuáles son las especies presa más importantes en la dieta de éstos felinos, cuales asimila en mayor proporción y conocer si el ganado es una de ellas, para lo cual se utilizan dos metodologías complementarias (análisis de excretas y análisis de isótopos estables).

ESPECÍFICOS

Conocer la dieta de puma y jaguar mediante el análisis de excretas y conocer cuáles son las especies más importantes en términos de biomasa relativa consumida.

Analizar cuáles son las especies que tienen un mayor aporte isotópico en la dieta de puma y jaguar, utilizando isótopos estables de carbono y nitrógeno.

Conocer si el ganado bovino forma parte de la dieta de *Puma concolor* y *Panthera onca* analizando las excretas de los depredadores y aplicando el análisis de isótopos estables.

Identificar el grado de superposición de nicho trófico de puma y jaguar.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

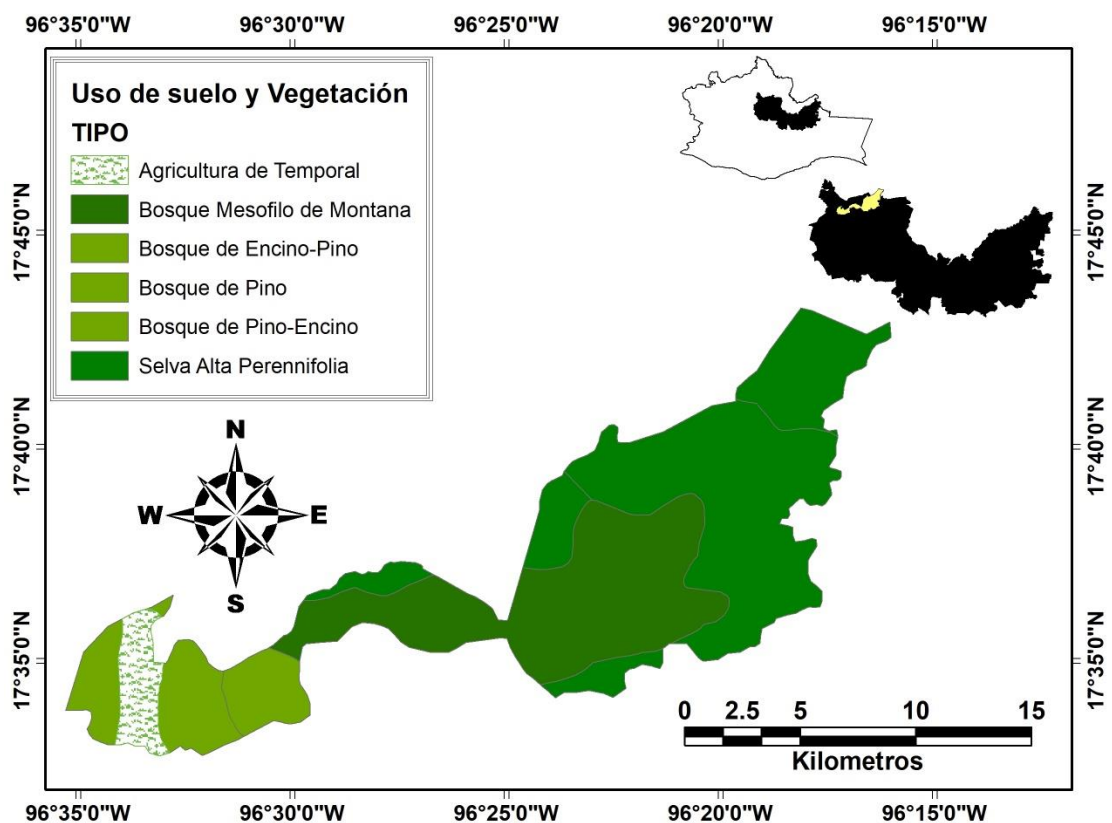


Figura 1. Ubicación de municipio de Santiago Comaltepec, con la representación de los tipos de vegetación presentes.

El estado de Oaxaca en el sureste de México se divide en ocho regiones geoeconómicas: Istmo, Mixteca, Sierra Sur, Costa, Sierra Norte, Valles Centrales, Papaloapam y Cañada (Ortega *et al.* 2010). Las regiones Sierra Norte e Istmo forman parte de la Sierra Madre de Oaxaca, la cual posee una gran diversidad de mamíferos. Dentro de la Sierra Norte se ubica el distrito de Ixtlán, el cual posee 117 especies de mamíferos, por lo que es considerado uno de los más diversos dentro del estado (Ordoñez, 2004).

Dentro del distrito de Ixtlán se encuentra el municipio de Santiago Comaltepec, el cual colinda al norte con la comunidad de San Pedro Yolox, al oeste con la Agencia de la Soledad Tectitlán, al sur con las comunidades de San Pablo

Macuiltianguis e Ixtlán de Juárez al noreste con la comunidad de Yetla y al este con el ejido de Santiago Progreso (Luna 2008). Geográficamente se ubica a los 17° 32' y 17° 44' Latitud Norte y 96° 16' y 96° 36' Longitud Oeste y presenta altitudes que van de los 100 a los 3200 m (INEGI 2005).

En la zona de estudio el clima es C(m)(w'')b(i')g , es decir, templado húmedo con lluvias en verano, con precipitación del mes más seco menor a 40 mm y con lluvia invernal entre el 5 y 10% del total anual (Luna 2008) Dentro de la zona se encuentran cinco tipos de suelo: luvisol (51.83% de la superficie), cambisol (41.43%), umbrisol (4.73%), fluvisol (1.26%) y acrisol (0.75%).

El municipio alberga tres tipos de vegetación principales: el bosque de coníferas (20%), bosque tropical subcaducifolio (30%) y bosque mesófilo de montaña (50%) (Luna 2008). Este último es uno de los que se encuentra en mejor estado de conservación (Ortega *et al.* 2010). Se ha documentado que estos tres tipos de vegetación albergan la mayor diversidad faunística dentro del estado (Ordoñez 2004). Además, el bosque mesófilo de montaña enfrenta grandes amenazas, ya que en el país se estima que únicamente ocupa del 0.5 al 0.87% de la superficie territorial y la deforestación ha reducido su cobertura aproximadamente en un 50% (López-Pérez *et al.* 2011).

Estos tres tipos de vegetación albergan a 28 especies de mamíferos (Alfaro 2006, Luna 2008), entre los que se encuentra *Oryzomys chapmani*, un roedor endémico de México (Alfaro 2006), así como especies sujetas a protección especial (*Potos flavus*), amenazadas (*Bassariscus astutus*) y en peligro de extinción (*Eira barbara*, *Leopardus wiedii*, *Lontra longicaudis* y *Panthera onca*) (SEMARNAT 2010).

Este municipio se compone de comunidades rurales, donde únicamente el 36% de la población es económicamente activa y de la cual el 58% no percibe ingresos. Del total de la población económicamente activa, el 67% se dedica a actividades del sector primario, como la agricultura y ganadería. Particularmente para la ganadería, la cría de ganado es la segunda actividad que más se lleva a cabo, principalmente la del ganado bovino, siendo una de las actividades de las cuales los pobladores obtienen más ingresos (López 2010).

OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Se colectaron muestras de excretas de puma y jaguar en el municipio de Santiago Comaltepec, desde junio del 2016 a agosto del 2017, lo cual se llevó a cabo haciendo recorridos mensuales en transectos donde se tenía conocimiento que era paso de estos dos grandes felinos. Las excretas se identificaron con ayuda del manual de rastreo de mamíferos de Aranda (2012), con la presencia de rastros asociados (huellas y/o reascaderos) y consultando la experiencia de expertos locales. Cada muestra fue medida (largo y ancho), pesada, georreferenciada y fechada.

De igual manera se colocó un total de 72 trampas de pelo, sobre los transectos recorridos, para colectar pelos de las especies de mamíferos presentes en la zona (incluyendo al puma y al jaguar). Las trampas de pelo consistían en una cinta de velcro que se utilizó como material de retención, el cual fue colocado en los árboles a una altura de 40 cm., para permitir que se obtuvieran muestras tanto de especies pequeñas como de gran tamaño (Hedges *et al.* 2015) y se utilizaron cinco atrayentes olfativos que han mostrado ser efectivos para la detección de felinos y diversas especies de mamíferos: catnip (McKelvey *et al.* 2006, Castro-Arellano *et al.* 2008, García-Alaníz *et al.* 2010, Portella *et al.* 2013), valeriana (McKelvey *et al.* 2006), fragancia para hombres (Castro-Arellano *et al.* 2008, Hedges *et al.* 2015), un atrayente comercial - Raccoon trapping lure #1 Minnesota Trapline Products- (Castro-Arellano *et al.* 2008) y una mezcla de valeriana con catnip (McKelvey *et al.* 2006). Se colocó el mismo número de trampas con cada atrayente y en ningún caso se colocaron consecutivamente dos trampas con el mismo.

ANÁLISIS DE EXCRETAS

Las excretas colectadas se dejaron secar a temperatura ambiente, para posteriormente lavarlas con agua, colocándolas dentro de una malla delgada para evitar que se perdieran componentes, nuevamente se dejaron secar y posteriormente se separaron los elementos como pelo, hueso, dientes, vegetación, etc.

El pelo fue el principal elemento que se utilizó para identificar a las especies presa. El cual se caracterizó macroscópicamente observando tamaño, forma y coloración (Anexo 2), características que se observaron más detalladamente con un microscopio digital USB 2.0 de la marca Plugable. De igual manera el pelo se caracterizó microscópicamente observando las escamas y el tipo de médula (Anexo 2), para lo cual se realizaron preparaciones permanentes siguiendo la metodología de Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez (2003), las cuales se observaron en un microscopio óptico de la marca Nikon modelo Eclipse E200 a 400 aumentos.

La identificación de la especie a la que pertenecen los pelos encontrados en las excretas se hizo por medio de la comparación con muestras de pelo de ejemplares depositados en el museo de Zoología de la Facultad de Ciencias (MZFC) de la UNAM, con las cuales se elaboraron fichas técnicas para cada especie, siguiendo las recomendaciones de Botello *et al.* (2007) (Anexo 3).

Las especies que no pudieron ser identificadas con las muestras de referencia, se compararon con las guías de identificación de pelo de guardia existentes en la literatura: Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez (2003), Baca & Sánchez-Cordero (2004), Juárez *et al.* (2007) y Pech-Canché *et al.* (2009).

Cuando se identificó a todas las especies se calculó la frecuencia de ocurrencia (FO), que es el porcentaje de excretas en las cuales fue encontrada una especie presa en relación con el total de excretas; porcentaje de ocurrencia (PO), que es el número de ocurrencias de una especie presa dividido entre el total especies identificadas (Ackerman *et al.* 1984, Gómez-Ortiz *et al.* 2015) y la biomasa relativa consumida (BRC) para lo cual se aplicó el factor de corrección propuesto por Ackerman *et al.* (1984).

Este factor de corrección surge de la observación de una relación lineal positiva entre el peso de la presa consumida y las excretas producidas colectables (las excretas que se encuentran en campo), la cual se representa matemáticamente por la ecuación 2, donde se estima el peso de la presa consumida por excreta y este valor se utiliza en la Ecuación 3 para estimar cuanta biomasa consume,

considerando que cada ocurrencia representa de un individuo (Ackerman *et al.* 1984).

$$y = 1.98 + 0.035x$$

Ecuación 2. Modelo lineal para estimar el peso de cada presa consumida por excreta (y), donde x representa el peso promedio de la presa.

$$BRC = (FO * FC) / \Sigma(FO * FC)$$

Ecuación 3. Biomasa relativa consumida (BRC), que es igual al producto de la frecuencia de ocurrencia (FO) y el factor de corrección propuesto por Ackerman *et al.* (1984) (FC), dividido entre la sumatoria total del producto de estas dos.

El factor de corrección evita la sobreestimación de las presas de gran tamaño, por lo que para las presas pequeñas (< 1 Kg.) no se aplica, ya que estos individuos tienen poca probabilidad de que formen una excreta completa (Ackerman *et al.* 1984).

De igual manera se calculó la amplitud de nicho para cada depredador utilizando el índice de Levin estandarizado (B') (Ecuación 5), el cual presenta valores de 0-1, clasificándose como especies especialistas cuando el valor es cero y generalistas cuando el valor es uno (Colwell & Futuyma, 1971) (, Gómez-Ortiz *et al.* 2015). De igual manera se calculó la superposición de nicho utilizando el índice de Pianka (Ecuación 6), que también toma valores entre cero y uno, tomando el valor de cero cuando no hay superposición y uno cuando hay una superposición total (Pianka 1973).

$$B = \frac{1}{\Sigma p_j^2}$$

Ecuación 4. Amplitud de nicho de Levin (B), que es igual al inverso de la sumatoria del cuadrado de las proporciones de los componentes de la dieta (p_j).

$$B' = \frac{B - 1}{n - 1}$$

Ecuación 5. Amplitud del nicho estandarizado (B'), que es igual a la sustracción del la amplitud de nicho de Levin (B) menos una unidad, dividido entre la sustracción el número de presas (n) menos una unidad.

$$O_{jK} = \frac{\sum_i^n P_{ij} P_{iK}}{\sqrt{\sum_i^n P_{ij}^2 \sum_i^n P_{iK}^2}}$$

Ecuación 6. Índice superposición de nicho de Pianka (O_{jk}), donde p_{ij} y p_{ik} son la proporción del recurso i utilizado por la especie j y por la especie k respectivamente.

Asimismo se realizaron curvas de acumulación de especies utilizando el paquete Vegan dentro de la plataforma R 3.4.1 (R Core Team 2013) y se realizó una curva aleatorizada con 500 iteraciones para eliminar el efecto del orden y poder predecir la diversidad de especies en la dieta de jaguar y puma.

Posteriormente las curvas de acumulación se evaluaron con el modelo asintótico de Dependencia Lineal, en el cual se asume una relación lineal inversamente proporcional entre el número de especies registradas o colectadas y el esfuerzo de muestreo (Moreno & Halffter 2000). Soberón & Llorente (1993) mencionan que este modelo es el adecuado cuando el grupo es bien conocido y existe la probabilidad de que todas las especies puedan ser registradas, lo cual es el caso, debido a la diversidad de especies que existen en la zona. Cuando no se alcanza la asintota se cálculo el número de excretas adicionales para alcanzar el 95% de esta. Estos análisis se realizaron en el programa CurveExpert 1.4 (Hyams 2010).

ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

Se analizaron cuatro muestras de pelo de cada depredador (*P. onca* y *p. concolor*) y de las tres presas de las cuales consumen una mayor biomasa relativa, de igual manera se analizaron cuatro muestras de pelo de ganado bovino presente

en la zona de estudio para analizar si estos organismos tienen una aportación importante en la dieta de puma y jaguar.

Las muestras de pelo se sometieron a un proceso de limpieza para eliminar residuos orgánicos e inorgánicos. Para eliminar los residuos inorgánicos las muestras se colocaron en tubos de centrifuga con agua Tipo 1 (agua ultrapura libre de contaminantes constituidos por iones disueltos o coloides y materia orgánica), las cuales se agitaron utilizando un vortex. Posteriormente se colocaron por diez minutos en un baño de ultrasonido y enseguida se equilibraron las muestras para centrifugar por diez minutos a 20 °C a 8000 rpm, se eliminó el sobrenadante y se repitió el proceso. Para eliminar los residuos orgánicos que no eran parte de la muestra, estas se lavaron con acetona y de igual manera se sometieron a un proceso de centrifugación de 8000 rpm por diez minutos a 20 °C. Finalmente se desechó la acetona y se dejaron secar las muestras en una estufa a 60 °C por una noche.

Ya secas las muestras se procedió a cortar el pelo en pequeños segmentos y posteriormente se pesó 0.6 ± 0.030 mg con ayuda de una microbalanza Mettler Toledo MX5. Dicha cantidad se colocó en cápsulas de estaño para poder ser ingresadas al espectrómetro de masas (IRMS por sus siglas en ingles). Este proceso se realizó por duplicado para cada muestra.

Para obtener los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ de las muestras de pelo, se utilizo un IRMS de flujo continuo utilizando Helio como gas acarreador, para lo cual primero las muestras fueron convertidas en gases (N_2 y CO_2) mediante el método de combustión dinámica tipo Dumas con un analizador elemental Flash 2000, a una temperatura de 960 °C en la columna de combustión-reducción, consecutivamente los gases fueron dirigidos a una columna de perclorato de magnesio para atrapar el agua producto de la combustión. Posteriormente la separación de los gases (N_2 y CO_2) se lleva a cabo gracias al peso molecular y se realiza mediante una columna cromatográfica C/N a 35 °C, cada gas fue dirigido al espectrómetro de masas Thermo Finnigan MAT253, el cual se acopla mediante la interfase Conflo IV.

Para obtener los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ se utilizó NBS22, PEF1 y IAEACH6 como estándares internos de trabajo (IWS por sus siglas en ingles), los cuales se normalizaron con los materiales de referencia: IAEAN, USGS25, USGS26, USGS40 y USGS41 y se utilizaron 2 aminoácidos sigma (Glicina y Serina) alternados y con diferente composición isotópica para verificar la calidad de la combustión y reducción. Al final los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ se obtienen con una precisión de 0.2‰.

Simultáneamente durante los análisis isotópicos con la espectrometría de masas se obtuvieron las concentraciones de carbono y nitrógeno (% C y % N) de todas las muestras analizadas, las cuales se ha utilizado como medidas indirectas del contenido energético y contenido de proteínas respectivamente (Inger *et al* 2006).

Todo el proceso anterior se llevó a cabo en el Laboratorio de Isótopos Estables del LANGEN, ubicado en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

A los datos obtenidos a partir de las muestras provenientes de las excretas se les aplico un factor de corrección, ya que se ha observado que en el proceso de digestión, los tejidos no digeridos aumentan 0.49‰ en los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y 0.84‰ para $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (Darimont *et al.* 2007).

Para conocer las contribuciones relativas de cada presa a la dieta de los depredadores se utilizaron los modelos de mezcla de isótopos estables (SIMM por sus siglas en ingles), para ello es necesario contar con tres elementos: las fuentes, las mezclas y los factores de corrección. Las fuentes son los valores isotópicos de las muestras de pelo de las presas, las mezclas son los valores isotópicos de las muestras de pelo de los depredadores y los factores de corrección son los factores de enriquecimiento trófico (TEF por sus siglas en ingles). Estos factores se pueden obtener experimentalmente o tomando en cuenta los reportados en la literatura, en este caso, no existen TEFs reportados para jaguar y aunque para puma si los hay no reportan las desviaciones estándar (estadístico necesario para el análisis), por lo que se consideró el promedio los factores de enriquecimiento reportados para

otras especies de grandes felinos: *Puma concolor* (Panarello & Fernandez 2002, Parng *et al.* 2014), *Panthera leo* (Parng *et al.* 2014, Mutirwara *et al.* 2017), *Panthera tigris* (Montanari & Amato 2015) y *Uncia uncia* (Montanari & Amato 2015). En este caso los TEFs utilizados fueron 3.18‰ para $\Delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y 2.57‰ para $\Delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$

Antes de ejecutar los SIMM se comprobó que no existieran problemas de agregación de las fuentes, es decir que dos o más fuentes no mostraran valores isotópicamente similares (no se ubicaran en el mismo espacio isotópico), ya que el modelo no podría distinguirlas y no podría determinar las diferencias en las contribuciones de cada una. Para ello se observa la correlación que hay entre ellas con una significancia del 0.05, si las fuentes tienen una alta correlación negativa indicará que estas fuentes son similares isotópicamente (Parnell *et al.* 2013).

Cuando se verifico que no había problemas de agregación de las fuentes, se procedio a ejecutar los modelos de mezcla en el paquete SIMMR (Parnell & Inger 2016) disponible en R 3.4.2 (R Core Team 2013), utilizando el software JAGS (Plummer, 2003) y utilizando el paquete CODA (Plummer *et al.* 2006) que incluye el diagnostico de Brooks-Gelman-Rubin (Gelman & Rubin 1992) utilizado para verificar convergencia. El modelo de mezcla que ejecuta este paquete se basa en los modelos bayesianos, los cuales ajustan un modelo de probabilidad a un conjunto de datos, resumiendo el resultado mediante una distribución de probabilidad en los parámetros del modelo y en cantidades no observadas tales como predicciones para nuevas observaciones (Gelman *et al.* 2014) y en este caso las simulaciones se hacen utilizando las cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC).

Los modelos de mezcla realizados se ejecutaron con 3 MCMC con 50000 iteraciones cada una (Parnell *et al.* 2013), debido a que las primeros resultados generalmente son deficientes se descartaron las primeras 10000 iteraciones (burn) y con las iteraciones restantes se origina la distribución posterior. Posteriormente el modelo se evalua con diagnosticos de convergencia en este caso lo hace con el diagnostico de Gelman, si la ejecución del modelo ha convergido correctamente, los valores serán cercanos a 1 (Parnell & Inger 2016). Finalmente también se determinó la probabilidad de todos los órdenes de proporciones posibles.

RESULTADOS

Durante el estudio (junio del 2016 a agosto del 2017), para la colecta de excretas se realizó un esfuerzo de muestreo de 377.98 km recorridos en el que se colectó un total de 23 excretas, 16 de las cuales pertenecen a *Panthera onca* y 7 a *Puma concolor*. Por su parte para la colecta de pelos (utilizando las trampas de pelo) fue de 23,048 días/trampa en las cuales se colectó pelos de *Urocyon cinereoargenteus*, *Leopardus pardalis*, *Sciurus aureogaster*, *Conepatus semistriatus* y *Bos taurus*.

ANÁLISIS DE EXCRETAS

JAGUAR

Para jaguar se colectó un total de 16 excretas, las cuales se encontraron en altitudes que van de los 657 a los 2136 m. El 12.5% de estas excretas se encontraron en selva mediana, el 31.2% se encontró en el bosque mesófilo de montaña y el 56.25% se encontraron en zonas de transición (ecotono) entre bosque mesófilo de montaña y selva mediana (Figura 2).

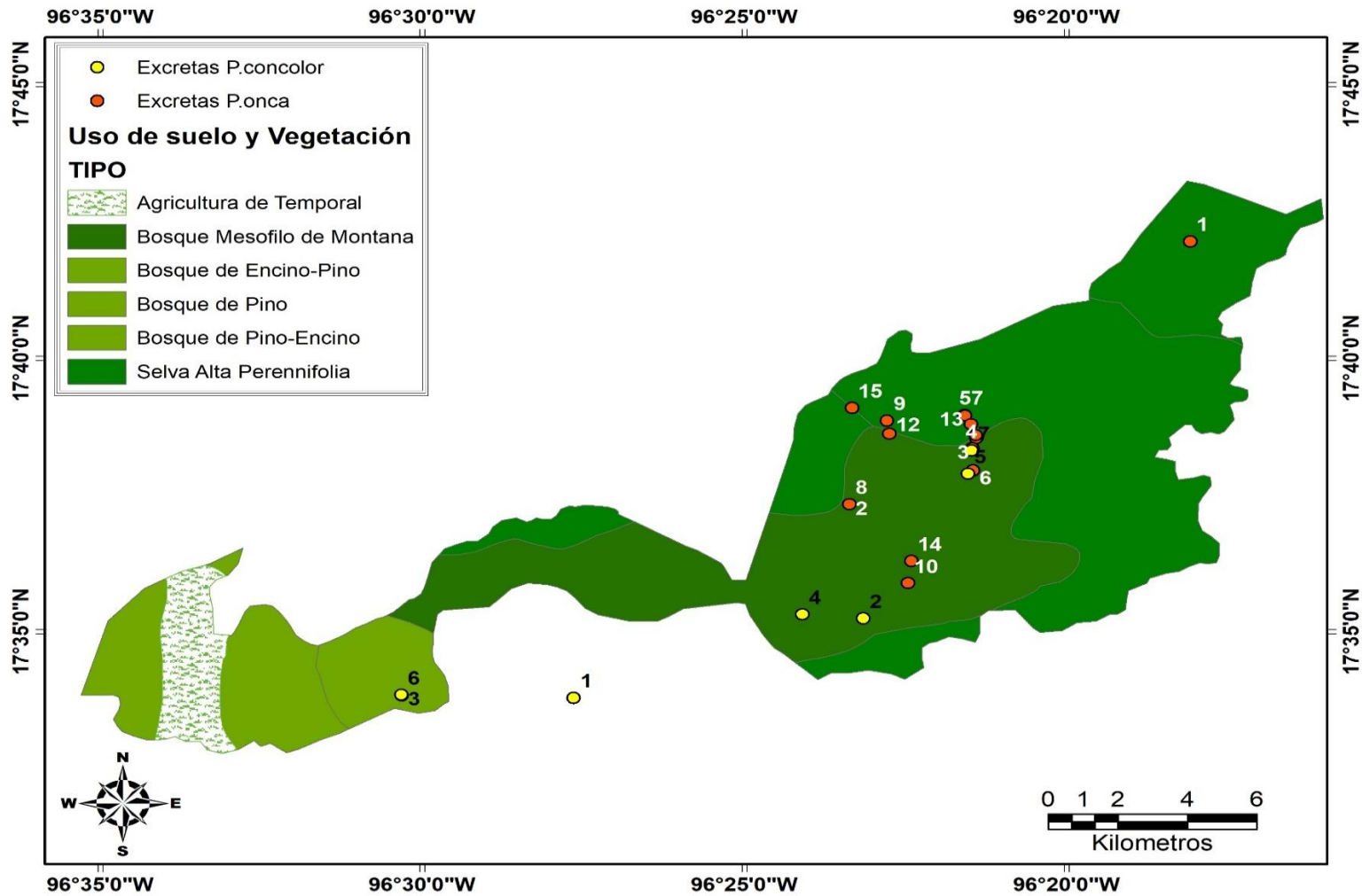


Figura 2. Ubicación geográfica de las excretas de jaguar y puma colectadas en el municipio de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Las etiquetas indican el número de excreta colectada.

Con el número de excretas analizadas se identificó que la dieta de jaguar la conforman 17 especies (Cuadro 3), todas pertenecientes a la Clase Mammalia y únicamente especies de talla media y grande. Las presas de talla media (1-15 kg.) constituyen el 76.5% del total de las presas encontradas y representan en 74.3% de la biomasa relativa consumida, mientras que las de talla grande (>15kg) constituyen el restante 23.5% de la diversidad de las presas y 25.7% del total de la biomasa consumida. La media geométrica (mediana) del peso de las presas que consume el jaguar es de 5 kg.

El orden más diverso y abundante dentro de la dieta del jaguar es Carnivora, seguido del Rodentia y Artiodactyla. Mientras que las especies de las cuales se consume una mayor biomasa relativa son: *Cuniculus paca* (21.22%), *Nasua narica* (11.81%) y *Mazama temama* (10.35%), las cuales en conjunto constituyen casi el 50% del total de la biomasa relativa consumida.

Cuadro 3. Lista de especies que constituyen la dieta de *Panthera onca*. Para cada una se muestra la frecuencia de ocurrencia (FO), porcentaje de ocurrencia (PO) y Biomasa relativa consumida (BRC).

Especie	FO	PO	Peso promedio (kg)*	Factor de corrección	BRC
Cervidae					
<i>Mazama temama</i>	31.25	9.61	16.7	2.56	10.35
<i>Odocoileus virginianus</i>	6.25	1.92	56.5	3.96	3.19
Tayassuidae					
<i>Pecari tajacu</i>	12.5	3.85	17.53	2.59	4.18
Canidae					
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	12.5	3.85	2.65	2.07	3.34
Mephitidae					
<i>Conepatus semistriatus</i>	12.5	3.85	2.75	2.07	3.35
Mustelidae					
<i>Eira barbara</i>	12.5	3.85	5	2.15	3.48
<i>Mustela frenata</i>	25	7.69	2.5	2.07	6.67
<i>Lontra longicaudis</i>	12.5	3.85	10	2.33	3.76
Procyonidae					
<i>Bassariscus sumichrasti</i>	6.25	1.92	1.1	2.02	1.63
<i>Nasua narica</i>	43.75	13.46	3.18	2.09	11.81
<i>Potos flavus</i>	6.25	1.92	3.3	2.09	1.69
<i>Procyon lotor</i>	18.75	5.77	5.5	2.17	5.26

Didelphidae					
<i>Didelphis virginiana</i>	12.5	3.85	2.7	2.07	3.35
Tapiridae					
<i>Tapirus bairdii</i>	6.25	1.92	225	9.85	7.95
Myrmecophagidae					
<i>Tamandua mexicana</i>	25	7.69	6.15	2.19	7.09
Cuniculidae					
<i>Cuniculus paca</i>	75	23.08	6.04	2.19	21.22
Dasyproctidae					
<i>Dasyprocta mexicana</i>	6.25	1.92	2.81	2.08	1.68
Total	325	100			100

*Los pesos promedios de las especies se tomaron de diferentes fuentes de literatura: *N. narica*, *P. tajacu*, *C. paca*, *M. temama*, *T. mexicana*, *U. cinereoargenteus*, *D. mexicana* y *P. flavus* se obtuvieron de Novack *et al.* (2005), mientras que *O. virginianus* y *D. virginiana* de Hernández-SaintMartin *et al.* (2015), *P. lotor* de Monroy-Vilchis *et al.* (2009) y *C. semistriatus*, *E. barbara*, *L. longicaudis*, *G. vittata*, *T. bairdii* y *B. sumichrasti* del promedio de los pesos reportados por Aranda (2012).

El modelo de Dependencia Lineal mostró un buen ajuste a la curva de acumulación de especies, presentando un coeficiente de correlación de 0.998 (Figura 3). El modelo predice que el número asintótico de especies presa que son parte de la dieta del jaguar es de 18, lo que indica que únicamente faltó registrar una especie. Debido a que no se alcanzó la asíntota, se estimó que el número mínimo de excretas necesarias para alcanzar el 95% de la asíntota es 18, por lo que únicamente faltaron analizar dos excretas más.

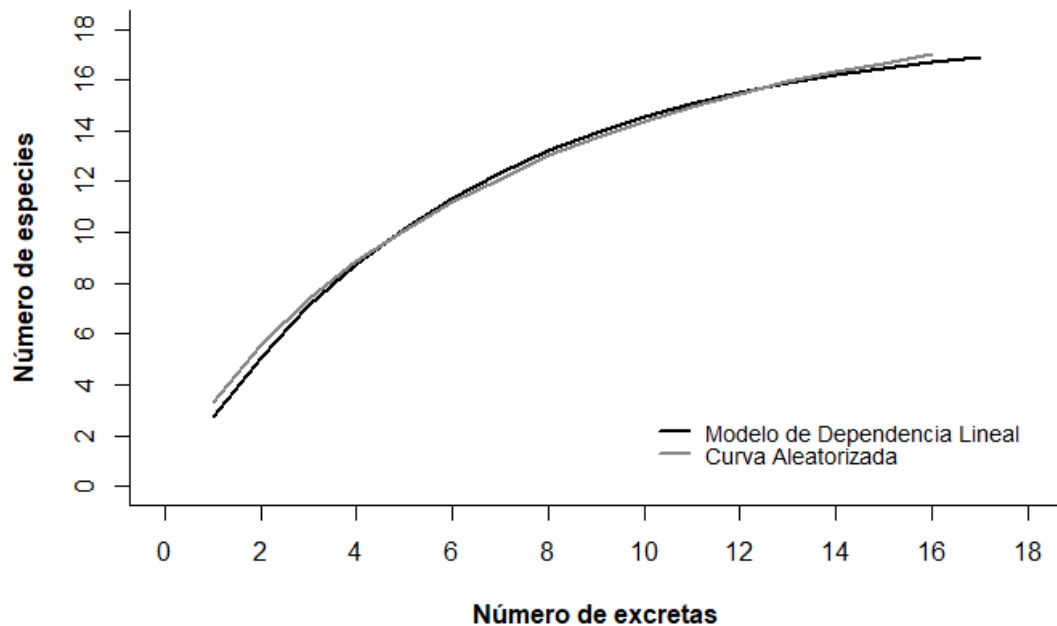


Figura 3. Curva de acumulación de especies y modelo de Dependencia Lineal para la dieta de *Panthera onca*.

Con los datos obtenidos de las excretas analizadas de jaguar se estimó que la amplitud de nicho estandarizado (B') para este felino es de 0.52, por lo que presenta una tendencia a ser un depredador generalista.

PUMA

Para *P. concolor* se colectó únicamente siete excretas, las cuales se encontraron desde los 1262 a los 2970 msnm. Cerca de la mitad de las excretas

(42.86%) se encontraron en bosque de coníferas, mientras que el mismo número de excretas (28.57%) se encontró en el bosque mesófilo de montaña y en la zona de transición entre el bosque mesófilo y la selva mediana (Figura 2).

Para el caso del puma se identificaron 12 especies presa (Cuadro 4), todas las cuales, al igual que para el *P. onca* pertenecen a la Clase Mammalia, sin embargo en este caso incluye especies de las tres categorías de tamaño (de talla pequeña, media y grande). Las presas de talla pequeña (<1 kg) representan el 41.6% del total de las presas, sin embargo en términos de biomasa relativa consumida únicamente conforman el 23.7%. Por su parte las presas de talla grande únicamente representan el 16.7% de la diversidad de las presas consumidas, constituyen el 26.2% de la biomasa relativa consumida. Finalmente las presas de talla media conforman el 41.7% de la diversidad de las presas consumidas y el 50.1% de la biomasa consumida. La media geométrica (mediana) del peso de las presas que consume el puma es de 2.65 kg.

A diferencia de la dieta del jaguar, en la dieta del puma, el orden que presenta una mayor diversidad es Rodentia, aunque únicamente sus especies representen aproximadamente el 21% del total de la biomasa relativa consumida.

Es importante mencionar que la identificación hasta nivel de especie de los conejos no pudo realizarse, debido a la gran similitud que hay en las escamas y medulas de los pelos de éstos, por lo que únicamente se consideraron hasta nivel de género (*Sylvilagus*).

Cuadro 4. Lista de especies que constituyen la dieta de *Puma concolor*. Para cada una se muestra la frecuencia de ocurrencia (FO), porcentaje de ocurrencia (PO) y biomasa relativa consumida (BRC).

Especie	FO	PO	Peso promedio (Kg)*	Factor de corrección	BRC
Cervidae					
<i>Mazama temama</i>	28.57	11.77	16.7	2.56	17.38
Tayassuidae					
<i>Pecari tajacu</i>	14.29	5.88	17.53	2.59	8.79
Canidae					
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	14.29	5.88	2.65	2.07	7.02
Leporidae					
<i>Sylvilagus.</i>	28.57	11.77	1.5	2.03	13.77
Myrmecophagidae					
<i>Tamandua mexicana</i>	28.57	11.77	6.15	2.20	14.87
Cuniculidae					
<i>Cuniculus paca</i>	14.29	5.88	6.04	2.19	7.42
Cricetidae					
<i>Microtus oaxacensis</i>	14.29	5.88			3.39
<i>Peromyscus aztecus</i>	28.57	11.76			6.77
<i>Peromyscus mexicanus</i>	14.29	5.88			3.39
Dasyproctidae					
<i>Dasyprocta mexicana</i>	14.29	5.88	2.81	2.08	7.04

Soricidae	28.57	11.77	6.77
<i>Cryptotis goldmani</i>	14.29	5.88	3.39
Total	242.86	100	100

*Los pesos promedios de las especies se tomaron de Novack *et al.* (2005) para *P. tajacu*, *C. paca*, *M. temama*, *T. mexicana*, *U. cinereoargenteus* y *D. mexicana*, mientras que para *Sylvilagus* se obtuvieron de del promedio de los pesos reportados por Aranda (2012).

En este caso *Mazama temama* (17.38%), *Tamandua mexicana* (14.87%) y *Sylvlagus*. (13.77%) son las especies que más consume el puma, en conjunto representan casi el 50% del total de la biomasa consumida (Cuadro 4.), por lo que se consideran como las especies relevantes para este felino.

De la misma manera que para el jaguar, el modelo de Dependencia Lineal presenta un buen ajuste a los datos, presentando un coeficiente de correlación de 0.999 (Figura 4). Con dicho modelo se estima que la riqueza de especies en la dieta de *P. concolor* es de 23 y que el número mínimo necesario de excretas para alcanzar el 95% de la asíntota es de 28, es decir aún se requieren de 21 excretas para tener representada completamente la dieta de esta especie.

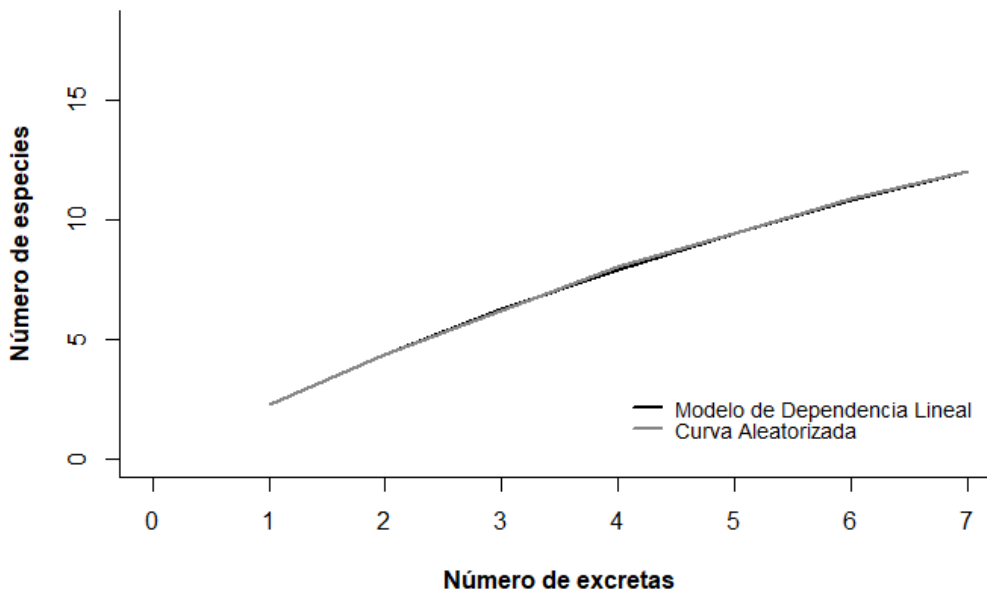


Figura 4. Curva de acumulación de especies y modelo de Dependencia Lineal para la dieta de *Puma concolor*.

Con los datos obtenidos sobre la dieta de puma, se estimó que la amplitud de nicho para este felino es de 0.69, lo que indica que es un depredador generalista.

De la misma manera se aplicó el índice de Pianka para obtener el grado de superposición de nichos en la zona de estudio, con lo cual se obtuvo un valor de 0.46 lo que indica que los nichos se superponen en un nivel intermedio.

ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

Para los análisis de isótopos estables se analizaron cuatro muestras de pelo de cada depredador (puma y jaguar) y cuatro muestras de las tres presas que representan una mayor biomasa relativa consumida por cada felino, es decir se analizaron muestras de pelo de *C. paca*, *N. narica*, *M. temama*, *T. mexicana* y *Sylvlagus sp.* Sin embargo, de éste último únicamente se analizaron dos muestras, ya que no se encontraron más. Todas estas muestras se obtuvieron de las excretas previamente analizadas.

Del mismo modo se analizaron cuatro muestras de pelo de ganado bovino (*Bos taurus*) para conocer si estos son parte importante de la dieta de puma y jaguar, dichas muestras se obtuvieron de las trampas de pelo colocadas en el área de estudio.

JAGUAR

Los valores isotópicos de las muestras de pelo de jaguar presentan un promedio de -23.68 ± 0.55 ‰ para los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, mientras que para los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, el promedio es de 5.57 ± 0.60 ‰.

De manera conjunta las presas de jaguar presentan valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ de -24.72 ± 3.61 ‰ y de 3.49 ± 0.56 ‰ para $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$. De manera específica se observan en el Cuadro 5 y se representan gráficamente en la Figura 5.

Con los valores isotópicos para cada una de las fuentes de jaguar se observa que *C. paca* muestra los valores más enriquecidos en los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y con una mayor variabilidad, mientras que *M. temama* presenta los valores más empobrecidos para este mismo elemento. Por el contrario el tepezcuintle posee los valores más empobrecidos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, mientras que *N. narica* presenta los valores más enriquecidos (

Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores promedio (Media) y desviación estándar (SD) de las relaciones isotópicas de los pelos de las tres presas de las cuales el jaguar consume una mayor biomasa relativa.

Fuente	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} (\text{‰})$		$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} (\text{‰})$	
	Media	SD	Media	SD
<i>Cuniculus paca</i>	-22.83	4.23	3.06	0.48
<i>Nasua narica</i>	-23.30	0.56	3.98	0.48
<i>Mazama temama</i>	-28.52	0.39	3.53	0.35

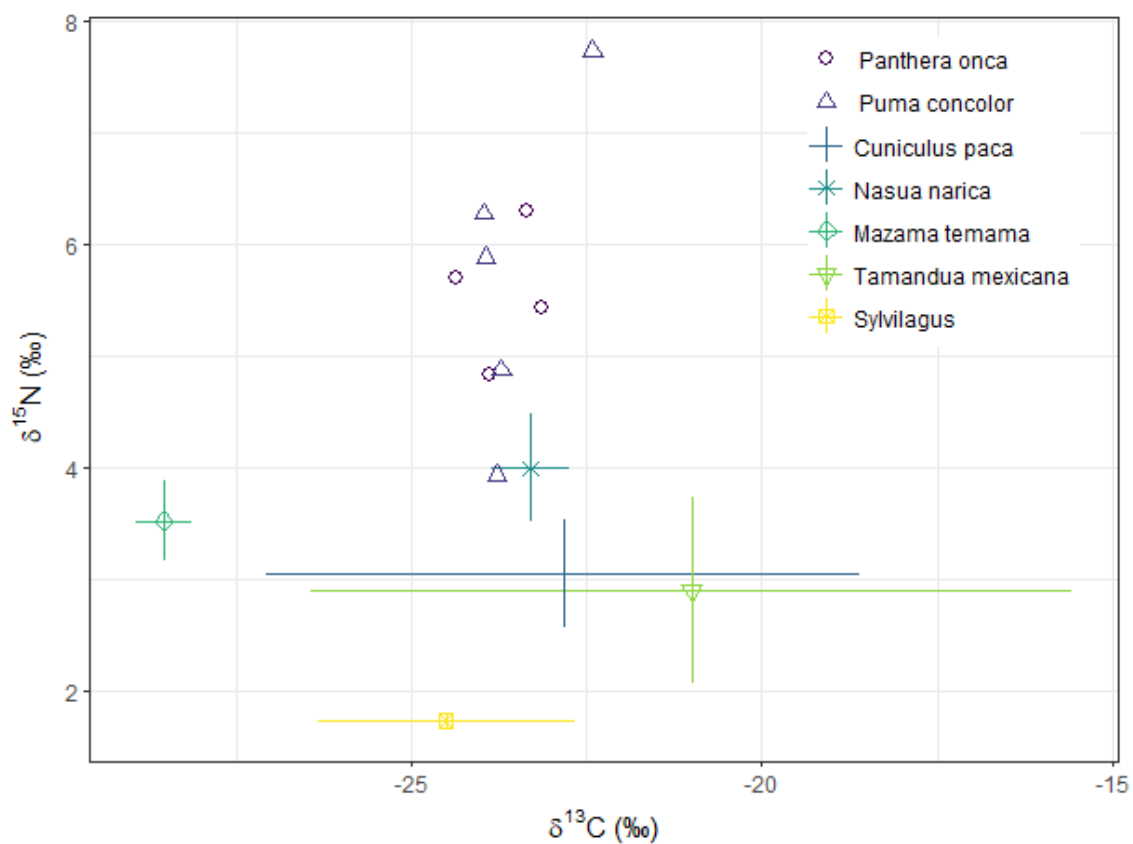


Figura 5. Espacio isotópico de las muestras de pelo de los depredadores (*Panthera onca* y *Puma concolor*) y de las presas de las cuales consumen una mayor biomasa relativa, en el cual se representa el promedio y la desviación estándar.

Estos valores isotópicos corregidos con el factor de enriquecimiento trófico se utilizaron para crear el espacio isotópico de las fuentes (presas) y la mezcla (depredador) (Figura 6), en el cual se puede observar que todos los valores de las muestras de jaguar se encuentran dentro del polígono de mezcla definido por las fuentes, lo cual indica que los datos son factibles para poder ejecutar el modelo de mezcla. De igual manera en la Figura 6 se observa que los valores isotópicos de jaguar se encuentran muy cercanos a los valores isotópicos de *M. temama*, lo que podría indicar que es la presa que mas contribuye a la dieta de este felino.

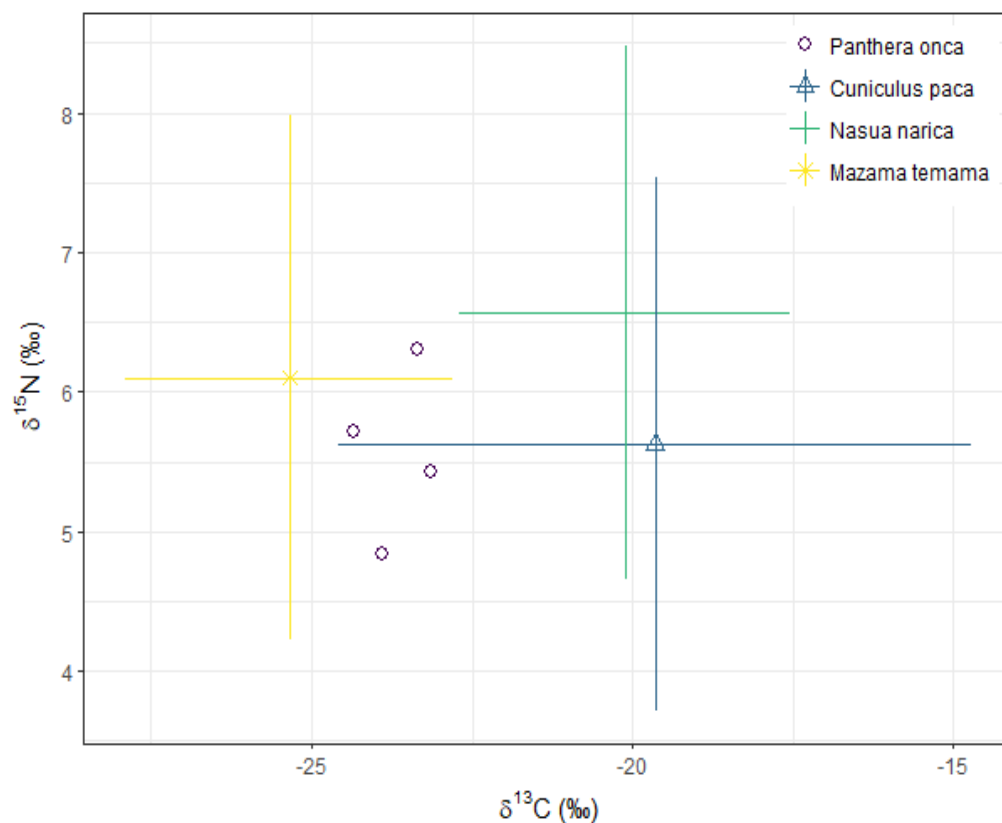


Figura 6. Espacio isotópico con los valores de las proporciones isotópicas corregidas con los factores de enriquecimiento trófico para las tres fuentes de jaguar.

Posteriormente con los datos de las correlaciones entre las fuentes se observa que no existe una fuerte correlación negativa entre estas (Cuadro 6), por lo que cada una podrá ser diferenciada por el modelo y no habrá problemas de agregación, permitiendo de esta manera que el modelo estime más eficazmente las contribuciones de cada una en la dieta del jaguar.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre las tres fuentes de alimento de jaguar. Con una dignificancia del 0.05.

	<i>C. paca</i>	<i>N. narica</i>	<i>M. temama</i>
<i>C. paca</i>	1		
<i>N. narica</i>	-0.33	1	
<i>M. temama</i>	-0.57	-0.59	1

Al ejecutar los modelos de mezcla y evaluar la convergencia con el diagnóstico de Gelman se obtuvieron valores de uno por lo que se concluye que hubo un buen ajuste (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores del índice de convergencia (obtenidos con el diagnóstico de Gelman) del modelo de mezcla de *Panthera onca*.

Fuente	Índice de Gelman
<i>Cuniculus paca</i>	1.00
<i>Nasua narica</i>	1.00
<i>Mazama temama</i>	1.00
Carbono	1.00
Nitrógeno	1.03

El modelo de mezcla indica que *Mazama temama* tiene una mayor contribución a la dieta del jaguar con el 45.5 %, seguido de *Nasua narica* con el 28.2% y por ultimo *Cuniculus paca* con el 26.3% (Figura 7).

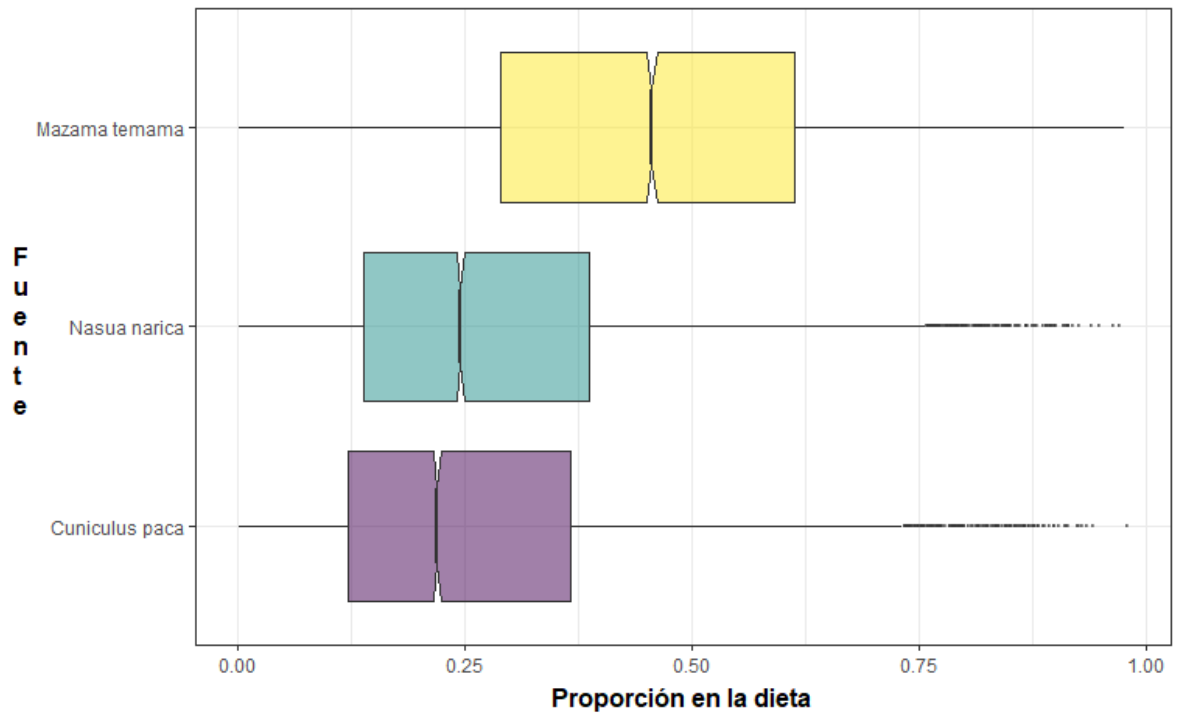


Figura 7. Caja con bigotes donde se muestra la probabilidad de la distribución posterior para las proporciones dietéticas de cada fuente de *Panthera onca*. Los puntos en el bigote derecho representan los valores extremos.

Finalmente con los SIMM también se pueden obtener las posibles combinaciones del orden en el cual las fuentes de alimento aportan más a la dieta de los depredadores y a estos se les asigna un valor de probabilidad (Cuadro 8). En este caso las dos combinaciones con mayor probabilidad indican que el temazate es la especie que tiene un mayor aporte isotópico.

Cuadro 8. Probabilidad del todos los ordenes de proporciones posibles de las presas de jaguar.

Orden	Probabilidad
<i>Mazama temama</i> > <i>Nasua narica</i> > <i>Cuniculus paca</i>	0.3065
<i>Mazama temama</i> > <i>Cuniculus paca</i> > <i>Nasua narica</i>	0.2697
<i>Nasua narica</i> > <i>Mazama temama</i> > <i>Cuniculus paca</i>	0.1460
<i>Cuniculus paca</i> > <i>Mazama temama</i> > <i>Nasua narica</i>	0.1251
<i>Cuniculus paca</i> > <i>Nasua narica</i> > <i>Mazama temama</i>	0.0795
<i>Nasua narica</i> > <i>Cuniculus paca</i> > <i>Mazama temama</i>	0.0732

Por otra parte el ganado muestra valores promedio de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ de -21.46 ± 1.53 ‰ y de 4.82 ± 2.7 ‰ para $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$. Cuando se agregan estos valores al modelo de mezcla de igual manera se obtiene un buen ajuste del modelo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores del índice de convergencia (obtenidos con el diagnóstico de Gelman) del modelo de mezcla para *Panthera onca* incluyendo los valores del ganado bovino (*Bos taurus*).

Fuente	Índice de Convergencia
<i>Cuniculus paca</i>	1.00
<i>Nasua narica</i>	1.00
<i>Mazama temama</i>	1.01
<i>Bos taurus</i>	1.00
Sd_Carbono	1.00
Sd_Nitrógeno	1.00

Con este modelo de mezcla de igual manera quien presenta un mayor aporte a la dieta del jaguar es el temazate con el 40.4%, seguido de *C. paca* con el 22.2%, *N. narica* con el 21.5% y el ganado únicamente con el 15.8%, lo que indica que si están siendo consumido por este felino, sin embargo, no es una presa importante que contribuya mucho a su dieta (Figura 8).

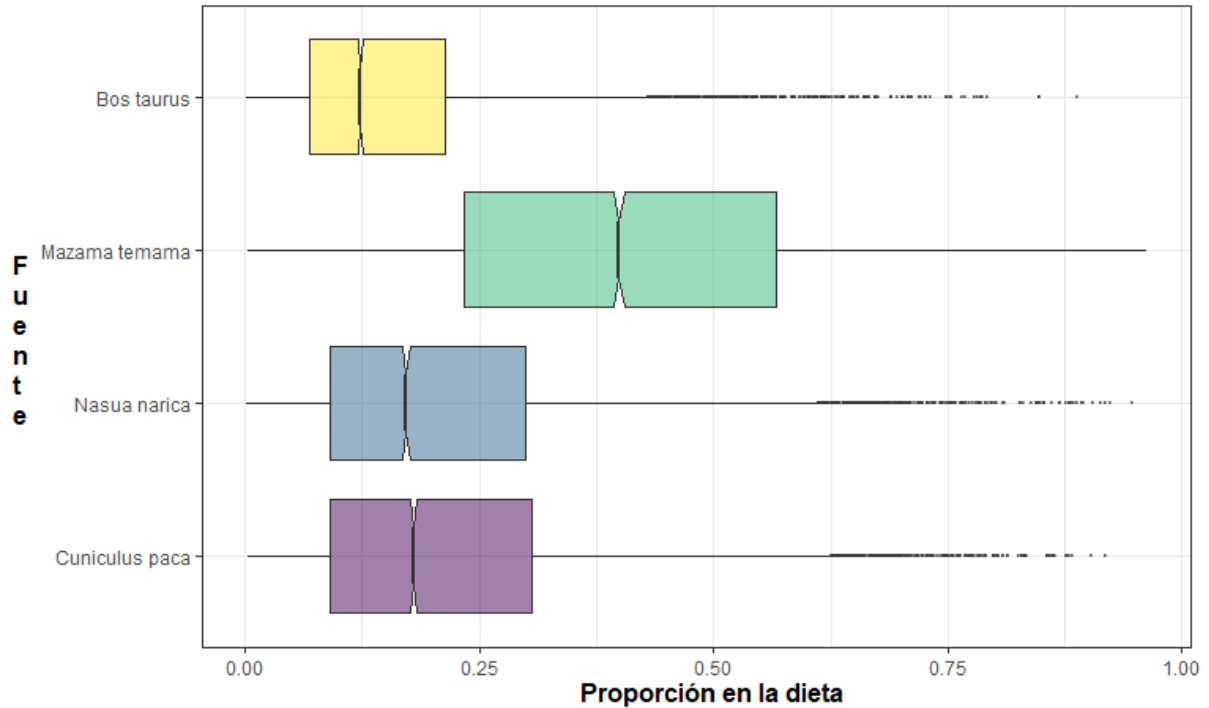


Figura 8. Caja con bigotes donde se muestra la probabilidad de la distribución posterior para las proporciones dietéticas de cada fuente de jaguar incluyendo el ganado bovino (*Bos taurus*).

Finalmente se obtuvieron los porcentajes de Carbono y Nitrógeno, que indican que *C. paca* y *M. temama* poseen mayor contenido de proteínas y aportan más energía ya que tienen una mayor concentración de Nitrógeno y Carbono (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las muestras de pelo de jaguar y sus tres presas analizadas.

Especie	% de Carbono		% de Nitrógeno	
	Media	DS	Media	DS
<i>Panthera onca</i>	43.56	0.75	14.58	0.26
<i>Cuniculus paca</i>	44.70	0.49	14.68	0.21
<i>Nasua narica</i>	42.72	0.45	14.45	0.13
<i>Mazama temama</i>	44.23	0.88	14.65	0.42

De igual manera se obtuvieron los porcentajes de Carbono y Nitrógeno para las muestras de ganado, las cuales presentan un promedio de $42.9 \pm 1.9\%$ y $14.2 \pm 0.6\%$ respectivamente.

PUMA

Los valores isotópicos de de las muestras de pelo de *P. concolor* presentan un promedio de $-23.56 \pm 0.65\text{‰}$ para los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y de $5.75 \pm 1.43\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$.

De manera conjunta los valores isotópicos de las muestras de pelo de las presas de puma presentan un promedio de $-24.46 \pm 4.98\text{‰}$ para los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, mientras que para los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ el promedio es de $2.9 \pm 0.86\text{‰}$. De manera específica el temazate presenta los valores más empobrecidos en $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ y el oso hormiguero los más enriquecidos. Ocurre lo contrario con los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, ya que el temazate presenta los valores mas enriquecidos, mientras que los conejos los valores más empobrecidos (Cuadro 11, Figura 5).

Cuadro 11. Valores promedio y desviación estándar (SD) de las relaciones isotópicas de los pelos de las tres presas de las cuales el puma consume una mayor biomasa relativa.

Fuente	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} (\text{‰})$		$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} (\text{‰})$	
	Media	SD	Media	SD
<i>Mazama temama</i>	-28.52	0.39	3.53	0.35
<i>Tamandua mexicana</i>	-20.98	5.42	2.91	0.83
<i>Sylvilagus sp.</i>	-24.5	1.84	1.74	0.05

Con los valores isotópicos (corregidos con el factor de enriquecimiento trófico) del puma y sus presas se representa gráficamente el espacio isotópico (Figura 9), en el cual se observa que los valores de las muestras de puma se encuentran muy cercanas a los valores de *M. temama* y al igual que en el caso del jaguar, esto podría indicar que es la especie que más contribuye a la dieta de este felino.

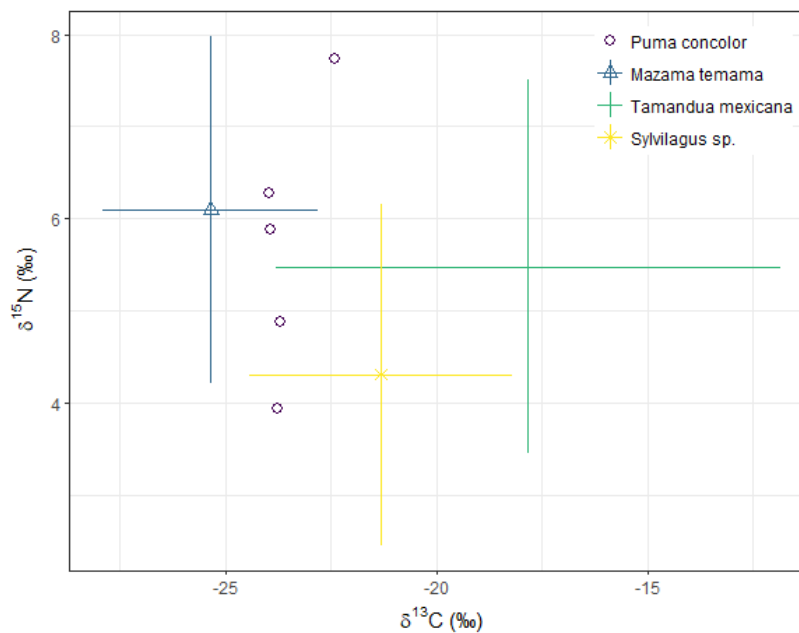


Figura 9. Espacio isotópico con los valores corregidos con los factores de enriquecimiento trófico de las tres presas de puma.

Posteriormente se analizó si existían problemas de agregación de las fuentes calculando las correlaciones entre estas (Cuadro 12). En este caso se observa que *M. temama* y *Sylvilagus* muestran una fuerte correlación negativa, lo que indica que el modelo no podrá distinguir entre estas dos fuentes, por lo que se agrupan en una fuente, a la cual se le llamo Hervivoros y con estos nuevos datos, se realiza el modelo de mezcla.

Cuadro 72. Coeficientes de correlación entre las tres fuentes de alimento de puma. Significancia del 0.05.

	<i>M. temama</i>	<i>T. mexicana</i>	<i>Sylvilagus</i> sp.
<i>M. temama</i>	1		
<i>T. mexicana</i>	-0.48	1	
<i>Sylvilagus</i> sp.	-0.72	-0.27	1

El modelo de mezcla convergíó correctamente, ya que el diagnóstico de Gelman muestra valores cercanos a uno (Cuadro 13). Este modelo indica que los Hervivoros tienen la mayor contribución en la dieta con el 79.6%, mientras que *T. mexicana* únicamente contribuye con el 20.4% (Figura 11).

Cuadro 13. Valores del índice de convergencia (obtenidos con el diagnóstico de Gelman) del modelo de mezcla de *Puma concolor*.

Fuente	Índice de Gelman
Hervivoros	1.00
<i>Tamandua mexicana</i>	1.00
Carbono	1.00
Nitrógeno	1.01

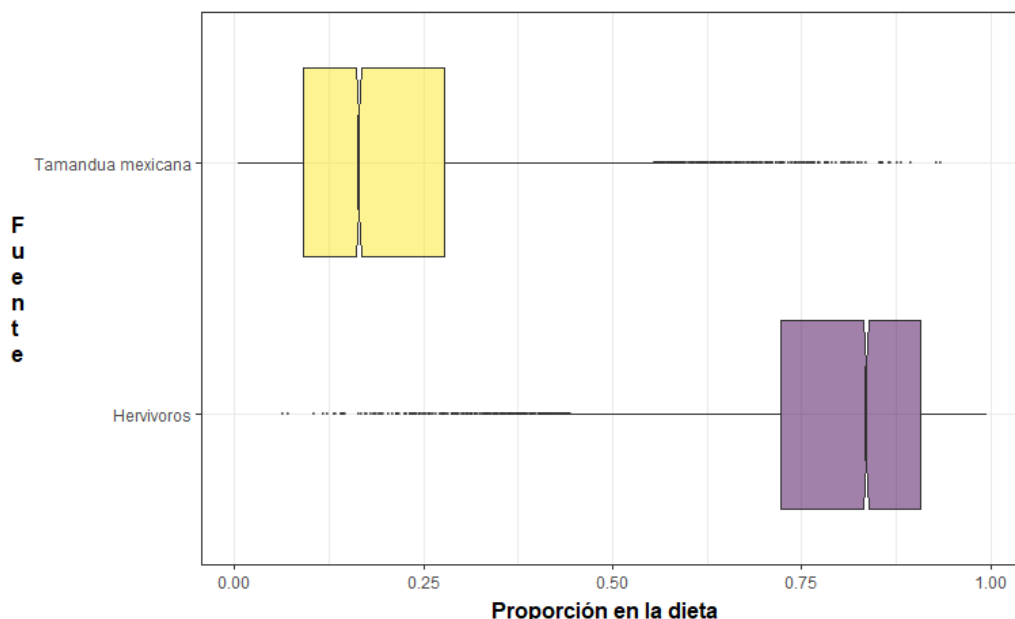


Figura 10. Caja con bigotes donde se muestra la probabilidad de la distribución posterior de las proporciones dietéticas de los Hervivoros (*M. temama* y *Sylvilagus* sp.) y de *T. mexicana* en la dieta de puma. Los puntos en los bigotes representan los valores extremos de las proporciones.

Con estos datos se obtuvo la probabilidad del orden en el cual las especies aportan más a la dieta del depredador con las diferentes combinaciones posibles. En este caso únicamente son posibles dos combinaciones y aquella en la cual los Hervivoros tienen una mayor contribución tiene la mayor probabilidad (94%) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Probabilidad de todos los ordenes de proporciones posibles de las fuentes de puma.

Orden	Probabilidad
Hervivoros > <i>Tamandua mexicana</i>	0.946
<i>Tamandua Mexicana</i> > Hervivoros	0.054

Cuando se agregan los valores del ganado al modelo de mezcla, el diagnostico de Gelman indica que también se obtiene una buena convergencia (Cuadro 15). Al igual que en el modelo anterior, los Hervivoros aportan más a la

dieta del puma con el 54.9 %, seguido de *Tamandua mexicana* con el 24 % y *Bos taurus* con el 21.2%, lo cual indica que esta consumiendo ganado en mayor proporción que el jaguar (Figura.12).

Cuadro 15. Valores del índice de convergencia (obtenidos con el diagnóstico de Gelman) del modelo de mezcla para *Puma concolor* incluyendo los valores del ganado bovino (*Bos taurus*)

Fuente	Índice de Convergencia
Hervivoros	1.00
<i>Tamandua mexcana</i>	1.00
<i>Bos taurus</i>	1.01
Sd_ Carbono	1.01
Sd_Nitrógeno	1.00

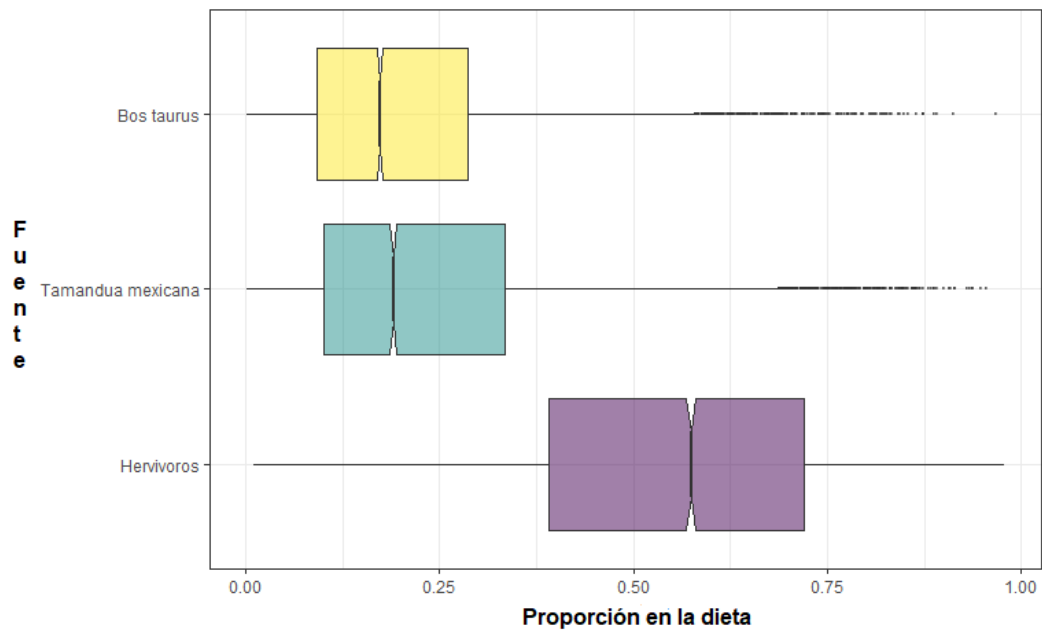


Figura 11. Caja con bigotes donde se muestra la probabilidad de la distribución posterior para las proporciones dietéticas de cada fuente de puma incluyendo el ganado bovino (*Bos taurus*).

De igual manera con los análisis de isótopos estables, se determinó el porcentaje de Carbono y Nitrógeno que contenían las muestras de pelo. Para el caso de puma y sus presas, los conejos y los temazates presentan mayor porcentaje de Carbono, lo que indica que tienen mas contenido energético, mientras que *Tamandua mexicana* posee los mayores porcentajes de Nitrógeno, lo que indica que estos organismos poseen mayor contenido de proteínas (Cuadro 12).

Cuadro 16. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las muestras de pelo de puma y sus tres presas analizadas.

Especie	% de Carbono		% de Nitrógeno	
	Media	DS	Media	DS
<i>Puma concolor</i>	44.08	0.99	14.74	0.21
<i>Mazama temama</i>	44.23	0.88	14.65	0.42
<i>Tamandua mexicana</i>	44.34	0.11	15.12	0.21
<i>Sylvilagus</i>	44.7	0.42	14.9	0

DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE EXCRETAS

JAGUAR

El jaguar es considerado de manera general como un depredador oportunista, es decir que su dieta dependerá del número y de la disponibilidad de sus presas por lo que la composición de esta dependerá del ambiente en el que se encuentre. Hasta el momento se han llegado a reportar más de 85 especies que este gran felino incluye en su alimentación, las cuales van desde invertebrados hasta grandes mamíferos como el tapir (Ceballos & Oliva 2005).

En el este estudio se identificaron 17 especies que forman parte de la dieta del jaguar y a diferencia de la mayoría de los estudios realizados para esta especie (Taber *et al.* 1997, Garla *et al.* 2001, Cascelli de Azevedo & Lewis 2007) (Foster *et al.* 2009, Rueda *et al.* 2013) el 100% de las presas son mamíferos y básicamente especies de tallas media y grande. Esto puede deberse a que en la zona de estudio se encuentra una gran diversidad de especies de este grupo, aproximadamente de 30, lo cual pudo ser observado por las cámaras trampa colocadas en el área de estudio de manera conjunta con el presente proyecto.

Aunque el jaguar consume presas de ambas tallas, media y grande, las primeras representan el mayor porcentaje, tanto en la riqueza (76.5%) como en la biomasa relativa consumida (74.3%), lo cual muestra la importancia de estas presas para éste gran felino en el área de estudio.

De forma específica las especies de las cuales el jaguar consume una mayor biomasa son *C. paca* (21.22%), *N. narica* (11.81%) y *M. temama* (10.35%), de manera conjunta, estas podrían considerarse las especies más importantes, ya que constituyen cerca del 50% de la biomasa relativa consumida. Anteriormente estas tres especies ya se habían reportado como presas comunes e importantes en la dieta de *P. onca* a lo largo de su distribución (Chinchilla 1997, Núñez *et al.* 2000, Garla *et al.* 2001, Novack *et al.* 2005, Foster *et al.* 2009, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015, Weckel *et al.* 2006).

En la zona de estudio se infiere que el consumo de estas especies se hace en función de su abundancia, ya que Ceballos & Oliva (2005) mencionan que en zonas tropicales (como nuestra área de estudio), los temazates, tejones y tepezcuintles son abundantes, lo cual se ha podido corroborar con las trampas cámara ubicadas en el área de estudio. Esto indica que el jaguar en la sierra norte de Oaxaca también se está comportando como un depredador oportunista.

Además de la abundancia se sugiere que hay otros factores que están influyendo en la elección de las presas, ya que en la zona de estudio el jabalí (*Pecari tajacu*), también es una especie abundante y considerada como una especie preferida por el jaguar (Moreno 2008, Rueda *et al.* 2013, Scognamillo *et al.* 2003, Aranda & Sánchez-Cordero 1996), sin embargo en el presente trabajo esta especie solo representó el 4.18% de la biomasa relativa consumida, lo cual puede estar relacionado con su comportamiento y dificultad para capturarlo, ya que esta especie presenta grandes colmillos con los cuales ataca, además de que suele desplazarse en mandas (Ceballos & Oliva 2005), lo que dificulta a los depredadores cazarlos (Gompper 1996).

Otro factor que influye en la elección de las presas es el contenido energético de estas (Gómez-Ortiz *et al.* 2011) y en la zona de estudio también este factor puede estar influyendo, ya que *C. paca* es la especie que presenta un mayor porcentaje de carbono (medida indirecta del contenido energético) y nitrógeno (medida indirecta del contenido de proteínas).

Lo observado en la zona de estudio indica que la elección de las presas por el jaguar es concordante con las predicciones de la teoría del forrajeo óptimo (Aranda 2002), la cual supone que los depredadores eligen a las presas más rentables, que en el caso de los felinos son las que presentan una mayor abundancia y son más fáciles de capturar y que además proporcionen una mayor cantidad de energía. En este caso la presa más rentable para el jaguar es el tepezcuintle.

Dentro de la dieta de jaguar cabe resaltar la detección de una presa: el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), ya que es una especie que se encuentra catalogada como En Peligro de Extinción (García *et al.* 2016), debido a la reducción drástica de sus poblaciones. Aunque en la zona de estudio no se ha registrado la presencia de esta especie, si se ha reportado en una zona relativamente cercana (Lavariega *et al.* 2013), aproximadamente a unos 25 km al sureste de donde se encontró la excreta de jaguar que contenía pelos de este mamífero, esta distancia fácilmente es recorrida por jaguares, ya que estos organismos en promedio llegan a desplazarse 2.4 km diarios, sin embargo los machos llegan a moverse hasta 10.4 km diarios (Crawshaw & Quigley 1991).

Con esta detección también se puede suponer que el tapir se encuentra en el área de estudio, por lo que se destaca la importancia de seguir haciendo estudios para el monitoreo de la fauna silvestre en sitios inexplorados, ya que aunque en el municipio de Santiago Comaltepec se han hecho una gran cantidad de estudios, aún cuenta con lugares que no han sido explorados ni siquiera por los propios habitantes del lugar.

La amplitud de nicho estandarizado para el jaguar es de 0.52, lo que indica que este depredador tiene una tendencia a ser generalista, esto es un reflejo de la número de especies que forman parte de su dieta y la proporción en que hace uso de ellas, ya que no se observó que consumiera una gran cantidad de un número mínimo de especies, más bien consume poco de muchas de ellas. La amplitud de nicho para jaguar en otras zonas generalmente presentan un valor cercano al 0.5 (Cascelli de Azevedo 2008, Scognamillo *et al.* 2003, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015)

PUMA

En los trópicos el área de actividad de puma se traslapa con la del jaguar y generalmente el jaguar es dominante, provocando que el puma ajuste sus movimientos para evitar la competencia (Ceballos & Oliva 2005), aunado a esto el comportamiento que presenta el puma de cubrir sus excretas dificulta la detección

de estas. Estos factores pudieron influir en la colecta de las muestras, ocasionando que se encontrara un número mayor de excretas de jaguar.

Con las excretas analizadas se identificó a 12 especies que forman parte de la dieta del puma, sin embargo se estima que este número puede ser mayor, debido a que el modelo de Dependencia Lineal, indica que falta registrar aproximadamente la mitad de las especies que forman parte de la dieta de este felino.

Al igual que para el jaguar, las 12 especies presa identificadas pertenecen a la clase Mammalia, lo cual también difiere con la mayoría de los estudios realizados a lo largo de su distribución, ya que en ellos se han encontrado aves (Hass 2009, Hernández-Guzmán *et al.* 2011, Fernández & Baldi 2014) y reptiles (Emmons 1987) (Gómez-Ortiz & Monroy-Vilchis 2013) como parte de su dieta, aunque en una menor proporción comparado con los mamíferos.

A diferencia del jaguar, el puma también consume presas de talla pequeña, patrón comúnmente observado cuando se encuentran intercтуando en un mismo espacio estas dos especies de depredadores (Taber *et al.* 1997, Núñez *et al.* 2000, Cascelli de Acevedo 2008, Antonio de la Torre & Rivero 2017). Las presas de talla pequeña junto con las presas de talla media representan la mayor riqueza de la presas consumidas por este felino, con el 41.6% y 41.7% respectivamente, sin embargo las presas de talla corporal pequeña únicamente contribuyen con el 23.7% de la biomasa relativa consumida, por el contrario las presas de talla media contribuyen con el 50.1%, mostrando así que también esta categoría es de gran importancia para el puma igual que para el jaguar.

En este caso debido al número bajo de excretas analizadas no se observa claramente la preferencia por alguna especie, sin embargo, *M. temama*, *T. mexicana* y *Sylvilagus* sp., son las especies de las cuales el puma consume una mayor biomasa, en conjunto representan casi el 50% del total de la biomasa relativa consumida.

Aunque son pocas las muestras, los resultados son un reflejo de lo que se podría obtener con un mayor número de excretas. Estos resultados concuerdan con

lo observado en otros estudios donde se menciona que los cervidos son las presas preferidas del puma (Cascelli de Azevedo 2008, Estrada-Hernández 2008, Aranda & Sánchez-Cordero 1996, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015). Como se mencionó anteriormente, la elección de *M. temama* puede estar en función de su disponibilidad, ya que es una de las más abundantes en la zona de estudio, lo cual puede estar favoreciendo que ambos depredadores la estén seleccionando. Al ser una presa de la cual ambos depredadores consumen una mayor biomasa, puede generar competencia entre estos, sin embargo, al parecer el puma y el jaguar la evitan cazando a la especie en diferentes sitios (asumiendo que la localización de la excreta puede indicar el lugar cercano a donde fue cazada la presa), ya que las excretas de puma donde se encontraron restos de temazate fueron en la excreta 2 y 4, ubicadas al suroeste de donde se encontraron todas las demás excretas de jaguar (Figura 2).

A pesar de que la teoría anterior se cumpla, se considera relevante estimar la densidad de esta presa en la zona de estudio y los requerimientos de cada depredador para conocer si esta selección puede llegar a la competencia debido a que el recurso no sea lo suficientemente abundante para ambos depredadores.

La segunda presa de la cual el puma consume una mayor biomasa es del oso hormiguero, especie de la cual no se tienen muchos registros en la zona, lo cual muy probablemente se deba a los hábitos arborícolas que presenta, por lo que se desconoce si es una especie abundante, sin embargo se cree que la elección de esta presa se hace por la cantidad de proteína que proporciona, debido a que posee los valores más altos del porcentaje de nitrógeno.

De igual manera en la zona, los conejos forman parte importante de las presas del puma, representando el 13.77% de la biomasa relativa consumida. Estos organismos son comunes en la dieta de este felino, sin embargo casi nunca son de las presas que más consume (Hernández-Guzmán *et al.* 2011, Fernández & Baldi 2014, Montalvo *et al.* 2007) y aunque puede ser un efecto del número de excretas analizadas, también se ha documentado que estas especies representan una fuente alternativa de alimento cuando son abundantes. En el área de estudio y

particularmente en los bosques de coníferas se han obtenido diversos registros de conejos, lo que indica que también es una especie abundante. Además esta especie es la que contiene un mayor contenido energético, peculiaridad por la cual también puede estar siendo seleccionada.

Al analizar la amplitud del nicho trófico de puma se obtuvo un valor de 0.69 lo que indica que es una especie generalista. Este valor es mayor que el de jaguar, indicando que el puma es una especie más generalista, patrón que se ha en diversos estudios donde se analiza el nicho trófico de estas especies en simpatria (Taber *et al.* 1997, Scognamillo *et al.* 2003, Cascelli de Azevedo 2008, Foster *et al.* 2009, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015). Aunque en nuestra área de estudio el puma consume menos especies presas que el jaguar, la mayor amplitud de nicho se debe a que consume en proporciones similares todas las especies que forman parte de su dieta, sin mostrar preferencia por una o varias especies. Sin embargo es importante mencionar que este patrón puede ser resultado de la cantidad de muestras analizadas, por lo que se sugiere analizar una mayor cantidad de excretas.

TRASLAPE DE NICHO

Se ha sugerido que cuando el paisaje está fragmentado y hay poca disponibilidad de presas, la superposición entre los nichos de dos grandes depredadores será alta (Hérendez-SaintMartín *et al.* 2015). En la zona de estudio se observó que el traslape del nicho de puma y jaguar es intermedio, con un valor de 0.46, por lo que se sugiere que existe una gran diversidad de presas potenciales en la zona de estudio, a pesar de que presenta una zona altamente fragmentada donde predominan potreros y zonas de cultivo. Esta cantidad de presas se ha observado con las cámaras trampa donde se tiene el registro de al menos 28 especies de mamíferos de talla media y grande que pueden ser presas potenciales de estos grandes felinos, sin contar las aves y los reptiles.

El valor intermedio de superposición entre los nichos puede deberse a que ambos felinos consumen diferentes presas compartiendo únicamente seis de ellas (*M. temama*, *P. tajacu*, *U. cinereoargenteus*, *T. mexicana*, *C. paca*, *D. mexicana*),

además como se observó, el puma consume presas de talla corporal pequeña, mientras que el jaguar tiende a consumir presas de talla grande. Con lo anterior se sugiere que en el área de estudio la coexistencia entre estas dos especies es posible debido a la segregación de los recursos alimentarios (Estrada-Hernández 2008, Hernández-SaintMartín *et al.* 2015).

La selección del tipo y tamaño de presas se basa también en las características morfológicas de los depredadores. Se ha documentado que los depredadores que se especializan en presas grandes (como el jaguar) presentan características morfológicas especiales, como un cráneo grande, boca ancha, caninos fuertes y pueden abrir la boca con un mayor ángulo con respecto a aquellas que consumen presas de talla pequeña. Por el contrario, los depredadores que se especializan en presa de talla corporal pequeña presenta caninos pequeños, boca estrecha y una mandíbula larga, lo que les proporciona una mayor fuerza de mordida y permite que capturen presas ágiles. El puma por su parte presenta características intermedias lo que le permite cazar presas de ambas clases (Antonio de la Torre & Rivero 2017).

Las características morfológicas del puma le proporcionan una ventaja, ya que su espectro de presas es más amplio, además de que consumir presas pequeñas lo hace más tolerante a los cambios en el hábitat (Chinchilla 1997), y se ha documentado que la persistencia de los grandes felinos depende de su habilidad para adaptarse a áreas perturbadas y realizar cambios en su dieta (Foster *et al.* 2009). Esto puede ser observado con la distribución actual de estos grandes felinos, ya que el área de distribución del jaguar se ha reducido en un 66%, distribuyéndose actualmente desde Sonora, sobre las costas del país hasta el norte de Argentina (Ceballos *et al.* 2006), mientras que el puma se distribuye prácticamente por todo el continente americano, desde Canadá, hasta el Sur de Chile. (Nielsen *et al.* 2015).

Como se mencionó anteriormente el número de especies que habitan en el área de estudio, puede ser uno de los factores más importantes para que el puma y el jaguar sigan coexistiendo en la zona, además la abundancia de estas determinara que estos felinos depreden o no el ganado, ya que se ha documentado

que cuando las especies silvestres disminuyen su abundancia, aumenta la frecuencia de depredación hacia el ganado (Cascelli de Acevedo 2008, Amador-Alcalá *et al.* 2013). La depredación hacia este tipo de especies ha generado conflictos con los humanos, los cuales han resuelto cazando a estos grandes carnívoros reduciendo drásticamente tanto el número como el tamaño de sus poblaciones (Leopold 2000).

En el presente trabajo con el análisis de excretas no se identificaron restos de ganado, sin embargo se sabe que no es posible coleccionar todas las excretas que generan los depredadores, motivo por el cual pudo no haber sido registrado este tipo de presa aún cuando hubiera habido depredación.

ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

JAGUAR

Observando las firmas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ de las presas de jaguar analizadas y aplicando los factores de enriquecimiento trófico para los herbívoros (*C. paca* y *M. temama*) de 3.5‰ (Roth & Hobson, 2000) (Parng *et al.* 2014) y para los omnívoros (*N. narica*) de 2.4‰ (Panarello & Fernández 2002), los valores de estas especies presa se encuentran entre los -26.3‰ y -32‰, valores característicos de las plantas C3 (25 a -29‰) (O'Leary 1988).

Estos valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ concuerdan con el tipo de dieta que se ha registrado para estas especies, ya que *C. paca* es considerado un herbívoro, especializado en la frugívoría y cuyas frutas preferidas son: plátano (*Musa paradisiaca*), coco (*Cocos nucifera*) y cacao (*Theobroma cacao*) (Beck-King & Helversen 1999, Muñoz *et al.* 2002), especies que también se encuentran presentes en el sitio de estudio. Por su parte los tejones son considerados especies omnívoras sin embargo dentro de su dieta las frutas son las preferidas (Redford & Mac Lean, 1993) (Valenzuela, 1998) y para el caso del temazate se ha reportado que su dieta consta principalmente de herbáceas y arbustos las cuales también son plantas de tipo C3 (Villarreal-Espino-Barros *et al.* 2008)

Para el caso de los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, *N. narica* presenta los valores más enriquecidos, lo cual puede estar influenciado por el tipo de alimentación que posee, ya que este es una especie onnivora y los artrópodos son su segundo alimento más importante, los cuales proporciona una fuente de proteínas más, en comparación con las otras dos especies que son estrictamente hervioras. (Redford & Mac Lean 1993, Valenzuela 1998).

Es importante mencionar que para *C. paca*, *N. narica* y *M. temama* son los primeros valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ que se reportan, sin embargo para el caso de *M. temama* se han reportado valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ para otra especie de cervido: el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) (Nájera-Hillman & Mandujano 2013). Comparando los valores isotópicos de *O. virginianus* y *M. temama* se observa que los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ del temazate son muy similares a los reportados por Nájera-Hillman & Mandujano (2013) ($-29.98 \pm 0.65\text{‰}$) Esto puede deberse a la gran similitud que hay entre las dietas de estas especies (Villarreal-Espino-Barros *et al.* 2008)

Para el caso de los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (Nájera-Hillman & Mandujano 2013) reportan que *O. virginianus* muestra valores muy empobrecidos ($-0.74 \pm 0.55\text{‰}$) a diferencia de lo reportado en este estudio, lo cual puede ser un efecto de tipo de ambiente donde se desarrollan las especies, ya que se ha documentado que los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ en el follaje y el suelo son significativamente más altos en los bosques tropicales que en los bosques templados, esto debido a que el Nitrógeno es más abundante en los bosques tropicales húmedos (Martinelli *et al.* 1999).

De igual manera que para las presas, los valores isotópicos de jaguar son los primeros reportados para esta especie y principalmente en vida libre, ya que los valores reportados para otros grandes felinos (Parng *et al.* 2014, Montanari & Amato 2015) son de organismos que se encuentran en cautiverio y cuya dieta esta totalmente controlada por el humano.

Al realizar los modelos de mezcla se observa que la presa que contribuye más a la dieta del jaguar es *M. temama*, seguida de *N. narica* y finalmente *C. paca*, el resultado de esta contribución puede estar influenciado por el la contenido de

proteínas y contenido energético que aporta el temazate, haciendo que sea la especie que más se asimile.

Tanto el consumo como la contribución de cada una de las presas se ve reflejado en los valores isotópicos del jaguar, ya que los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ son característicos de las plantas C3, es decir que la base de la cadena trófica para esta especie son este tipo de plantas. De igual manera se observa que los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ se encuentran muy empobrecidos comparados con los valores de otras especies de grandes felinos (Magioli *et al.* 2014, Parnig *et al.* 2014), lo cual puede estar en función del tipo de presa que consume y asimila, ya que como lo muestra el modelo de mezcla, la especie que tiene una mayor contribución es un herbívoro, la cual no tiene fuente de entrada de proteínas animales, como en el caso de los omnívoros.

Al incorporar los valores isotópicos del ganado al modelo de mezcla se observa que si presenta un aporte a la dieta del jaguar, lo que indica que si se está consumiendo este tipo de presas, sin embargo muestra una clara preferencia por las presas silvestres, ya que el ganado no tiene una gran contribución a la dieta del jaguar, por lo que se sugiere que el consumo de esta especie es ocasional.

PUMA

De igual manera que para las presas de jaguar, los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ de las presas de puma explican el tipo de dieta que tienen estas especies. Cuando a estos valores se les aplican los factores de enriquecimiento trófico para omnívoros 2.4‰ (*T. maxicana*) o para herbívoros 3.5‰ (*Sylviagus* sp. y *M. temama*), los valores para las especies presa fluctúan entre los -23.38 y -32‰, valores característicos de las plantas C3 (O'Leary 1988).

El caso de *M. temama* ya fue explicado anteriormente, sin embargo para el caso de los conejos, se ha reportado que su dieta se basa principalmente en los pastos (Valero & Durant 2001). Este tipo de plantas principalmente son del tipo C4, sin embargo también hay del tipo C3 y de acuerdo con las firmas isotópicas que

presentan las muestras de pelo de estos organismos, se observa que hay una preferencia por las especies que son del tipo C3. Las firmas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ que presentan los conejos concuerdan con lo reportado en la literatura para otra especie de lagomorfo: *Oryctolagus cuniculus*, quien muestra valores de -23.7‰ (Sponheimer *et al.* 2003b) y de -28.18‰ (Andriuzzi & Schmidt 2014).

Por otra parte los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ observados en las muestras de pelo de las especies presa de puma, los conejos son quienes presenta los valores más empobrecidos lo cual puede ser el resultado de dos factores: el tipo de alimentación y el ambiente donde se desarrolla. El tipo de alimentación porque al ser un hervívoro estricto no tiene otras fuentes que le proporcionen proteínas, y el tipo de ambiente porque las muestras de excretas donde se encontraron los pelos de este mamífero se ubican en los bosques de coníferas, ambientes empobrecidos en los isotopos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (Martinelli *et al.* 1999). Para el caso de los valores de *Tamandua mexicana*, se observó que son más enriquecidos que los de *Sylvilagus* sp. Esto porque la dieta de los osos hormigueros se basa en hormigas y termitas (Morales-Sandoval 2010), las cuales proporcionan una fuente de proteína animal para esta especies.

Cuando se realizan los modelos de mezcla se observa que los valores isotópicos de *M. temama* y *Sylvilagus* sp. son muy similares, por lo que se agrupan en una sola fuente, aquí designada Hervívoros, que contribuye con más del 75% en la dieta de este felino. Mostrando aún más la importancia de estas especies, principalmente la del temazate, ya que tanto para el jaguar como para el puma es la especie que más aporta a la dieta.

Al igual que el jaguar, los valores isotópicos del puma son un reflejo de las presas que consume y la contribución de ellas, ya que los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ indican que sus presas se basan en el consumo de plantas C3, mientras que los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ no es muy alto debido a que las presas que mas contribuyen son hervívoros.

Los valores isotópicos del puma ya se han reportado en diversos trabajos a lo largo de su distribución y son muy variables, ya que para $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ estos valores van desde -17‰ hasta -23.6‰ , mientras que para $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ van desde 3.7‰ a 6.6‰

(Panarello & Fernández 2002, Magioli *et al.* 2014). Los valores encontrados en este trabajo ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -23.56 \pm 0.65 \text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} = 5.75 \pm 1.43 \text{‰}$) se encuentran dentro del rango mencionado anteriormente.

Comparando los valores isotópicos de los dos depredadores se observa que ambos tienen valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ similares, esto tal vez es resultado de que sea la misma especie (*M. temama*) la que tenga una mayor contribución a la dieta de ambos felinos. Para el caso de los isótopos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ también son similares entre ambas especies, sin embargo se observa que el puma presenta una mayor variabilidad. Se ha sugerido que esta variabilidad es resultado del consumo de una mayor variedad de fuentes de alimento (Nájera-Hillman & Mandujano 2013). Con el análisis de excretas se identificó que el jaguar consume un mayor número de especies, sin embargo el puma consume una mayor diversidad en cuanto a tamaños y sus presas presentan una mayor variabilidad en cuanto a sus firmas isotópicas principalmente para los isótopos de nitrógeno, estos factores son los que podrían estar determinando la variabilidad de los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ de puma.

Al incluir los valores del ganado a los modelos de mezcla, los Herbívoros siguen siendo la fuente que más contribuye a la dieta del puma, sin embargo se observa que el ganado aporta un porcentaje considerable a su dieta, lo que significa que este felino si se está cazando ganado. Esto puede ser el resultado del manejo que se le da a este tipo de animales domésticos, ya que en la zona donde se encontraron las muestras de pelo de puma el ganado bovino se encuentra libre en el ecosistema, lo que la convierte en una presa disponible. Para el jaguar, el ganado no representó una gran contribución a pesar de que las muestras de pelo de las excretas se encontraron en la zona que cuenta con mayor cantidad de potreros (selva mediana). Probablemente porque no haya consumo de ganado aquí, debido a que también es la zona donde se ha registrado la mayor diversidad de especies de mamíferos silvestres.

CONCLUSIONES

El presente proyecto es una importante aportación a la ecología trófica de los dos grandes depredadores de América: el jaguar y el puma, ya que este se identificó no solamente a las especies de las cuales ingieren una mayor biomasa, sino también de aquellas de las que se asimila más, gracias a la combinación de metodologías convencionales y metodologías novedosas.

Los resultados obtenidos muestran que la elección de las presas por estos depredadores coincide con lo esperado con base en la teoría del forrajeo óptimo donde las presas son seleccionadas por su abundancia, el contenido energético, contenido de proteínas y la facilidad de captura.

En la Sierra norte de Oaxaca se considera que la presa más importante para jaguar y puma es *M. temama*, ya que es una de las presas que más consumen y además es la presa que más se asimila, teniendo una mayor contribución a la dieta de ambos depredadores. Esto se sugiere que se debe al contenido energético y de proteínas que aporta esta especie. Es por ello que es necesario crear planes de manejo para esta especie, en los cuales se podrían incluir la reproducción en cautiverio para el consumo local, evitando así la caza de los organismos silvestres y las posibles disminuciones de sus poblaciones.

LITERATURA CITADA

- Ackerman, B. B., Lindsey, F. G., & Hemker, T. P. (1984). Cougar food habits in Southern Utah. *Journal Wildlife Management*, 48, 147-155.
- Adams, T. S., & Sterner, R. W. (2000). The effect of dietary nitrogen content on trophic level ^{15}N enrichment. *Limnology and Oceanography*, 45(3), 601-607.
- Alfaro, A. M. (2006). Patrones de diversidad de mamíferos terrestres del municipio Santiago Comaltepec, Oaxaca, México. Oaxaca, México.
- Allen, J. M., Coltrain, J., Wilkins, L., Flanagan, S., & Reed, D. L. (2007). Methods of assessing health and diet of Florida panthers (*Puma concolor*) using museum specimens: Part II. Stable isotope geochemistry: a method to evaluate the diet of Florida panthers (*Puma concolor*). *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 47(3), 98-108.
- Amador-Alcalá, S., Naranjo, E. J., & Jiménez-Ferrer, G. (2013). Wildlife predation on livestock and poultry implications for predator conservation in the rainforest of south east Mexico. *Fauna & Flora International*, 47(2), 243-250.
- Andriuzzi, W. S., & Schmidt, O. (2014). Production of rabbit dung triple-labelled with C, N and S stable isotopes. *Pedobiologia-Journal of Soil Ecology*, 2-6. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2014.02.001>
- Antón, J. L., Barrio, J., & Andrés, D. M. (2008). *Física y química* (Cuarta ed.). ESO-Editex.
- Antonio de la Torre, J., & Rivero, M. (2017). A morphological comparison of jaguars and pumas in Southern Mexico. *Therya*, 8(2), 117-122.
- Aranda, J. M. (2012). *Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

- Aranda, J. M., & Sánchez-Cordero, V. (1996). Prey spectra of jaguar (*Panthera onca*) and (*Puma concolor*) in Tropical Forest of Mexico. *Studies of Neotropical Fauna and Environment*, 31(2), 65-67.
- Aranda, J. M. (1994). Importancia de los pecaríes (*Tayyasu* spp.) en la alimentación del jaguar (*Panthera onca*). *Acta Zoológica Mexicana*, 62, 11-22.
- Aranda, M. (2002). La importancia de los pecaríes para la conservación del jaguar. *El jaguar en el nuevo milenio*. (R. A. Medellín, C. Equihua, C. L. Chetkiewicz, P. G. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. H. Redford, . . . A. B. Taber, Recopiladores) Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Auriolles, D., Koch, P., & Burney, J. (2006). Differences in foraging location of mexican and california elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammals Science*, 22(2), 326-338.
- Baca, I. I., & Sánchez-Cordero, V. (2004). Catálogo de pelos de guardia dorsal en mamíferos del Estado de Oaxaca, México. *Anales de Biología*, 75(2), 383-437.
- Barnes, C., Sweeting, C. J., Jennings, S., Barry, J. T., & Polunin, V. C. (2007). Effect of temperature and ratio size on carbon and nitrogen stable isotope trophic fractionation. *Functional Ecology*, 21, 356-362.
- Beck-King, H., & Helversen, O. (1999). Home range, population density, and food resources of Agouti paca (Rodentia: Agoutidae) in Costa Rica: A study using alternative methods. *Biotropica*, 31(4), 675-685.
- Ben-David, M., & Flaherty, E. A. (2012). Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide. *Journal of Mammalogy*, 93(2), 312-328.
- Boitani, L., & Powell, R. A. (2012). *Carnivore ecology and conservation: A handbook of techniques*. (O. Oxford, Ed.) Ilustrada.

- Botello, F., Monroy, G., Iloldi-Rangel, P., Trujillo-Bolio, I., & Sánchez-Cordero, V. (2007). Sistematización de imágenes obtenidas por fototrampeo: una propuesta de ficha. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 207-210.
- Brooks, S. P., & Gelman, A. (1998). General methods for monitoring convergence of iterative simulations. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 7, 434-455.
- Burns, J. M., Trumble, S. J., Castellini, M. A., & Testa, J. W. (1998). The diet of Weddell seals in McMurdo Sound, Antarctica as determined from scat collections and stable isotope analysis. *Polar Biology*, 19, 272-282.
- Burns, R. A. (2003). *Fundamentos de química* (Primera ed.). Pearson Education.
- Busquets, G. R. (2008). Varibilidad de isótopos estables de nitrógeno y carbono en piel de ballena azul (*Balaenoptera musculus*). 84 pp.
- Bustamante-Ho, A., Moreno, R., & Sáenz, J. (2009). Depredación de un pizote (*Nasua narica*) por una puma (*Puma concolor*) en el Sureste de la Península de Osa, Costa Rica. *Acta Biologica Panamensis*, 1, 39-45.
- Caselli de Azevedo, F. C. (2008). Food habits and livestock depredation of sympatric jaguars and pumas in the Iguacu National Park Area, South Brazil. *Biotropica*, 40(4), 494-500.
- Caselli de Azevedo, F. C., & Lewis, D. (2007). Spatial organization and food habits of jaguars (*Panthera onca*) in a floodplain forest. *Biological Conservation*, 137, 391-402.
- Caso, A., López-González, C., Payan, E., Eizirik, E., De Oliveira, T., Leite-Pitman, R., . . . Vladerrama, C. (2008). *Panthera onca*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2014.3. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de <http://www.iucnredlist.org>
- Castro-Arellano, I., Madrid-Luna, C., Lacher, T. E., & Leónpaniagua, L. (2008). Hair-trap efficacy for detecting mammalian carnivores in the tropics. *Journal of Wildlife Management*, 72, 1405-1412.

- Caut, S., Angulo, E., & Courchamp, F. (2008a). Discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$) in an omnivorous consumer: effect of diet isotopic ratio. *Functional Ecology*, 22, 255-263.
- Caut, S., Angulo, E., & Courchamp, F. (2008b). Caution on isotopic model use for analyses of consumer diet. *Canadian Journal of Zoology*, 86, 438-445.
- Caut, S., Angulo, E., & Courchamp, F. (2009). Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology*, 46, 443-453.
- Ceballos, G., & Arroyo-Cabrales, J. (2012). Lista actualizada de los mamíferos de México 2012. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 2(2), 27-80.
- Ceballos, G., & Oliva, G. (2005). *Los mamíferos silvestres de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Fondo de Cultura Económica.
- Ceballos, G., & Simonetti, J. A. (2002). *Diversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*. D.F., México: CONABIO-Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ceballos, G., Chávez, C., Blanco, S., Jiménez, R., López, M., Moctezuma, O., . . . Valdez, M. (2006). Áreas prioritarias para la conservación. En C. Chávez, & G. Ceballos (Edits.), *Memorias del primer simposio El jaguar mexicano en el Siglo XXI: Situación actual y manejo* (Primera ed., págs. 13-19). D.F, México: CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ceballos, G., Chávez, C., Rivera, A., & Manterola, C. (2002). Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. En R. A. Medellín, C. Equihua, C. L. Chetkiewicz, P. G. Crawshaw Jr., A. Rabinowitz, K. H. Redford, . . . A. B. Taber, *El jaguar el nuevo milenio* (págs. 403-418). México: FCE, UNAM, Wildlife Conservation Society.

- Chávez, C., & Ceballos, G. (2006). *Memorias del primer simposio. El jaguar mexicano en el siglo XXI*. D.F., México: CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chinchilla, F. A. (1997). La dieta del jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Felis concolor*) y el manigordo (*Felis pardalis*) (Carnivora: Felidae) en el Parque Nacional Corcovado, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 45(3), 1223-1229.
- Codron, D., Codron, J., Lee-Thorp, J. A., Sponheimer, M., & De Ruiter, D. (2005). Animal diets in the Waterberg based on stable isotopic composition on faeces. *South African Journal of Wildlife Research*, 31(1), 43-52.
- Colwell, R. K., & Futuyma, D. J. (1971). On the measurement of niche breadth and overlap. *Ecology*, 52(4), 567-576.
- Crawford, K., McDonald, R. A., & Bearhop, S. (2008). Applications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. *Mammal Review*, 38, 87-107.
- Crawshaw, P. G., & Quigley, H. B. (1991). Jaguar spacing, activity and habitat use in a seasonally flooded environment in Brazil. *Journal Zoology of London*, 223, 357-370.
- Cruz-Miranda, Y., Ugalde-Lezama, S., Tarango-Árambula, L., Rosas-Rosas, O. C., Buendía-Espinoza, J. C., & Lozano-Cavazos, E. A. (2017). Modelo alternativo para determinar coexistencia y segregación trófica de dos felinos simpátricos. Puma *concolor* L. y *Panthera onca* L. . *Agroproductividad*, 10(5), 18-27.
- Dalerum, F., & Angerbjörn, A. (2005). Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecología*, 144, 647-658.
- Darimont, C. T., Paquet, P. C., & Reimchen, T. E. (2007). Stable isotopic niche predicts fitness of prey in wolf-deer system. *Biological Journal of the Linnean Society*, 90, 125-137.

- De Anda, P., Vivas, J. S., Flores, M. R., & Rodriguez, M. A. (2007). *Química 2* (Primera ed.). México: Umbral.
- De Oliveira, T. G. (2002). Ecología comparativa de la alimentación del jaguar y del puma en el neotrópico. En R. A. Medellín, C. Equihua, C. L. Chetkiewicz, P. G. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. H. Redford, . . . A. Taber, *El jaguar en el nuevo milenio* (págs. 265-288). D.F., México: Fondo de Cultura Económica-Universidad Nacional Autónoma de México-Wildlife Conservation Society.
- DeNiro, M. J., & Epstein, S. (1976). You are what you eat (plus a few ‰): the carbon isotope cycle in food chains. *Asociación Geológica Argentina*, 8, 834-835.
- Dewey, T., & Myers, P. (2005). "*Ursidae*" (*On-line*). Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de Animal Diversity Web: <http://animaldiversity.org/accounts/Ursidae/>
- Emmons, L. H. (1987). Comparative feeding ecology of felids in a neotropical rainforest. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 20, 271-283.
- Estrada-Hernández, C. G. (2008). Dieta, uso de habitat y patrones de actividad del puma (*Puma concolor*) y el jaguar (*Panthera onca*) en la Selva Maya, Centroamérica. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 12, 113-130.
- Etnyre, E., Lande, J., & Mcnenna, A. (2011). "*Felidae*" (*On-line*). Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de Animal Diversity Web: <http://animaldiversity.org/accounts/Felidae/>
- Fernández, C. S., & Baldi, R. (2014). Hábitos alimentarios de puma (*Puma concolor*) e incidencia de la depredación en la mortandad de guanacos (*Lama guanicoe*) en el Noreste de la Patagonia. *Mastozoología Neotropical*, 21(2), 331-338.
- Fleming, T. H., Núñez, R. A., & Lobo, L. (1993). Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecología*, 94, 72-75.

- Foster, R. J., Harmsen, B. J., Valdes, B., Pomilla, C., & Doncaster, C. P. (2009). Food habits of sympatric jaguars and pumas across a gradient of human disturbance. *Journal of Zoology*, 280, 309-318.
- Fry, B. (2006). *Stable isotope ecology* (Primera ed.). USA: Springer Science-Business Media.
- Gallina, S., Pérez-Torres, J., & Guzmán-Aguirre, C. C. (2012). Use of the paca *Cuniculus paca* (Rodentia: Agoutidae) in the Sierra de Tabasco State Park, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 60(3), 1345-1355.
- Gama, M. A. (2004). *Biología*. Pearson Education.
- Gamboa-Delgado, J. (2010). Isótopos estables como trazadores nutricionales naturales en larvas y juveniles de *Litopenaeus vannamei* y *Solea senegalensis*. En L. E. Cruz-Suarez, D. Ricque-Marie, P. Tapia-Salazar, M. G. Nieto-López, D. A. Villareal-Cavazos, & J. Gamboa-Delgado (Edits.), *Avances en nutrición acuícola X. Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- García, M., Jordan, C., O'Farril, G., Poot, C., Meyer, N., Estrada, N., . . . Ruiz-Galeano, M. (2016). *Tapirus bairdii*. Recuperado el 01 de 12 de 2017, de The IUCN Red List of Threatened Species 2016: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T21471A45173340.en>
- García-Alaníz, N., Naranjo, E. J., & Mallory, F. F. (2010). Hair-snares: a noninvasive method for monitoring felid populations in the Selva Lacandona, Mexico. *Tropical Conservation Science*, 3(4), 403-411.
- Garla, R. C., Setz, E. Z., & Gobbi, N. (2001). Jaguar (*Panthera onca*) food habits in Atlantic rain forest of southeastern Brazil. *Boitropica*, 33, 691-696.
- Gelman, A., & Rubin, D. B. (1992). Inference from iterative simulation using multiple sequences. *Statistical Science*, 2, 457-472.

- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2014). *Bayesian Data Analysis* (Tercera ed.). New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Gittleman, J. L., Funk, S. M., MacDonald, D. W., & Robert, K. W. (2001). Why carnivore conservation? En J. L. Gittleman, S. M. Funk, D. MacDonald, & R. K. Wayne (Edits.), *Conservation Biology 5 Carnivore Conservation* (Primera ed., págs. 1-7). Cambridge University Press.
- Gómez-Ortiz, Y., & Monroy-Vilchis, O. (2013). Feeding ecology of puma *Puma concolor* in Mexican montane forest with comments about jaguar *Panthera onca*. *Wildlife*, 19(2), 179-187.
- Gómez-Ortiz, Y., Monroy-Vilchis, O., & Mendoza-Martínez, G. D. (2015). Feeding interactions in an assemblage of terrestrial carnivores in central Mexico. *Zoological Studies*, 54(16), 1-8.
- Gómez-Ortiz, Y., Monroy-Vilchis, O., Fajardo, V., Mendoza, G. D., & Urios, V. (2011). Is food quality important for carnivores? The case of *Puma concolor*. *Animal Biology*, 61, 277-288.
- Gompper, M. (1996). Sociality and asociality in white-nosed coatis (*Nasua narica*): foraging costs and benefits. *Behavioral Ecology*, 7(3), 254-263.
- Hass, C. C. (2009). Competition and coexistence in sympatric bobcats and pumas. *Journal of Zoology*, 278, 174-180.
- Hass, C. C., & Valenzuela, D. (2002). Anti-predators benefits of group living in white-nosed coatis (*Nasua narica*). *Behavioral Ecology Sociobiology*, 51, 570-578.
- Hatch, K. A., Roeder, B. L., Buckman, R. S., Gale, B. H., Bunnell, S. T., Eggett, D. L., . . . Hilderbrand, G. V. (2011). Isotopic and gross fecal analysis of American black bear scat. *Ursus*, 22(2), 133-140.
- Hausman, L. A. (1920). Structural characteristics of the hair of mammals. *The American Naturalist*, 54(635), 496-523.

- Hedges, L., Marrant, D. S., Campos-Arceiz, A., & Clements, G. R. (2015). Feasibility of using scent-baited hair traps to monitor carnivore populations in Peninsular Malaysia. *Tropical Conservation Science*, 8(4), 975-982.
- Hénaux, V., Powell, L. A., Hobson, K. A., Nielsen, C. K., & LaRue, M. A. (2011). Tracking large carnivore dispersal using isotopic clues in claws: an application to cougars across the Great Plains. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 1-11.
- Hernández, A. (1992). Los carnívoros y sus perspectivas de conservación en las áreas protegidas de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 54, 1-23.
- Hernández-Guzmán, A., Payán, E., & Monroy-Vilchis, O. (2011). Hábitos alimentarios del Puma concolor (Carnivora: Felidae) en el Parque Nacional Natural Puracé, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1285-1294.
- Hernández-SaintMartín, A. D., Rosas-Rosas, O. C., Palacio-Núñez, J., Tarango-Arambiula, L. A., Clemente-Sánchez, F., & Hoogesteijn, A. L. (2015). Food habits of jaguar and puma in a protected area and adjacent fragmented landscape of Northeastern Mexico. *Natural Area Journal*, 35(2), 308-317.
- Hopkins, J. B., & Ferguson, J. M. (2012). Correction: Estimating the Diets of Animals Using Stable Isotopes and a Comprehensive Bayesian Mixing Model. *PLoS ONE*, 7(1). doi:DOI: 10.1371/annotation/d222580b-4f36-4403-bb1f-cfd449a5ed74
- Hyams, D. G. (2010). CurveExpert Basic. Release 1.4. Obtenido de http://docs.curveexpert.net/curveexpert/basic/_static/CurveExpertBasic.pdf
- (INEGI), I. N. (2005). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Santiago Comaltepec, Oaxaca*. . Clave Geoestadística 20458, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Inger, R., Ruxton, G. D., Newton, J., Colhoun, K., Robinson, J. A., Jackson, A. L., & Bearhop, S. (2006). Temporal and intrapopulation variation in prey choice

- of wintering geese determined by stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 75, 1190-1200. Obtenido de Journal of Animal Ecology.
- Iriarte, J., Franklin, A., Johnson, A., & Redford, H. (1990). Biogeographic variation of food habits and body size of the American puma. *Oecología*, 85, 185-190.
- Isasi-Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, bandera y claves: su uso y abuso en la ecología de la conservación. *Interciencia*, 36, 31-38.
- Júarez-Sánchez, A. D., Estrada, C. G., Bustamante, M., Quintana, Y., & López, J. E. (2007). *Guía ilustrada de pelos para la identificación de mamíferos medianos y mayores de Guatemala*. Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Kelly, J. F. (2000). Stable isotope of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*, 78, 1-27.
- Lavariega, M. C., Briones-Salas, M., & Rodríguez, C. (2013). Registro de tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) con cámaras-trampa en la sierra Madre de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 1007-1011.
- Layman, C. A., Quattrochi, J. P., Peyer, C. M., & Allgeier, J. E. (2007b). Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. *Ecology Letters*, 10, 937-944.
- Leopold, A. S. (2000). *Fauna Silvestre de México, Aves y mamíferos de Caza*. (Segunda ed.). México: Editorial Pax México.
- Long, E. S., Sweitzer, R. A., Diefenbach, R. S., & Ben-David, M. (2005). Controlling for anthropogenically induced atmospheric variation in stable carbon isotope studies. *Oecologia*, 146, 148-156.
- Long, R. A., Donovan, T. M., Mackay, P., Zielinski, W. J., & Buzas, J. S. (2007). Comparing scat detection dog, cameras, and hair snares for surveying Carnivore. *Journal of Wildlife Management*, 71(6), 2018-2015.

- López, C. A., & Miller, B. J. (2002). Do jaguars (*Panthera onca*) depend on large prey? *Western North American Naturalist*, 62(2), 218-222.
- López, L. A. (2010). *Plan municipal de desarrollo: Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca*. Oaxaca.
- Luna, M. (2008). Conservación de carnívoros en el área comunal protegida de Santiago Comaltepec, Sierra madre de Oaxaca, México. 91. Oaxaca, Oaxaca.
- Magioli, M., Moreira, M. Z., Ferraz, K. M., Miotto, R. A., De Camargo, P. B., Rodrigues, M. G., . . . Setz, E. F. (2014). Stable isotope evidence of Puma concolor (Felidae) feeding patterns in agricultural landscape in southeastern Brazil. *Biotropica*, 1-10.
- Martinelli, L. A., Piccolo, M. C., Townsend, A. R., Vitousek, P. M., Cuevas, E., McDowell, W., . . . Treseder, K. (1999). Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forest. *Biogeochemistry*, 46(1), 45-65.
- McDaniel, G. W., McKelvey, K. S., Squires, J. R., & Ruggiero, L. F. (2000). Efficacy of lures and hair snares to detect lynx. *Wildlife Society Bulletin*, 28(1), 119-123.
- McKelvey, K. S., Von, J., Aubry, K. B., Koehler, G., Maletze, B. T., Squires, J. R., . . . Schwartz, M. K. (2006). DNA analysis of hair and scats collected along snow tracks to document the presence of Canada Lynx. *Wildlife Society Bulletin*, 34(2), 451-455.
- Michener, J., & Lajtha, K. (2008). *Stable isotopes in ecology and environmental Science: Ecological methods and concepts* (Segunda ed.). John Wiley & Sons.
- Miller, B., & López, C. A. (2002). Do jaguars (*Panthera onca*) depend on large prey? *Western North American Naturalist*, 62(2), 218-222.

- Monroy-Vilchis, O., & Rubio-Rodríguez, R. (2003). *Guía de identificación de mamíferos terrestres del Estado de México, a través del pelo de guardia*. México.: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monroy-Vilchis, O., Gómez-Ortiz, Y., Janczur, M., & Urios, V. (2009). Food niche of Puma concolor in central Mexico. *Wildlife Biology*, 15, 97-105.
- Montalvo, C. I., Pessino, M. E., & González, V. H. (2007). Taphonomic analysis of remains of mammals eaten by pumas (Puma concolor Carnivora, Felidae) in central Argentina. *Journal of Archeological Science*, 34, 2151-2160.
- Montanari, S., & Amato, G. (2015). Discrimination factors of carbon and nitrogen stable isotopes from diet to hair and scat in captive tigers (Panthera tigris) and snow leopards (Uncia uncia) . *Rapid Communications in Mass Spectrometry* , 29, 1062-1068.
- Monterroso, P., Alves, P. C., & Ferreras, P. (2011). Evaluation of attractants for non-invasive studies of Iberian carnivore communities. *Wildlife Research*, 38, 446-454.
- Monterroso, P., Rich, L. N., Serronha, A., Ferreras, P., & Alves, P. (2014). Efficiency of hair snares and camera traps to survey mesocarnivore populations. *European Journal of Wildlife Research*, 60, 279-289.
- Morales-Sandoval, V. H. (2010). Caracterización nutricional de la Dieta de Tamandua mexicana en el Zoológico "Miguel Álvarez del Toro"(ZooMAT) Chiapas, México. *Edentata*, 11(1), 44-48.
- Moreno, C. E., & Halffter, G. (2000). Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal Applied Ecology*, 37, 149-158.
- Moreno, R. (2008). Información preliminar sobre la dieta de jaguares y pumas en Cana, Parque Nacional Darien, Panama. *Tecnociencia*, 10(1), 115-126.

- Muñoz, J., Betancur, O., & Duque, M. (2002). Patrones de hábitat y de actividad nocturna de Agouti paca en el parque nacional natural Utría (Chocó, Colombia). *Actual Biol*, 24(76), 75-85.
- Nájera-Hillman, E., & Mandujano, S. (2013). Faecal stable isotope analysis in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), an alternative method for dietary ecology studies. *Wildlife Biology in Practice*, 9(2), 63-75.
- Nardoto, B. G., Barbosa de Godoy, P., Sansigolo, E., Henry, J. P., & Martinelli, L. A. (2006). Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and swine tissues. *Scientia Agricola*, 63(6), 579-582.
- Newsome, S. D., Clementz, M. T., & Koch, P. L. (2010). Using stable isotope biochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26(3), 509-572.
- Nielsen, C., Thomson, D., Kelly, M., & Lopez-Gonzalez, C. A. (2015). *Puma concolor*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2017, de The IUCN Red List of Threatened Species 2015: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T18868A50663436.en>.
- Novack, A. J., Main, M. B., Sunquist, M. E., & Labisky, R. F. (2005). Foraging ecology of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in hunted and non-hunted sites within the Maya Biosphere Reserve, Guatemala. *Journal of Zoology of London*, 267, 167-178.
- Núñez, R., Miller, M. B., & Lindzey, F. (2000). Food habits of jaguars and pumas in Jalisco, Mexico. *Journal of the Zoological Society of London*, 252, 373-379.
- O'Leary, M. H. (1988). Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience*, 38(5), 328-335.
- Ortega, D., Sánchez, G., Solano, C., Huerta, M., Meza, V., & Galindo-Leal, C. (2010). *Áreas de conservación certificadas en el estado de Oaxaca*. Oaxaca, México: WWF-CONANP-SEMARNAT.

- Panarello, H. O., & Fernández, J. (2002). Stable carbon isotope measurements on hair from wild animals from altiplanic environments of Jujuy, Argentina. *Radiocarbon*, *44*(3), 709-716.
- Parnell, A. C., Phillips, D. L., Bearhop, S., Semmens, B. X., Ward, E. J., Moore, J. W., . . . Inger, R. (2013). Bayesian stable isotope mixing models. *Environmetrics*, *24*(6), 387-399.
- Parnell, A., & Inger, R. (2016). *SIMMR: Stable Isotope Mixing Models in R. R package versión 0.3. Electronic Database*. Obtenido de <https://CRAN.R-project.org/package=simmr>
- Parnig, E., Crumpacker, A., & Kurle, C. M. (2014). Variation in the stable carbon and nitrogen isotope discrimination factors from diet to fur in four felid species held on different diets. *Journal of Mammalogy*, *95*(1), 151-159.
- Pech-Canché, J. M., Sosa-Escalante, J. E., & Koyoc, M. E. (2009). Guía para la identificación de pelos de guardia de mamíferos no voladores del estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, *13*, 7-33.
- Pérez, G. E., Schondube, J. E., & Martínez del Rio, C. (2008). Isótopos estables en ornitología: una introducción breve. *Ornitología Neotropical*, *19*, 95-112.
- Perilli, M. L., Lima, F., Rodrigues, F. H., & Cavalcanti, S. M. (2016). Can scat analysis describe the feeding habits of big cats? A case study with jaguar (*Panthera onca*) in Southern Pantanal, Brazil. *PLOS ONE*, *11*(3). doi:e0151814. DOI:10.1371/journal.pone.0151814
- Pianka, E. R. (1973). The Structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematic*, *4*, 53-74.
- Plummer, M. (2003). JAGS: a program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling.
- Plummer, M., Best, N., Cowles, K., & Vines, K. (2006.). CODA: convergence diagnosis and output analysis for MCMC.

- Portella, T. P., Bilski, D. R., Passos, F. C., & Pie, M. R. (2013). Assessing the efficacy of hair snares as a method for noninvasive sampling of Neotropical felids. *Zoologia*, 30(1), 49-54.
- Post, D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3), 703-718.
- Rau, J. R., & Jiménez, J. E. (2002). Diet of Puma (*Puma concolor*, Carnivora: Felidae) in coastal and Andean ranges of Southern Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 37(3), 201-205.
- Redford, K., & Mac Lean, A. (1993). Notas sobre la biología de tres procyonidos simpátricos Bolovianos (Mammalia, Procyonidae). *Ecología de Bolivia*(21), 35-44.
- Rosas-Rosas, O. C., Valdez, R., Bender, L. C., & Daniel, D. (2003). Foos habits of pumas in Northwestern Sonora, Mexico. *Wildlife Society Bulletin*, 31(2), 528-535.
- Roth, J. D., & Hobson, K. A. (2000). Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissue of captive red fox: implications for dietary reconstruction. *Canadian Journal of Zoology*, 78, 848-852.
- Rueda, P., Mendoza, G. D., Martínez, D., & Rosas-Rosas, O. C. (2013). Determination of the jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) diet in a tropical forest in San Luis Potosi, Mexico. *Journal of Applied Animal Research*. doi:DOI10.1080/09712119.2013.787362
- Rundel, P. W., Ehleringer, J. R., & Nagy, K. A. (2012). *Stable isotopes in ecological research* (Primera ed.). Ilustrada-Springer Science-Bussiness media.
- Santos-Moreno, J., & Pérez-Irineo, G. (2013). Abundancia del tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical. *THERYA*, 4(1), 89-98. doi:10.12933/therya-13-97

- Scognamiglio, D., Esperanza, I., Sunquist, M., & Polisar, J. (2003). Coexistence of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in a mosaic landscape in the Venezuelan llanos. *Journal Zoology of London*, 259, 269-279.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. (D. O. Federación, Ed.) D.F.
- Servín, J. (2013). Perpectivas del estudio, conservación y manejo de los Carnívoros en México. *THERYA*, 4(3), 427-430.
- Soberón, J., & Llorente, J. (1993). The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7(3), 480-488.
- Soriguer, R. C. (1983). Consideraciones sobre el efecto de los conejos y los grandes hervivoros en los pastizales de la Vera de Doñana. *Doñana, Acta Vertebrata*, 10(1), 155-168.
- Sponheimer, M., Robinson, T., Ayliffe, L., Passey, B., Roeder, B., Shipley, L., . . . Ehleringer, J. (2003b). An experimental study of carbon-isotope fractionation between diet, hair, and feces of mammalian hervivores. *Canadian Journal of Zoology*, 81, 871-876.
- Taber, A. B., Novarro, A. J., Neris, N., & Colman, F. H. (1997). The food habits of sympatric jaguars and puma in the Paraguayan Chaco. *Biotropica*, 29(2), 204-213.
- Tieszen, L. L., Button, T. W., Tesdahl, K. G., & Slade, N. A. (1983). Fractionation and turnover of stable carbón isotopes in animals tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, 57, 32-37.
- Unkovich, M. J., Pate, J. S., McNeli, A., & Gibbs, J. (s.f.). *Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems* . Springer Science & Business Media.

- Valenzuela, D. (1998). Natural history of the white-nosed coati. *Nasua narica*, in a tropical dry forest of Western Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 3, 26-44.
- Valero, L., & Durant, P. (2001). Análisis de la dieta del conejo de Páramo, *Sylvilagus brasiliensis meridensis* Thomas, 1904 (Lagomorpha:Leporidae) en Mucubaji, Mérida, Venezuela. *Revista de Ecología Latinoamericana*, 8(2), 01-13.
- Vander, M. J., Clayton, M. K., Moody, E. K., Solomon, C. T., & Weidel, B. C. (2015). Stable isotope turnover and half life in animal tissues: A literatura Synthesis. *PLoS ONE*, 10(1). doi:DOI: 10.1371/journal.pone.0116182
- Villarreal-Espino-Barros, O. A., Campos-Armendia, L. E., Castillo-Martínez, T. A., Cortes-Mena, I., Plata-Pérez, F. X., & Mendoza-Martínez, G. D. (2008). Composición botánica de la dieta del venado temazate rojo (*Mazama temama*), en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla. *Universidad y Ciencia*, 24(3), 183-188.
- Weckel, M., Giuliano, W., & Silver, S. (2006). Jaguar (*Panthera onca*) feeding ecology: distribution of predator and prey through time and space. *Journal of Zoology*, 270, 25-30.
- West, J. B., Bowen, G. J., Cerling, T. E., & Ehleringer, J. R. (2006). Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(7), 408-414.
- Wolf, N., Carleton, S. A., & Martínez del Rio, C. (2009). Ten years of experimental animal isotopic ecology. *Functional Ecology*, 23, 17-26.

ANEXO I. GENERALIDADES SOBRE LOS ISÓTOPOS ESTABLES

DEFINICIÓN, MEDICIÓN Y UNIDADES DE MEDIDA.

Básicamente los seres vivos son un conjunto de moléculas formadas por la combinación de distintos elementos químicos (Peña 1988). Los elementos se definen como sustancias formadas por átomos iguales (Andrés *et al.* 2008) y hasta el momento se han descrito 92 elementos que se encuentran de manera natural y 26 más que se han sintetizado, llegando a un total de 118 elementos químicos (Burns 2003).

Los átomos de todos los elementos se componen de tres partículas subatómicas que se diferencian por su carga eléctrica y por su masa: los electrones (e-), son las partículas menos pesadas y que presentan una carga eléctrica negativa. Estas partículas se encuentran distribuidas en parte externa del átomo; los protones, son las partículas que poseen una carga eléctrica positiva de valor idéntico al del electrón; el neutrón (N) es la partícula que no tiene carga (De Anda *et al.* 2007), sin embargo juega un papel muy importante ya que son pacificadores del núcleo evitando que los protones se acerquen excesivamente (Fry 2006). Tanto los protones como los neutrones se ubican en el núcleo del átomo (De Anda *et al.* 2007).

Generalmente los átomos se representan mediante una fórmula atómica (Fry 2006, Unkovich *et al.* 2013):



Donde Z es el número atómico, el cual es igual al número de protones y con el cual se asigna la posición en la tabla periódica; A es el número de masa o masa atómica, el cual está dado por la suma de protones (Z) y neutrones (N) de cada elemento específico y X es el símbolo del elemento químico (Unkovich *et al.* 2013).

Gran parte de los elementos conocidos, presentan formas distintas de sus átomos, los cuales son llamados isótopos. La palabra isótopo proviene de las palabras griegas: *isos*= igual y *topos*=lugar, haciendo referencia a que estas

entidades ocupan un mismo lugar dentro de la tabla periódica de los elementos (Fry 2006, Michener y Lajtha 2008).

Los isótopos son átomos de un elemento específico que poseen el mismo número de protones y electrones, es decir poseen el mismo número atómico, pero difieren en el número de neutrones, por lo que su masa atómica es diferente (Fry 2006, Michener y Lajtha 2008). Estos se pueden clasificar en dos tipos: radioactivos y estables (Fry 2006, Michener y Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013).

Los isótopos radioactivos, se caracterizan por ser altamente inestables, lo que ocasiona que su energía decaiga espontáneamente emitiendo partículas alfa o beta y convirtiéndose en otros elementos (Fry 2006, Unkovich *et al.* 2013). Este tipo de isótopos son los más abundantes, ya que hasta el momento se conocen aproximadamente 1200 (Michener y Lajtha 2008).

Los isótopos estables, son llamados así por su estabilidad energética, ya que esta no decae espontáneamente como en los radioactivos. Un isótopo tiende a ser estable cuando su número de protones y neutrones es similar o cuando la relación entre estos (N/Z) es ≤ 1.5 (Michener y Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013). De este tipo de isótopos se conocen alrededor de 300, de los cuales menos del 10% son utilizados para las investigaciones, principalmente los isótopos de Hidrogeno (H), Carbono (C), Nitrógeno (N), Oxígeno (O) y Azufre (S), ya que la mayoría de los compuestos se forman de estos elementos y además porque son elementos de bajo peso y masa atómica, por lo que la adición de un solo neutrón crea diferencias mayores en su masa en comparación con los elementos de mayor número atómico (Michener y Lajtha 2008).

Los investigadores han utilizado a los isótopos de estos elementos como herramientas para rastrear procesos ambientales, para identificar patrones y describir procesos ecológicos (Fry 2006), lo cual es posible debido a que generalmente los elementos presentan un isótopo más abundante (generalmente el isótopo más ligero o de menor masa atómica) y otro de menor abundancia (isótopo de más pesado o de mayor masa atómica) (Tabla 1). La abundancia del isótopo menos abundante proporciona una ventaja para utilizar las fuentes enriquecidas

como marcadores en los estudios (Unkovich *et al.* 2013) y las proporciones de las abundancias crean señales características que permite identificar procesos (Michener y Lajtha 2008).

Tabla 1. Abundancia en la naturaleza de los isótopos de los elementos más utilizados en estudios ecológicos. Tomada de Unkovich *et al.* (2013)

Elemento	Isótopo	Abundancia (%)
Hidrogeno	^1H	99.985
	^2H (D)	0.015
Carbón	^{12}C	98.98
	^{13}C	1.11
Nitrógeno	^{14}N	99.63
	^{15}N	0.37
Oxígeno	^{16}O	99.759
	^{17}O	0.037
	^{18}O	0.204
Azufre	^{32}S	95.00
	^{33}S	0.76
	^{34}S	4.22
	^{36}S	0.014

Las diferencias en las abundancias de los isótopos no se pueden detectar directamente o a simple vista, por lo que se han construido aparatos que permiten identificarlas. Hace aproximadamente 100 años Francis W. Aston construyó las primeras máquinas para detectar los isótopos (Fry 2006), estas máquinas

actualmente son conocidas como Espectrómetros de Masa de Relaciones Isotópicas (IRMS por sus siglas en ingles) (Michener y Lajtha 2008).

Los IRMS constan de 3 componentes principales: una fuente para ionizar las moléculas; un campo magnético para desviar y separar las partículas cargadas y una serie de iones colectores para atrapar los iones opuestos (Rundel *et al.* 2012). También es necesario que a los IRMS este asociado un hardware periférico que permite convertir a gas las muestras (Figura 1).

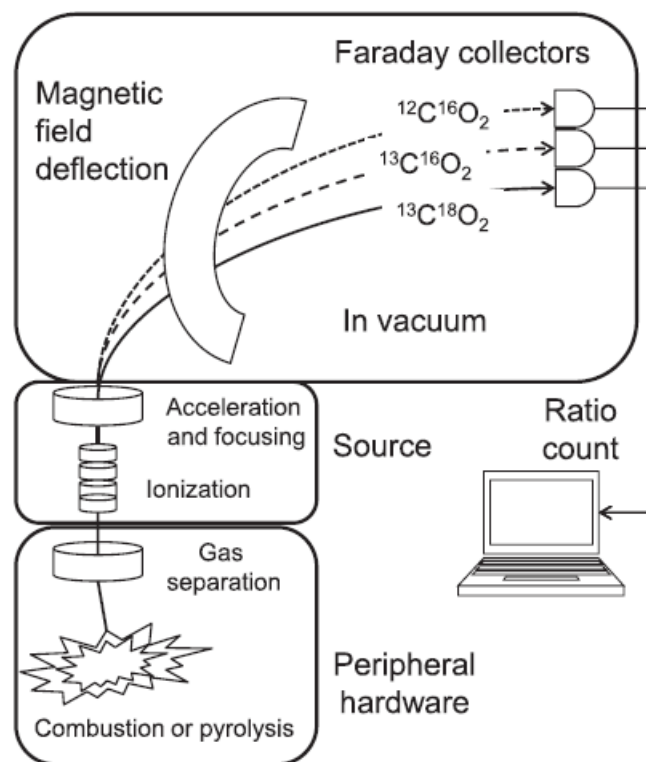


Figura 1. Esquema del proceso del análisis de isótopos estables dentro del espectrómetro de masas. Tomada de Ben-David y Flaherty (2012).

El proceso para identificar las proporciones de los isótopos pesados con respecto a los ligeros en una muestra es el siguiente:

Primero es tener la muestra que se desea analizar (tejido vegetal o animal, muestras de suelo o agua, etc.), la cual se limpiará perfectamente, posteriormente se prepara para el análisis. El método de preparación dependerá de la muestra y el

isótopo a analizar. Posteriormente se hará uso del hardware periférico para convertir la muestra en un gas (Michener y Lajtha 2008, Ben-David y Flaherty 2012). El hardware periférico generalmente es un analizador elemental, el cual por medio de combustión (a temperaturas de 1600 a 1800 ° C) o pirolisis convierte la muestra en gas (dependiendo del isótopo que se desea analizar), ya sea en hidrogeno (H_2) dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) o dióxido de azufre (SO_2). Cuando es por medio de combustión, la reacción es catalizada con estaño o cobre (más comúnmente con estaño) y se mezcla con oro y grafito para asegurar que las reacciones sean completas y ninguna molécula se escape del conteo (Ben-David & Flaherty. 2012).

Posteriormente los gases originados en el analizador elemental se dirigen al IRMS por medio de una interface. Bajo condiciones ambientales los gases pueden moverse de manera natural dentro del IRMS por el simple flujo molecular, sin embargo, puede ocurrir fraccionamiento isotópico y para evitarlo se coloca un gas acarreador, comúnmente se utiliza Helio (Unkovich *et al.* 2013). Este gas pasa directamente al espectrómetro a través de unos capilares que garantizan un flujo viscoso que evita que suceda la separación de masas (Ben-David & Flaherty 2012, Unkovich *et al.* 2013). Posteriormente los gases formados en la combustión se separan por medio de una cromatografía de gases basándose en el peso molecular. Siendo el gas más liviano el que entre primero a la fuente (Ben-David & Flaherty. 2012).

Dentro de la fuente se encuentra un filamento ionizante que provoca que un electrón sea expulsado de cada molécula de gas, dejándolas positivamente cargadas. Esto provoca que los iones formados se aceleren y se dirijan a un tubo de vuelo, el cual las llevará al campo magnético. Los iones dentro del campo magnético, son separados en relación con su masa y forman haces, los cuales son desviados, provocando que los más pesados generen una menor curvatura para salir del tubo (Ben-David & Flaherty 2012).

Finalmente los haces son captados por las tazas de Faraday que se encuentran al final del tubo de vuelo. Dichas tazas se encuentran espaciadas para

captar cada haz de iones por separado y con una mínima interferencia de los otros haces (Ben-David y Flaherty. 2012). Posteriormente un sistema detector convierte los impactos en frecuencia de impactos, y la relación de la frecuencia de impactos de los iones pesados y livianos originan la proporción de isótopos de la muestra, comúnmente llamada $R_{muestra}$. El valor isotópico final se calcula mediante la Ecuación 1, en donde se compara la proporción isotópica de una muestra con respecto a la proporción isotópica de un estándar internacionalmente reconocido (Tabla 2) (Fry 2006, Unkovich *et al.* 2013), estos últimos cálculos los hace automáticamente un software (Ben-David & Flaherty. 2012).

Tabla 2. Isotopos estables más utilizados en ecología con la proporción isotópica de sus respectivos estándares internacionalmente reconocidos. Tomada de Unkovich *et al.* (2013)

Isotopo	Proporción medida	Estándar	Proporción isotópica del estándar de referencia
$^2\text{H}^1$	$^2\text{H}/^1\text{H}$ (D/H)	V- SMOW	1.5575×10^{-4}
^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	V- PDB	1.1237×10^{-2}
^{15}N	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	N_2 - atm	3.677×10^{-3}
^{18}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	V- SMOW	2.0052×10^{-3}
		V- PDB	2.0672×10^{-3}
^{34}S	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	4.5005×10^{-2}

*Los estándares internacionales son: Peedee Belemnite o Vienna Peedee Belemnite (PDB/VPDB), nitrógeno atmosférico (AIR), Standard Mean Mean Water o Vienna Standard Mean Water (SMOW/VSMOW), Vienna Canon Diablo Meteorite Troilite o Vienna Canon Diablo Meteorite Troilite (CDT/VCDT).

Anteriormente la cantidad de muestra era bastante, por lo que la contaminación no era un problema significativo, ya que un poco de polvo o aire no cambiaba drásticamente las proporciones de los isótopos de la muestra. Sin embargo, en la actualidad la cantidad de muestra que se utiliza para analizar es menos de 1 mg y la contaminación pasa a ser un problema serio y con un fuerte potencial de generar sesgos y con mayor frecuencia en muestras que son difíciles de homogeneizar como el suero y el pelo (Ben-David & Flaherty. 2012). Debido a esto, es recomendable analizar las muestras por duplicado, si la variación de estas sub-muestras supera los estándares del laboratorio es posible que haya ocurrido contaminación (Unkovich *et al.* 2013).

Existen cuatro maneras para expresar los isótopos: Delta (δ), Proporción isotópica (R), Abundancia fraccional (F) y porcentaje de átomos (%átomo o AP) (Fry 2006).

El porcentaje de átomo (AP) es igual a la abundancia fraccional por 100 ($F \cdot 100$). F, básicamente es la abundancia del isótopo pesado ($^P F$) o el ligero ($^L F$). R es la proporción del isótopo pesado con respecto al ligero (Fry 2006):

$$R = ^P F / ^L F$$

Y δ es una medida más completa, ya que incluye a las últimas dos para poder calcularla (Fry 2006, Ben-David & Flaherty.2012):

$$\delta^H X = \left(\frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} - 1 \right) \times 1000$$

Donde δ es la notación isotópica, X es el elemento en su forma pesada, H es la masa atómica del isótopo pesado (Por ejemplo $\delta^{13}C$), R es la relación de isótopos pesados con respecto al ligero (por ejemplo $^{13}C/^{12}C$) de la muestra ($R_{muestra}$) y el estándar ($R_{estandar}$).

Como se observa en la ecuación, el valor resultante de comparar la proporción isotópica de las muestra y el estándar se multiplica por mil, lo que ocasiona las unidades resultantes y en las que se reportan los valores isotópico sean partes por mil (‰) (Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013). Esta unidad

tiene la ventaja de que amplifica las pequeñas diferencias que hay entre la composición isotópica de la muestra y los estándares, esto debido a que la abundancia de isótopo menos abundante es generalmente menos del 1% de la abundancia total del elemento (Unkovich *et al.* 2013). Por ejemplo si existiera una diferencia de 1% se convertiría en 10 ‰ (Fry 2006, Unkovich *et al.* 2013)

δ es una notación que expresa diferencia en la proporción de isótopos de la muestra comparada con el estándar y generalmente los valores oscilan entre -100‰ y 100‰ (Fry 2006). Cuando el valor es 0‰ no quiere decir que hay ausencia de isótopos, más bien expresa que no hay diferencia con respecto al estándar. Generalmente los que presentan valores cercanos a 0 son los estándares (Fry 2006). Un valor δ positivo indica que la muestra tiene más moléculas del isótopo pesado en comparación con el estándar, lo cual es lo contrario cuando el valor es negativo (Michener & Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013).

Cuando se quieren comparar la composición isotópica de diferentes materiales, generalmente se utilizan diferentes terminologías como: alto/bajo, más positivo/más negativo o enriquecidos/empobrecidos, las primeras dos expresiones se utilizan cuando se habla de valores δ , mientras que al utilizar la última expresión se debe especificar a qué isótopo se hace referencia (pesado o ligero), sin embargo, generalmente se refiere al isótopo pesado. Por ejemplo la muestra se agotó (o enriqueció) en ^{15}N (Michener & Lajtha 2008, Ben-David & Flaherty. 2012, Unkovich *et al.* 2013).

Los estándares internacionalmente reconocidos los puede proporcionar la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) en Viena, Austria o el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés) en Estados Unidos (Unkovich *et al.* 2013), sin embargo, son excesivamente costosos, por lo que diferentes laboratorios han optado por usar otros materiales que se han convertido en sus propios estándares, estos son conocidos como estándares internos de trabajo (IWS por sus siglas en inglés) y antes de ser utilizados deben de ser calibrados o comparados con los estándares internacionales y además debe analizarse en varias ocasiones por el mismo laboratorio y de ser

posible por otros laboratorios, lo anterior para corroborar la veracidad del IWS y garantizar confianza al análisis (Ben-David y Flaherty. 2012, Unkovich *et al.* 2013).

Cuando los valores isotópicos de las muestras se obtiene a partir de la comparación con un IWS, los valores deben corregirse con la ecuación propuesta por Craig (1957) y así obtener el valor final, es decir un valor relativo al estándar internacional (Unkovich *et al.* 2013):

$$\delta_{final} = \frac{(\delta_{muestra} - \delta_{IWS}) \times (\delta_{IWS} - \delta_{estandar})}{1000}$$

Donde δ_{final} es el valor isotópico final de la muestra ya corregido, $\delta_{muestra}$ es el valor isotópico de la muestra sin corregir, δ_{IWS} es el valor isotópico de estándar interno de trabajo y $\delta_{estandar}$ es el valor isotópico del estándar reconocido internacionalmente.

Utilizar varios estándares en cada lote de muestras ofrece diversas ventajas, ya que se puede controlar la precisión, la respetabilidad y linealidad del espectrómetro, las cuales son medidas importantes para el control de calidad (Ben-David & Flaherty. 2012).

FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO

El fraccionamiento isotópico es el mecanismo por el cual los isótopos estables se encuentran en diferentes proporciones, esto debido a la diferente distribución de los isótopos pesado y ligeros en las sustancias (reactivo y producto) o fases (líquido y vapor) en las reacciones químicas (Unkovich *et al.* 2013). Este es denotado por el símbolo griego delta (Δ) y el cual se obtiene por la simple sustracción del valor isotópico del producto al valor del reactivo y se expresara en unidades por mil positivas (Fry 2006):

$$\Delta = \delta_{fuente} - \delta_{producto}$$

Donde δ_{fuente} es el valor isotópico de la fuente o de la fase original y $\delta_{producto}$ es el valor isotópico del producto o fase final (Fry 2006).

Estas variaciones en las proporciones se deben a las diferentes propiedades fisicoquímicas que poseen los isótopos. Dichas propiedades están mediadas

principalmente por la mecánica cuántica, debido a que en medios fijos o constantes la energía cinética de las moléculas es la misma, por lo que las moléculas más pesadas viajan a una velocidad más lenta, comparadas con las moléculas más livianas (Michener y Lajtha 2008), de igual manera la energía vibratoria de las moléculas, influye en la fuerza de los enlaces, ya que las moléculas formadas por isótopos pesados vibran más lento que las moléculas con isótopos ligeros, lo que ocasiona que las moléculas pesadas formen enlaces más fuertes y estables por lo que se necesitan una fuerza mayor para romperlos (Michener y Lajtha 2008, Unkovich *et al.* 2013).

Existen dos tipos de fraccionamiento, los cuales se distinguen por el proceso que los origina:

1) Fraccionamiento de equilibrio (también conocido como fraccionamiento termodinámico). Este se da por reacciones de equilibrio o de intercambio isotópico, donde la distribución de los isótopos difiere entre sustancias químicas (sustrato/producto) o fases (por ejemplo líquido/vapor) cuando una reacción está en equilibrio. En estas reacciones, los reactivos y productos permanecen en contacto cercano de forma que puedan producirse reacciones de retroceso y se pueda lograr un equilibrio químico. En las reacciones de equilibrio, el isótopo más pesado tiende a acumularse donde los enlaces son los más fuertes. Por ejemplo la reacción que se produce entre el CO_2 y H_2O en un contenedor cerrado, aquí los reactivos y productos son los mismos pero tienen masas finales que difieren de sus masas iniciales porque ^{18}O forma un enlace covalente más fuerte con el carbono que ^{16}O (Michener y Lajtha 2008, Ben-David y Flaherty. 2012).

2) Fraccionamiento cinético. Este tipo de fraccionamiento esta mediado por la tasa de reacción de las moléculas y cuando únicamente un tipo de moléculas cambia de fase o cuando suceden reacciones químicas no reversibles, lo cual sucede por la interacción entre la fuerza de enlace y la velocidad molecular. Este fraccionamiento es típicos de procesos de

evaporación, difusión, reacciones de disociación y efectos enzimáticos, dando como resultado que el isótopo más ligero se acumule en el producto (Michener & Lajtha 2008, Ben-David & Flaherty. 2012).

Es importante mencionar que el fraccionamiento isotópico únicamente hace referencia cuando suceden cambios en las relaciones isotópicas como resultados de procesos físicos o químicos pero que ocurren en una sola reacción. Cuando se trata de procesos múltiples se le conoce como discriminación (Ben-David & Flaherty.

ABUNDANCIAS NATURALES DE LOS ISÓTOPOS CARBONO

Los primeros trabajos sobre las relaciones isotópicas de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) se llevaron a cabo en 1939, por Nier y Gulbransen, quienes identificaron que las calizas, el CO_2 atmosférico, las plantas marinas y las plantas terrestres poseían valores característicos. Actualmente con el desarrollo de la espectrometría de masas se sabe que los valores δ en la naturaleza, para carbono varían aproximadamente 100‰ (Figura 2), ya que existen valores desde 20‰ típicos de los carbonatos, hasta -90‰ característico de los metanos (Rundel *et al.* 2012).

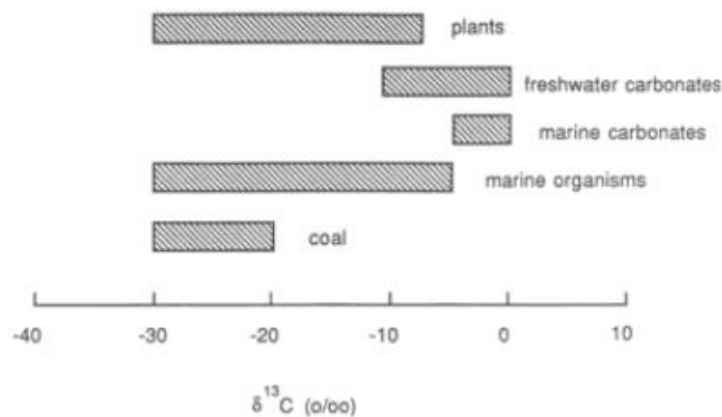


Figura 2. Rangos de los valores isotópicos de carbono de diferentes materiales y organismos. Tomada de Rundel *et al.* (2012).

En 1960 se demostró que la Ribulosa Bifosfato Carboxilasa (RuBisCO), enzima encargada de fijar el oxígeno del ambiente en el proceso conocido como fotosíntesis, es la responsable de las diferencias en la composición isotópica de las plantas, ya que esta discrimina en contra de $^{13}\text{CO}_2$, es decir fija moléculas de CO_2 con el isótopo ligero del carbono (^{12}C), haciendo que este tipo de plantas presente valores más negativos de δ , los cuales varían de -20‰ a -35‰. Este hallazgo fue posible gracias a otro descubrimiento: el metabolismo C4. En este metabolismo la enzima encargada de fijar el CO_2 es la Fosfoenolpiruvato Carboxilasa (PEP), la cual fija moléculas de CO_2 con los isótopos pesados del carbono (^{13}C), provocando de esta manera que las plantas con este tipo de metabolismo presentaran valores δ más positivos, los cuales van de -9‰ a -14‰ (Ben-David y Flaherty. 2012, Rundel et al 2012, Unkovich et al 2013).

Estas diferencias permiten distinguir a qué tipo de planta pertenece un tejido vegetal (Rundel et al 2012).y funcionan como un marcador natural para rastrear las dietas de los herbívoros y seguirlas a través de las cadenas tróficas, ya que estas firmas se integran a la cadena cuando un depredador consume y asimila a los herbívoros (Ben-David y Flaherty. 2012).

NITRÓGENO

Como ya se mencionó anteriormente el Nitrógeno únicamente presenta dos isótopos (^{14}N y ^{15}N) y su abundancia en el ambiente es constante (0.366‰) por lo que se utiliza como el estándar internacional. Este elemento ha recibido poca importancia para los estudios, ya que la mayoría de los materiales generalmente tienen poca concentración de este elemento. Su composición básicamente está determinada por reacciones biológicas (Rundel *et al* 2012).

En 1955 se realizaron los primeros trabajos con isótopos de nitrógeno, sin embargo fue hasta 1960 cuando realmente se le tomó importancia a la abundancia de este isótopo y donde se descubrió que con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los nitratos de agua se podía identificar la fuente de origen de esta. Posteriormente en 1971 se

sugirió que también estas proporciones isotópicas podrían utilizarse para distinguir la fuente de nitrógeno (natural o fertilizantes) en la agricultura (Rundel *et al.* 2012).

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en la naturaleza varían de -20‰ a 20‰ (Figura 3) y se observa que las leguminosas generalmente presentan valores cercanos a 0‰, ya que la discriminación microbiana durante el proceso de descomposición y fijación del N_2 atmosférico a una molécula orgánica no discrimina o discrimina poco en contra de los isótopos pesados del nitrógeno (^{15}N). Por otra parte en los tejidos animales los valores de $\delta^{15}\text{N}$ son más positivos comparados con los valores de las plantas y se debe a que δ se eleva progresivamente a medida que aumenta el nivel trófico, ya que las rutas catabólicas favorecen la eliminación del isótopo ligero (Rundel *et al.* 2012).

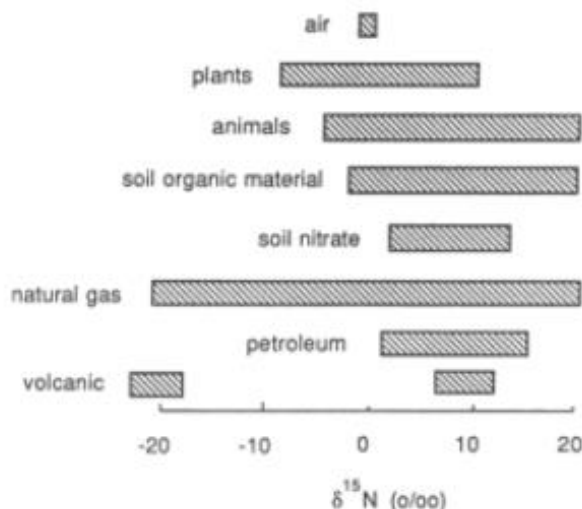


Figura 3. Rangos de los valores de nitrógeno de diversos tejidos y compuestos. Tomado de Rundel *et al.* (2012).

HIDRÓGENO Y OXÍGENO

Los isótopos de Oxígeno e Hidrógeno fueron descubiertos hace más de medio siglo. En 1929 se descubrió al ^{17}O y ^{18}O , mientras que en 1932 se descubrió al ^2H , mejor conocido como deuterio. Las variaciones de las proporciones isotópicas de estos han captado la atención de los investigadores desde hace tiempo, lo cual

se ve reflejado en la cantidad de información que existe sobre dichos isótopos (Rundel *et al.* 2012).

Los isótopos de hidrogeno: ^1H y ^2H se encuentran en proporciones del 99.9844% y 0.0156% respectivamente y son considerados de los más interesantes, debido a la gran diferencia en sus masas y a que poseen las mayores variaciones de las proporciones isotópicas, con un rango de casi 700‰ (Figura 4) (Rundel *et al.* 2012).

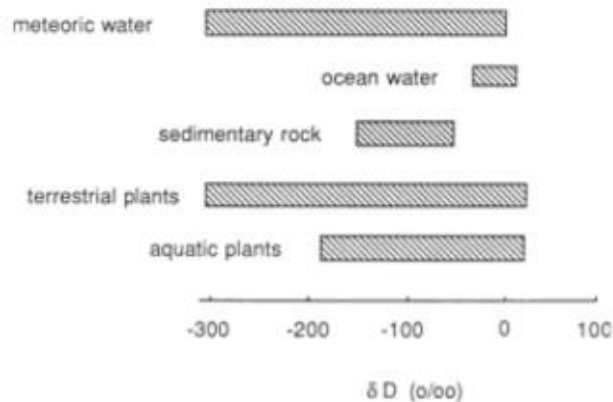


Figura 4. Rangos de los valores isotópicos de Hidrógeno de diferentes materiales y organismos. Obtenido de Rundel *et al.* (2012).

Para el caso de los isótopos de oxígeno: ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O su abundancia en la naturaleza es de 99.759%, 0.037% y 0.204% respectivamente, debido a que ^{16}O y ^{18}O son los más abundantes generalmente solo se determinan las proporciones de estos isótopos ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). Las variaciones naturales de estas proporciones tienen un rango de 90‰ (Figura 5) (Rundel *et al.* 2012).

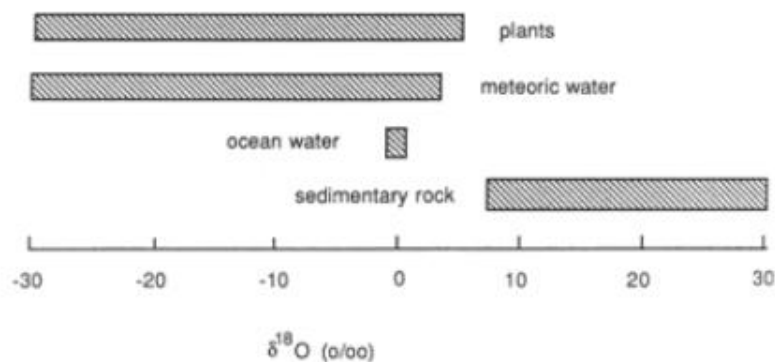


Figura 5. Rangos de los valores isotópicos de Oxígeno de diferentes materiales y organismos. Tomada de Rundel *et al.* (2012).

Los estudios de ^{18}O han sido de gran importancia en la geología, ya que son indicadores de paleo-temperaturas. De igual manera estos isótopos ayudan a rastrear y describir el movimiento de las aguas en los suelos (Rundel *et al.* 2012).

De manera conjunta los isótopos de hidrógeno y oxígeno pueden ser utilizados para rastrear movimientos de los animales o ubicaciones geográficas de los organismos, ya que las variaciones isotópicas de hidrógeno y oxígeno en los organismos básicamente depende de la variación isotópica del agua que consumen y la composición isotópica de este recurso se ve influenciada por la latitud, altitud y temperatura (Rundel *et al.* 2012).

AZUFRE

El azufre posee cuatro isótopos: ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , y ^{36}S , los cuales tienen una abundancia de 95%, 0.76%, 4.22% y 0.014% respectivamente. Estos isótopos se pueden encontrar en rocas, carbonatos y aceites, así como en algunos minerales en forma de sulfuros y en vapores e forma de sulfatos (Rundel *et al.* 2012).

Las variaciones de proporciones isotópicas de azufre son aproximadamente de 80‰ (Figura 6), y generalmente son menores en sitios no contaminados, por lo que este isótopo es considerado como un trazador de transferencia de contaminantes (Rundel *et al.* 2012).

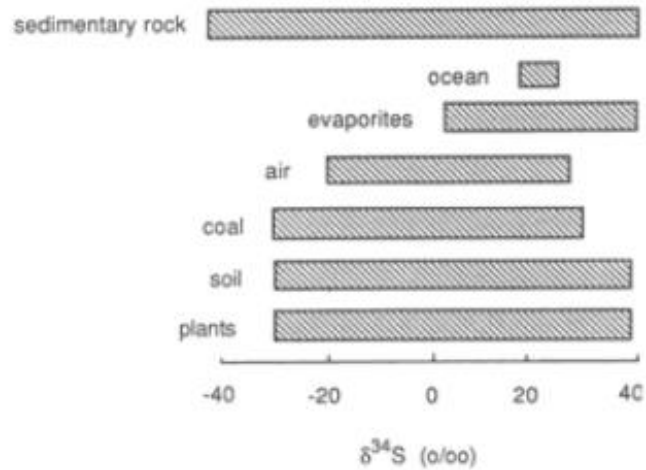


Figura 6. Rangos de los valores isotópicos de azufre de diferentes materiales y organismos. Tomada de Rundel *et al.* (2012).

Las variaciones de las proporciones isotópicas de los elementos anteriores, tanto espacial como temporalmente permiten comprender diversos procesos biológicos como: rastrear el flujo de nutrientes, las interacciones de las especies, las relaciones tróficas, las dietas de los animales y las migraciones de los mismos (Ben-David y Flaherty. 2012)

ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DEL PELO.

El pelo es característico de los mamíferos, por lo que es considerado un carácter diagnóstico para este grupo. Dicha estructura cumple con las funciones de camuflaje, comunicación, sensibilidad, protección y aislamiento térmico, permitiendo conservar el calor y proteger al animal cuando este es excesivo (Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003, Juárez *et al.* 2007).

El pelo se forma a partir de células epidérmicas muertas y queratinizadas que también pueden contener pigmentos y espacios de aire. Esta estructura consta de un tallo o cañon externo y una raíz. La raíz se encuentra dentro de una cavidad de la dermis conocida como folículo piloso (originado por el engrosamiento de células de la capa de Malpighi), lugar en el cual las células proliferativas están en continuo crecimiento. Por otro lado, el tallo generalmente consta de tres partes que pueden ser observadas en un corte transversal de este (Arita 1985, Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003, Juárez *et al.* 2007) (Figura 1):

- 1) La médula que se encuentra en la parte central del pelo, la cual se forma de células queratinizadas y en ocasiones puede tener espacios de aire.
- 2) La corteza que es la estructura que rodea a la médula y que se forma por diversas capas de células cornificadas compactadas, queratinizadas y fuertemente adheridas entre sí. Es en esta capa donde se encuentra la mayor cantidad de pigmento.
- 3) Cutícula o superficie. Es la capa más externa y que se forma por células cornificadas dispuestas en forma de escamas, las cuales son llamadas escamas cuticulares.

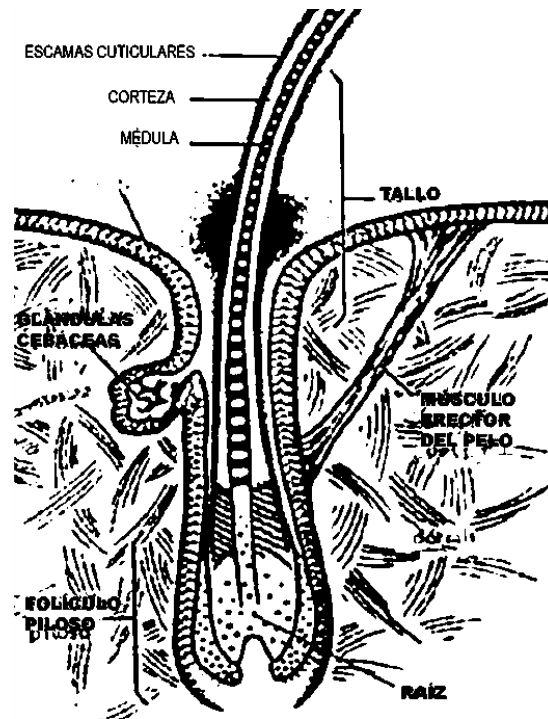


Figura 1. Estructura del pelo. Tomada de Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez (2003).

El pelo se puede clasificar en tres tipos principales de acuerdo a su forma y función (Arita 1985, Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003, Juárez *et al.* 2007):

- 1) Vibrisas, también conocidos como pelos táctiles: son pelos largos y bien desarrollados cuya función principal es sensorial, ya que presentan folículos con tejido eréctil cuya función es sensorial. Este tipo de pelo se encuentra solo en ciertas regiones del cuerpo, generalmente en el rostro, aunque algunos mamíferos se pueden encontrar en otras zonas como las patas. Cabe mencionar que el humano es el único mamífero que no posee este tipo de pelo.
- 2) Pelos de guardia, de protección o de contorno: son pelos largos que dan la forma y tonalidad general de los organismos, su función principal es la de protección. En este tipo de pelos se incluyen las espinas y las cerdas (Figura 2).
- 3) Pelos de bajo piel, bajo manto o de lana: son pelos delgados y cortos, generalmente alaciados que se encuentran debajo de los pelos de guardia y

su principal función es el aislamiento térmico. Este tipo de pelos generalmente no presentan médula (Figura 2).

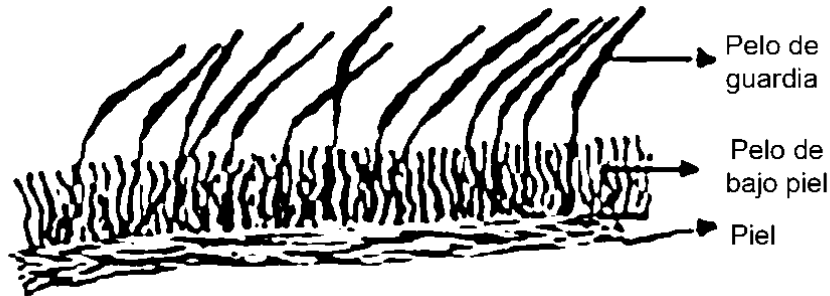


Figura 2. Disposición de los pelos de guardia y bajo piel. Tomado de Arita (1985).

El pelo es un material muy resistente y que se puede obtener fácilmente, además muy interesante, ya que su estructura microscópica presenta características bien definidas que se han considerado útiles para la identificación (Hausman 1920, Arita 1985). Los pelos de guardia son los más utilizados debido a que estos presentan patrones consistentes en su médula, forma y coloración (Juárez *et al.* 2007).

A continuación se describen algunos de los criterios que pueden ser utilizados para la identificación del pelo según Arita (1985):

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS:

Longitud total: la longitud de pelo en muchas ocasiones es útil para la identificación, sin embargo hay que estar seguros que el pelo está completo, desde la raíz hasta la punta.

Color: en ocasiones la coloración del pelo combinado con otras características puede ser de gran utilidad en la identificación.

Bandas: la disposición y el número de bandas de color es un carácter constante en una especie por lo que es un criterio importante. De acuerdo al

bandeado el patrón del pelo se pueden clasificar en (Figura 3) (Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003):

- 1) Uniforme: cuando no existen diferencias de tono y color a lo largo del pelo y se clasifica en claro (C) u oscuro (O).
- 2) Bicolor: cuando el pelo presenta dos tonos contrastantes del mismo color o dos colores diferentes.
- 3) Con bandas: cuando el pelo presenta más de tres zonas de color bien definidas. Para nombrarlas se inicia de la parte proximal, es decir de la raíz del pelo.

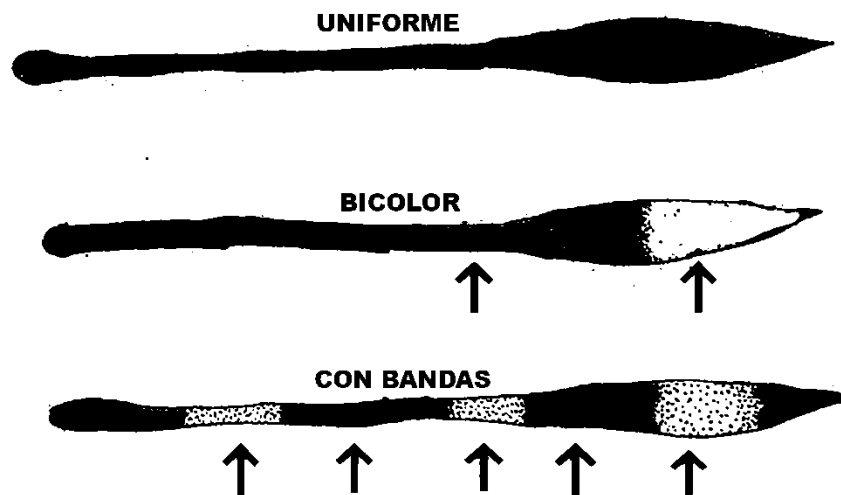


Figura 3. Tipos de pelo según su patrón de bandeo. Tomado de Arita (1985).

Forma: la forma se relaciona con la regularidad del diámetro a lo largo del pelo y se clasifica como:

- 1) Con escudo: cuando una región del pelo (generalmente en la parte distal aunque también en la media) presenta un ensanchamiento (Figura 4).
- 2) Sin escudo: Cuando no presenta un ensanchamiento abrupto, es decir su diámetro prácticamente es regular a lo largo del pelo (Figura 4).
- 3) Con constricciones: cuando el pelo presente una reducción pronunciada del diámetro del cañón, cuando exista un doblez pronunciado del pelo o

cuando exista un cambio en la configuración de la médula o del patrón de las escamas (Figura 5).

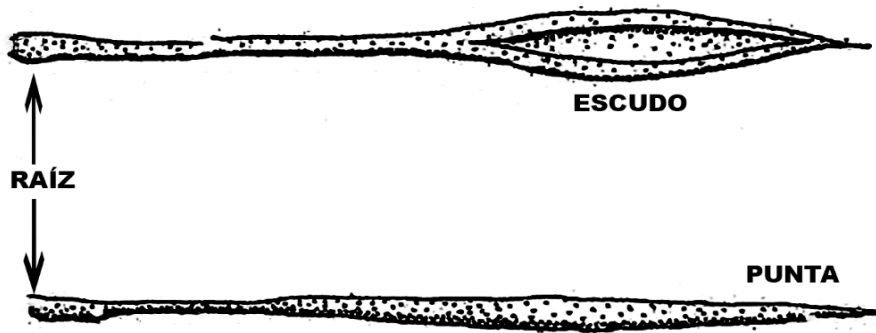


Figura 4. Pelo con y sin escudo. Tomado de Arita (1985).

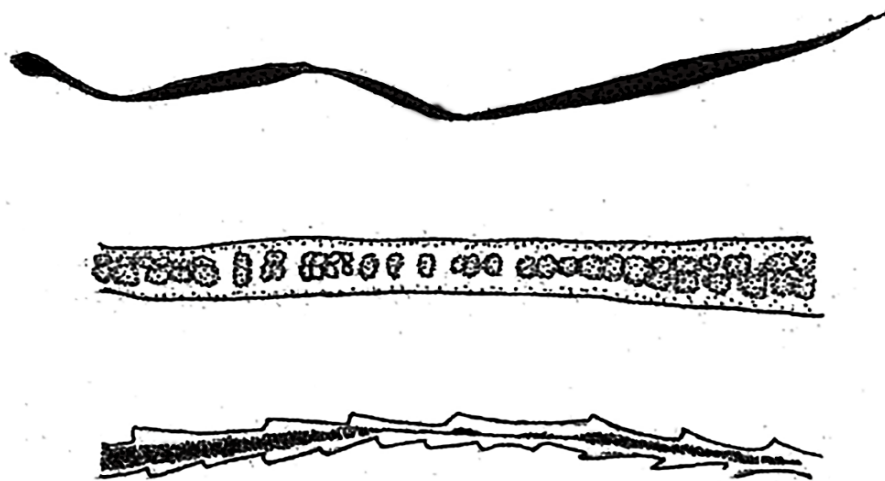


Figura 5. Diferentes tipos de constricciones del pelo. Tomado de Arita (1985).

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS

Estructura de la médula: se ha considerado que el diámetro de la médula comparada con el diámetro del pelo puede ayudar a la clasificación, sin embargo,

el criterio más útil para la identificación del pelo es la configuración de la médula, la cual resulta de las intrusiones de la corteza y la distribución de las células. Es importante mencionar que en los pelos de bajo piel no hay médula, al igual que en cualquier tipo de pelo de los murciélagos (Arita 1985, Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003).

Se han realizado diversas clasificaciones para los tipos de medula que se pueden encontrar en los pelo, sin embargo, la que se utiliza en el presente estudio es la también utilizada por Arita (1985). Esta clasificación se basa en cuatro tipos principales y diversos subtipos (Figura 6):

Médula ausente: pelos que no presentan médula y donde la corteza se extiende hasta el centro del pelo.

Médula continua: médula presente, la cual no se interrumpe y se puede clasificar en:

Continúa amorfa: la médula es un tubo continuo sin células aparentes.

Continúa con celdillas: la médula es un tubo formado por células de forma irregular.

Continúa vacuolar: la médula está formada por células, algunas en forma de grandes vacuolas que parecen grandes espacios vacíos.

Continúa con intrusiones corticales: la médula es un tubo continuo con material de la corteza que aparece como proyecciones y/ o islas.

Rejilla continúa: la médula es un tubo continuo formado por células pequeñas de forma poligonal. Generalmente la corteza queda muy reducida y puede parecer ausente.

Médula fragmentada: la médula esta interrumpida a intervalos irregulares por material de la corteza.

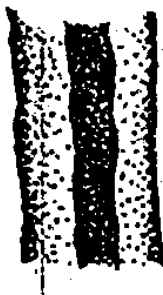
Médula escalonada: la médula está formada por una o varias columnas de células de forma más a menos rectangular y separadas por septos. Esta se puede dividir en:

Escalonada uniserial: cuando solo hay una columna de células.

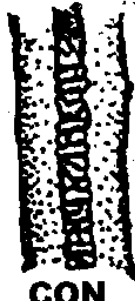
Escalonada multiserial: cuando hay dos o más columnas de células.



AUSENTE



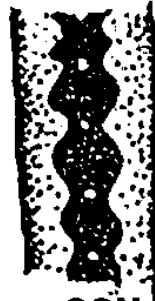
AMORFA



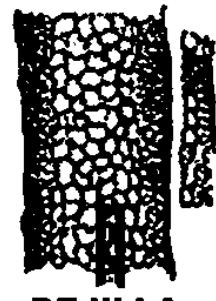
**CON
CELDILLAS**



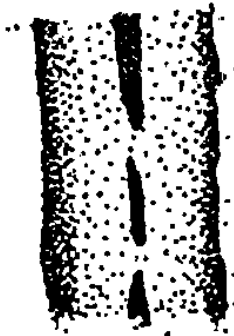
VACUOLA



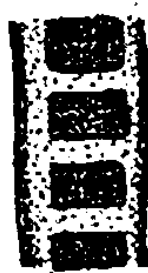
**CON
INTRUSIONES
CORTICALES**



REJILLA



FREGMENTADA



ESCALONADA UNISERIAL



**ESCALONADA
MULTISERIAL**

Figura 6. Tipos de patrones medulares. Tomada de Arita (1985).

Estructura de la cutícula: La cutícula está formada por una fina capa de escamas (células queratinizadas aplanadas) y se ha considerado que la estructura y patrón de éstas, puede ser útil para la identificación del pelo, debido a esto se consideran tres criterios para examinar las escamas cuticulares: los márgenes, la distancia entre las escamas y el patrón de las escamas (Arita 1985.)

Tipo de margen: el margen es la orilla libre de la escama que generalmente se encima sobre la siguiente. Estos se clasifican en tres tipos: lisos, crenados y rizados (Figura 7).

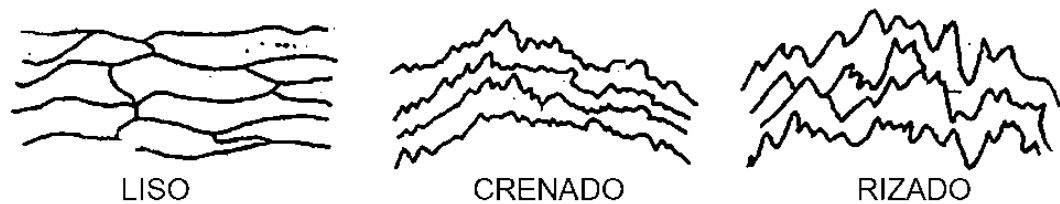


Figura 7. Tipos de márgenes de las escamas. Tomado de Arita (1985).

Distancia entre las escamas o distancia marginal: es el espacio entre los márgenes de escamas consecutivas y puede clasificarse como cercana, intermedia o lejana. Sin embargo, se recomienda no utilizar términos tan subjetivos y medir directamente la distancia (Figura 8).

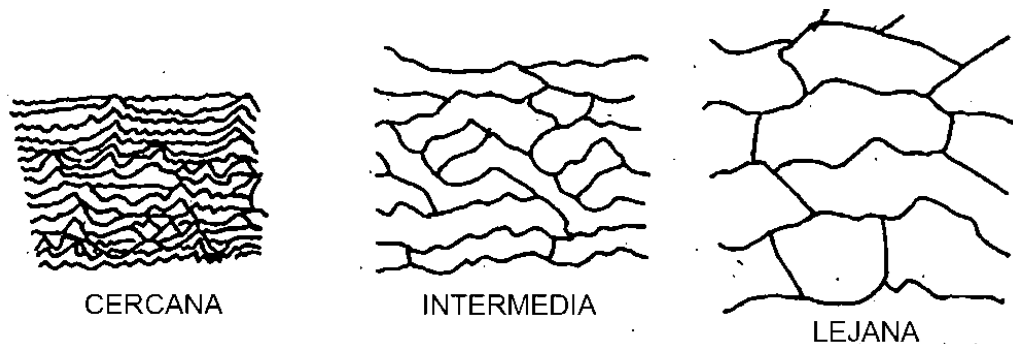


Figura 8. Tipos de distancia marginal. Tomado de Arita (1985).

Patrones de las escamas. Los patrones de las escamas han sido clasificados por diversos autores, sin embargo en el presente trabajo se utilizó la

clasificación propuesta por Arita (1985), la cual es una síntesis de la clasificación propuesta por Hausman (1920), Benedict (1957) y Wildman (1954).

Escamas coroneles: son aquellas que ocupan toda la circunferencia del cañón y se pueden clasificar de acuerdo a su divergencia y por el tipo de margen y forma de la escama.

Por su divergencia se clasifica en: adpresas, divergentes y divaricadas (Figura 9).

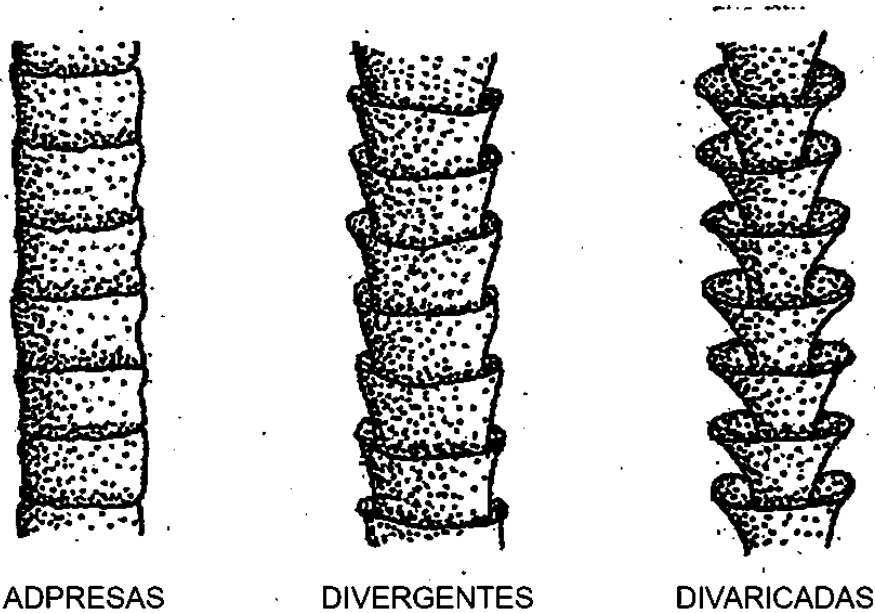


Figura 9. Tipos de escamas según su divergencia. Tomada de Arita (1985).

Por su forma y tipo de margen se clasifican en entera, repanadas, sinuadas, emarginadas, hastadas simétricas, hastadas asimétricas, denticuladas, dentadas, erosas, crenadas, lobadas anchas y lobadas angostas (Figura 10).

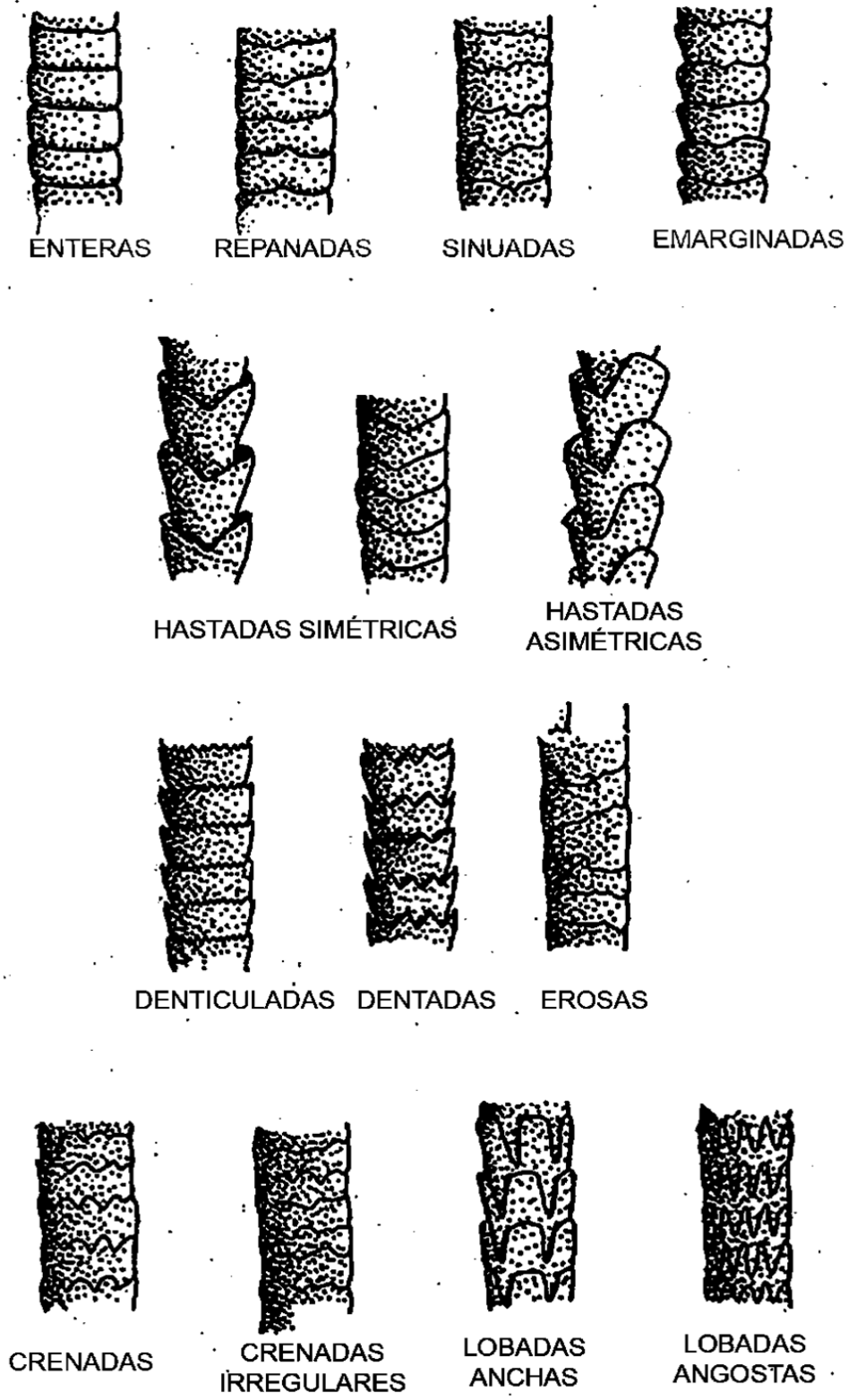


Figura 10. Tipos de escamas coronales de acuerdo a su forma y tipo de margen. Tomada de Arita (1985).

Escamas imbricadas: se clasifican en pétalo irregular, pectinado, mosaico regular, mosaico irregular, ondulado regular, ondulado irregular, mosaico ondulado, ondulado rayado, en V sencillo, en V doble (Figura 11).

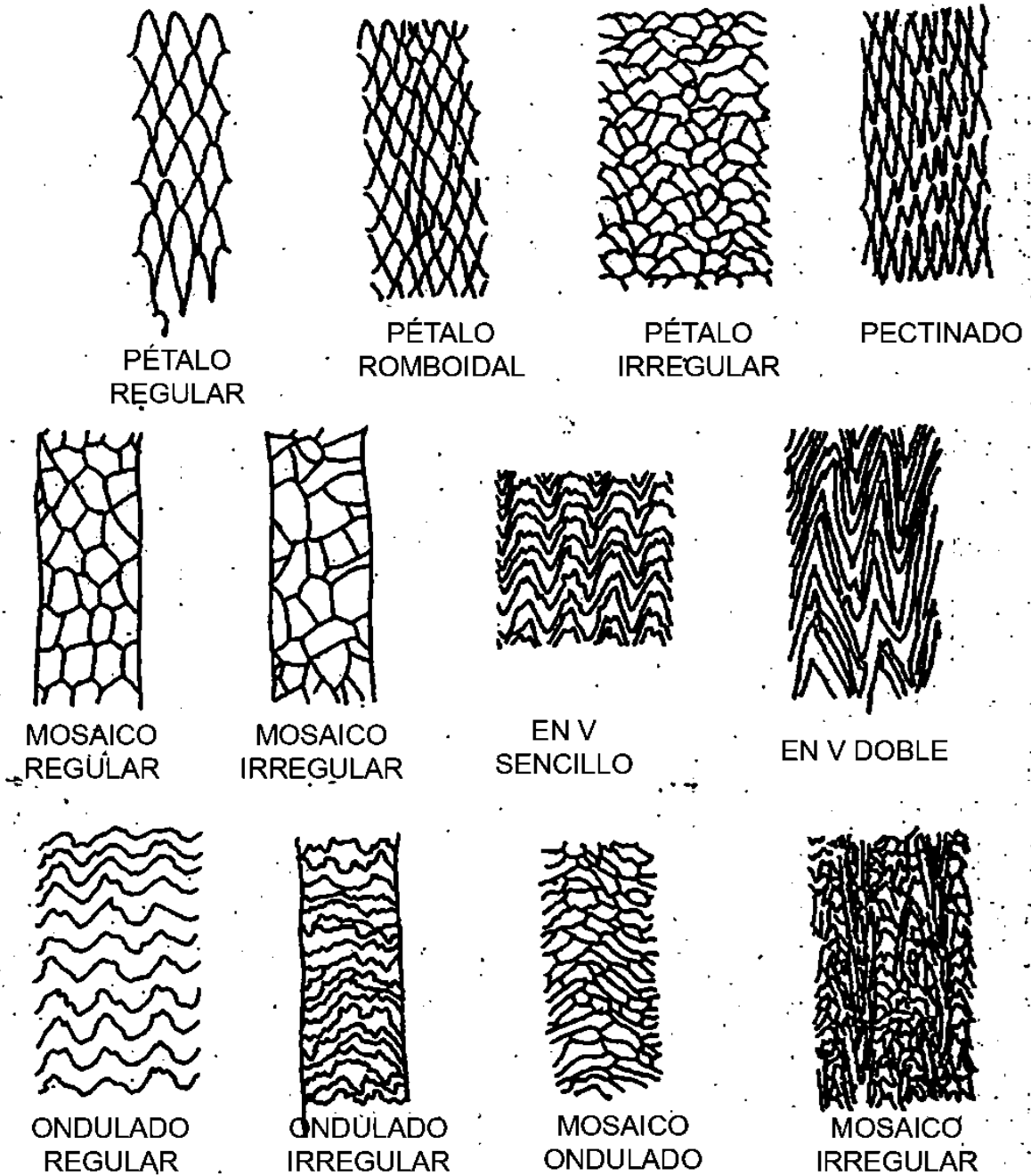


Figura 11. Clasificación de las escamas imbricadas. Tomada de Arita (1985).

El pelo es una estructura muy resistente y puede someterse a diversos procesos sin sufrir alguna alteración, como por ejemplo digestión, taxidermia, putrefacción, etc. Por lo que puede ser utilizado para la identificación de especies de las muestras de pelo que se pueden encontrar en las egagrópilas, heces y contenidos estomacales. De igual manera su raíz protege a algunas células de las cuales se puede extraer DNA con las cuales se pueden realizar diversos estudios de genética molecular (Juárez *et al.* 2007).

ANEXO 3. FICHAS DIGITALES DEL PELO

METODOLOGÍA

Para la realización de las fichas técnicas del pelo, se tomaron muestras pelo de especímenes que se distribuyen en la zona de estudio, las cuales se obtuvieron de diferentes fuentes: especímenes que se encuentran en la colección de mamíferos del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias (MZFC) de la UNAM, de organismos en cautiverio y de organismos en vida silvestre.

Para el caso de los organismos que se encontraban depositados en colecciones científicas se tomaron muestras de pelo de guardia de la región dorsal. Cada muestra de pelo se tomó con ayuda de unas pinzas de disección curva punta roma y se colocó dentro de bolsas de plástico con cierre, así mismo se anotó todos los datos del espécimen al que se le tomo la muestra. Para las muestras que se obtuvieron de organismos en cautiverio, estas fueron tomadas del pelo que dejan en las jaulas o sitios de descanso y para las muestras de animales silvestres, se colocaron trampas con atrayentes olfativos o se tomaron de los pelos que fueron encontrados en excretas de *Panthera onca*.

Posteriormente en el Laboratorio de Ecología del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, se caracterizó el pelo de cada especie de manera macroscópica, observando el patrón de coloración, así como el tamaño (tomando en cuenta 30 pelos que estuvieran completos) y forma de este, basándose en la caracterización de Arita (1985) y Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez (2003) (Anexo 2). La caracterización macroscópica se hizo con ayuda de un microscopio digital USB 2.0 de la marca Plugable, para poder observar con detalle las características de los pelos.

A continuación los pelos fueron sometidos a un proceso de limpieza con agua y jabón para quitar todas las impurezas posibles y posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente.

Cuando los pelos estaban completamente secos se procedió a la aclaración de éstos, para poder observar la estructura interna, para ello se tomaron

aproximadamente 10 pelos y se colocaron en tubos de ensayo de vidrio con tapa, en el cual también se les colocó la cantidad necesaria de Xileno o Xilol absoluto para cubrirlos totalmente, el cual cumple con la función de líquido aclarador. El tiempo de exposición necesario para que el pelo este aclarado totalmente, depende del grosor y pigmentación de este, variando desde un día para los roedores hasta ocho días para los felinos y canidos (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003), debido a esto, todas las muestras de pelo se mantuvieron en exposición con el xilol por 10 días.

Posteriormente se procedió a realizar las preparaciones permanentes, para lo cual, en un portaobjetos se montó los pelos utilizando bálsamo de Canadá diluido en Xilol como fijador y se dejaron secar hasta que el bálsamo estuviera completamente solidificado (Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003).

Cuando las preparaciones estaban completamente secas se procedió a caracterizar el pelo microscópicamente, observando la configuración de la médula (de la cual se tomaron fotografías) y las escamas, tomando en cuenta la clasificación utilizada por Arita (1985), para ello se utilizó un microscopio óptico Nikon modelo Eclipse E200 con un aumento de 400X. Lo anterior se realizó en las instalaciones de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO).

Es importante mencionar que la caracterización de la médula se hace en la región medio distal del pelo, ya que es en este lugar donde la médula esta mejor diferenciada (Monroy-Vilchis & Rubio-Rodríguez 2003). Con las imágenes de las médulas caracterizadas se procedió a realizar fichas digitales con las características y recomendaciones que propone Botello *et al.* (2007), sin embargo, con algunas adaptaciones en cuanto a la información para el presente trabajo.

A continuación se menciona la información que se consideró para las fichas digitales de las médulas de los pelos:

Nombre de la especie; nombre de la colección de donde se encuentra el espécimen del cual se tomaron las muestras de pelo; número de catálogo (en caso de haber obtenido las muestras de otra forma como a través de trampas de pelo o

excretas, se coloca el método por el cual fueron obtenidas); localización geográfica de la colecta (grados, minutos y segundos); altitud sobre el nivel del mar (msnm); clima; vegetación; localidad; fecha de colecta; colector; longitud total de pelo (promedio y desviación estándar en milímetros); patrón de coloración (bandas), en ocasiones el pelo de una especie puede presentar diferentes patrones de coloración, los cuales se incluirán en la ficha, separados por comas ; forma del pelo; tipo de médula; microscopio; aumento; proyecto; responsable; responsable de montado.

Para la designación del nombre de la ficha se considera la siguiente información:

Nombre de la especie (primera letra del género y primeras dos letras de la especie); clave del país; clave de la Entidad Federativa; clave del municipio (de la colección digital); iniciales del caracterizador; número de caracterización; tipo de archivo (.tif).

RESULTADOS

Se realizó un total de 24 fichas fotográficas de 24 especies diferentes (una por cada especie), las cuales pertenecen a 13 Familias y 5 Ordenes. Las muestras de pelo de 18 especies (*Bassariscus astutus*, *Canis latrans*, *Conepatus leuconotus*, *Dasyprocta mexicana*, *Didelphis marsupialis*, *Didelphis virginiana*, *Eira barbara*, *Galictis vittata*, *Leopardus wiedii*, *Mustela frenata*, *Nasua narica*, *Philander oposum*, *Potos flavus*, *Procyon lotor*, *Puma yagouaroundi*, *Sicurus aureogaster*, *Sphiggurus mexicanus* y *Tamandua mexicana*) se obtuvieron de especímenes que se encuentran en la colección de mamíferos Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias (MZFC) de la UNAM. Muestras de pelo de organismos en cautiverio únicamente se obtuvo de una especie: *Panthera onca*, las cuales fueron donadas por el Santuario del Jaguar ubicado en el Estado de Oaxaca y muestras de pelo obtenidas de organismos silvestres pertenecen a cinco especies, tres de ellas (*Cuniculus paca*, *Mazama temama* y *Pecari tajacu*) se obtuvieron de muestras de pelos encontrados en excretas de jaguar colectadas en el municipio de Santiago

Comaltepec, en la Sierra Norte de Oaxaca, una más (*Urocyon cinereoargenteus*) se obtuvo con las trampas de pelo colocadas en la zona de estudio y otra (*Puma concolor*) se obtuvo de un ejemplar cazado cerca de la zona de estudio.

A continuación se muestran las fichas fotográficas realizadas de las 24 especies analizadas:

ORDEN CARNIVORA

FAMILIA CANIDAE



Canis latrans

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

12075

Ejido Tecolotes, Villa de Reyes, San Luis Potosí, México.

MNW 200

39.9 ± 10.6 mm.

Patrón de coloración: con bandas (O-C-O, C-O-C)

Sin escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

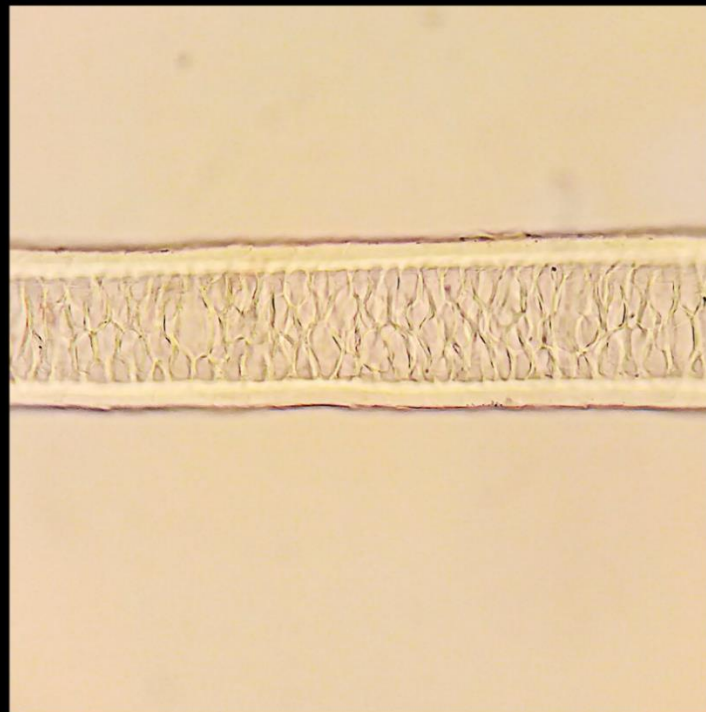
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Urocyon

cinereoargenteus

Colectados con trampas de pelo

17° 34'28.8", 96°28'55.3"

2460 msnm.

Bosque de pino

Las cascadas, Santiago Comaltepec, Oaxaca, México.

17/04/2017

Ana Cristina Victoria Hernández

30.3 ± 4.9 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C), bicolor (C-O) o con bandas (O-C-O, O-C-O-C-O, C-O-C, C-O-C-O, C-O-C-O-C-O)

Sin escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

SIP-20161645

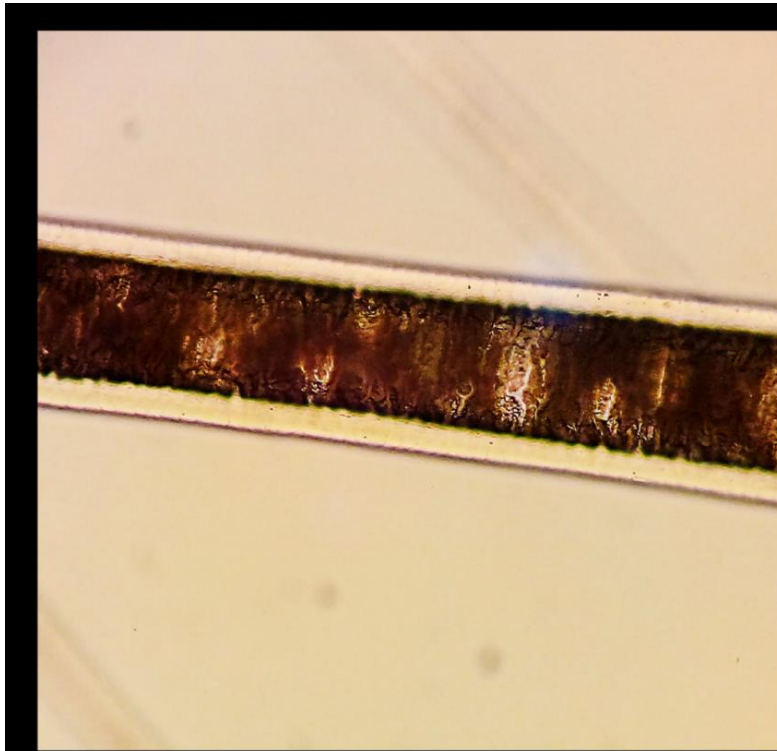
Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana Cristina

Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA FELIDAE



Leopardus wiedii

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

1407

Chilpancingo, Guerrero, México.

14/06/1984

049 F.R.R

19.3 ± 4.5 mm.

Patrón de coloración: con bandas (O-C-O)

Con escudo

Médula: continua vacuolar

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Panthera onca

Santuario del jaguar, Oaxaca, México.

16° 55'28", 96° 26'14"

1645 msnm.

San Isidro, Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, México.

06/11/2017

Luis Alberto Yescas Zárate

13.1 ± 3.3 mm.

Patrón de coloración: uniforme (O, C), bicolor (C-O) o con bandas (O-C-O)

Con escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

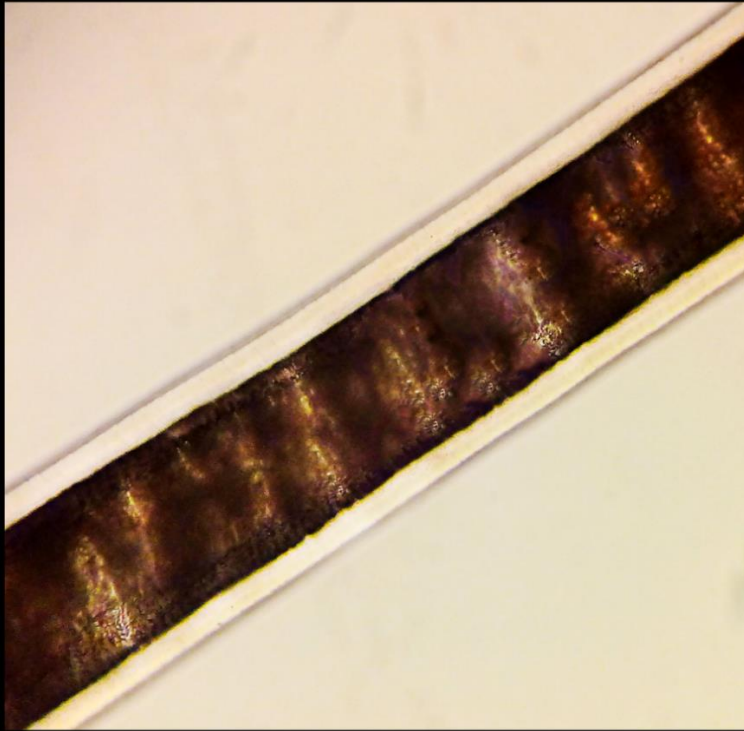
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Puma concolor

Colectados de la piel de un animal cazado

17° 25' 30.8", 96° 15' 45.91"

894 msnm

Bosque mesofilo de montaña
Santiago Lalopa, Villa Alta,
Oaxaca, México.

15/01/2017

Hermilo Martínez Velazco

12.8 ± 7.8 mm.

Patrón de coloración: bicolor (C-O)

Con escudo

Médula: continua vacuolar

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

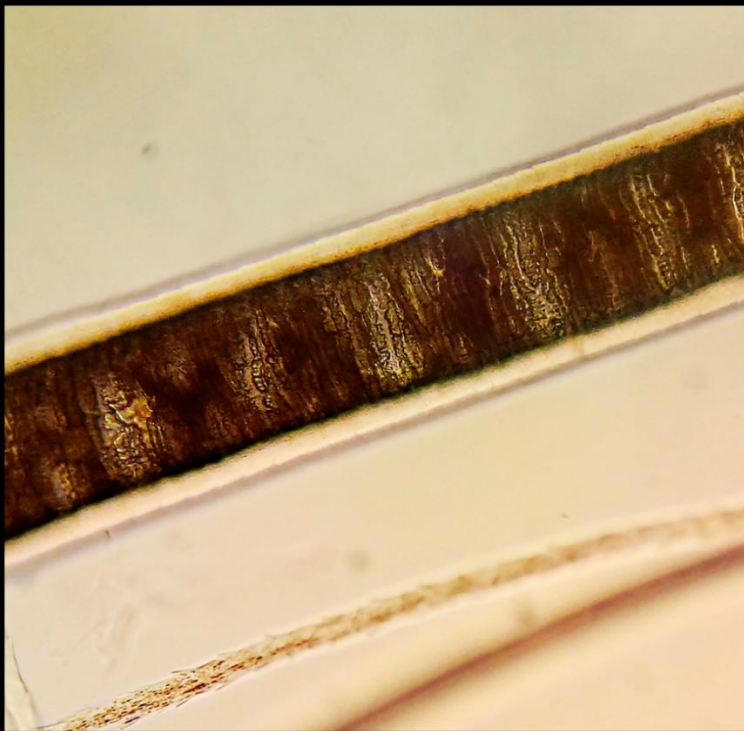
Caracterización y partición de la
diversidad orgánismica de
comunidades de mamíferos de
Santa María Chimalapa, Oaxaca,
México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Puma yagouaroundi

Colección de mamíferos, Museo de

Zoología, Facultad de Ciencias,

UNAM

14024

Chilapa de Álvarez, Guerrero,

México

PONA 010

20.1 ± 8.8 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C)

o con bandas (C-O-C-O-C,

C-O-C-O-C-O)

Sin escudo

Médula: continua vacuolar

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

Caracterización y partición de la
diversidad orgánismica de
comunidades de mamíferos de
Santa María Chimalapa, Oaxaca,
México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA MEPHITIDAE

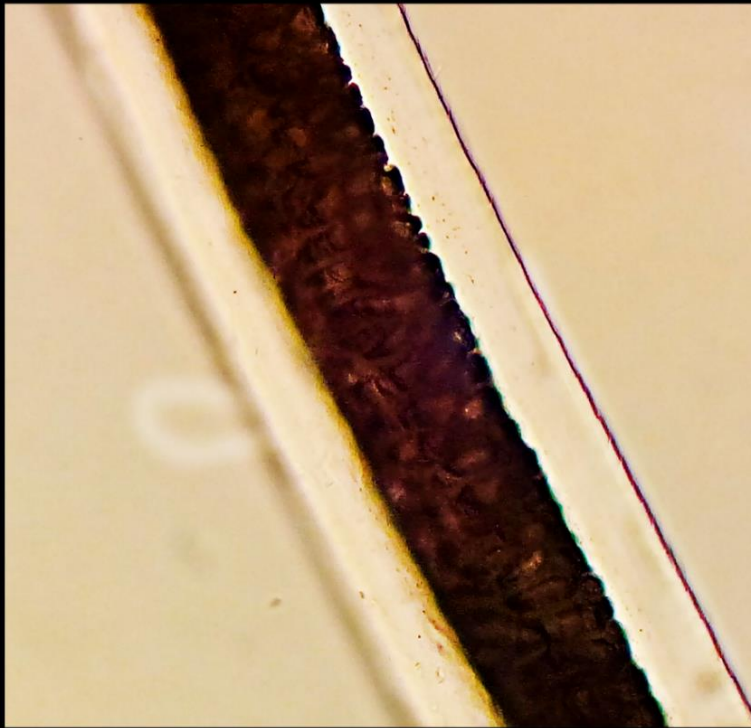


Conepatus leuconotus

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM
1403
2540 msnm
Tlacotepec, Puerto del Gallo, Guerrero, México
01/09/1983
29.5 ± 7.3
Patrón de coloración: uniforme (C, O)
Sin escudo
Médula: continua con celdillas
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánsmica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA MUSTELIDAE



Eira barbara

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

Sin datos (MZFC)

Yucatán, México.

21 ± 10 mm.

Patrón de coloración: uniforme (O) o bicolor (C-O)

Sin escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

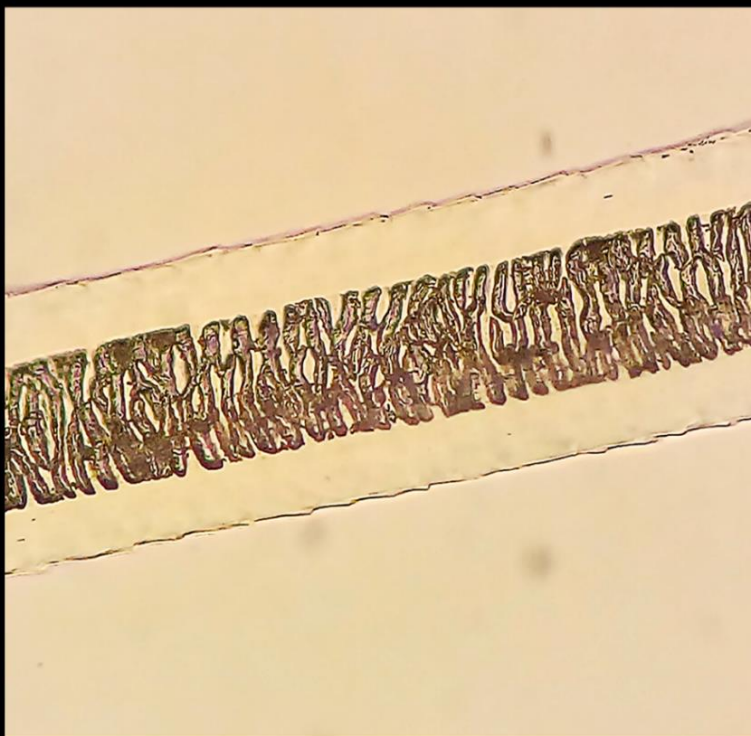
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Galictis vittata

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

03454

26/01/1983

Santa Inés, Querétaro.

398 MQ.

26.8 ± 10.5 mm.

Patrón de coloración: uniforme (O) o con bandas (C-O-C)

Con escudo

Médula: continua con intrusiones corticales

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

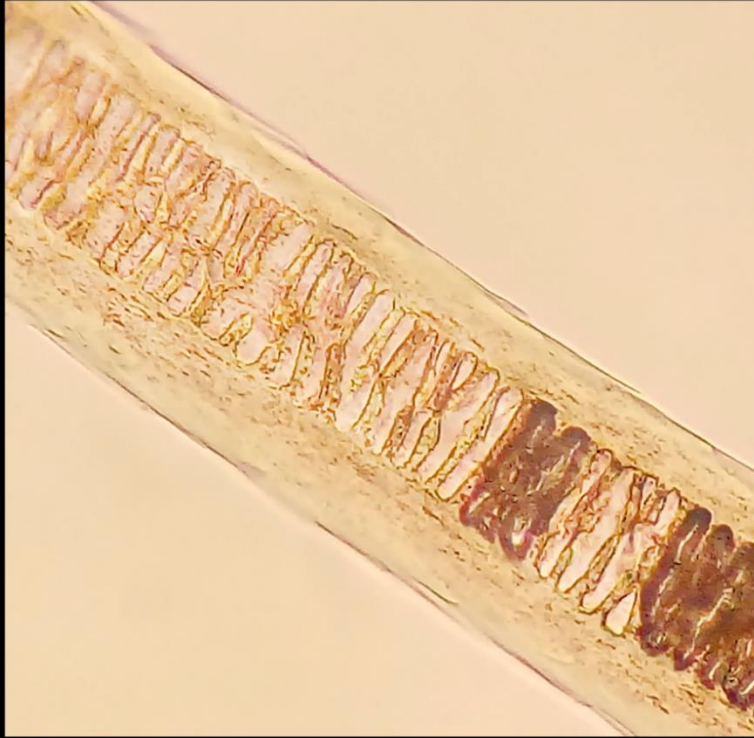
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

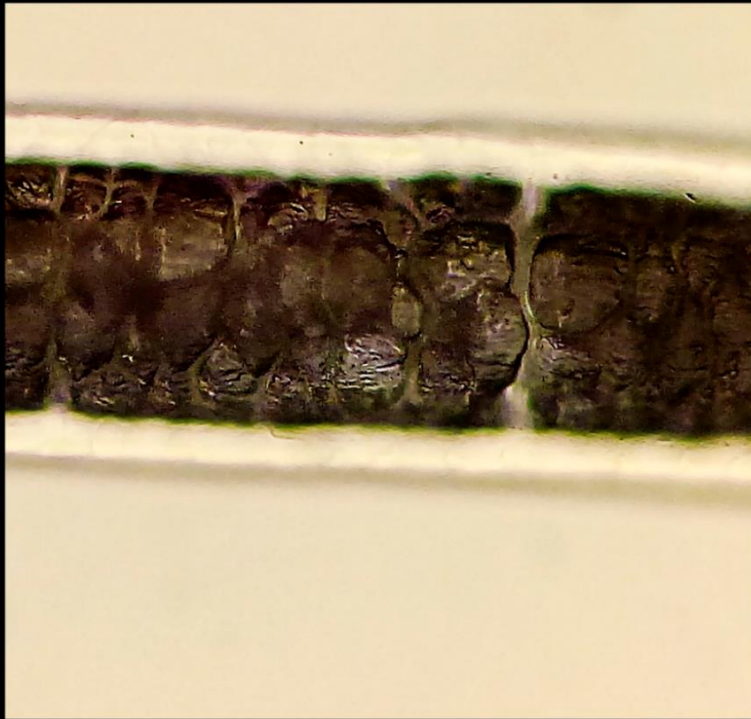


Mustela frenata

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM
10678
Oaxaca, México
21/04/1997
UNSP 381
11 ± 2.5 mm.
Patrón de coloración: uniforme (O)
Con escudo
Médula: continua con intrusiones corticales
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA PROCYONIDAE



Bassariscus astutus

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

San Antonio Acatepec, Zoquitlán, Puebla.

20/06/2007

26.5 ± 6.8 mm.

Patrón de coloración: uniforme (O, C), bicolor (C-O) o con bandas (O-C-O)

Con escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Nasua narica

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

01330

1400 msnm

Atoyac, Nueva Delhi, Guerrero, México.

02/10/1984

Julio Juárez

16.8 ± 6.8 mm.

Patrón de coloración: con bandas (C-O-C-O-C-O-C-O)

Sin escudo

Médula: continua con celdillas

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

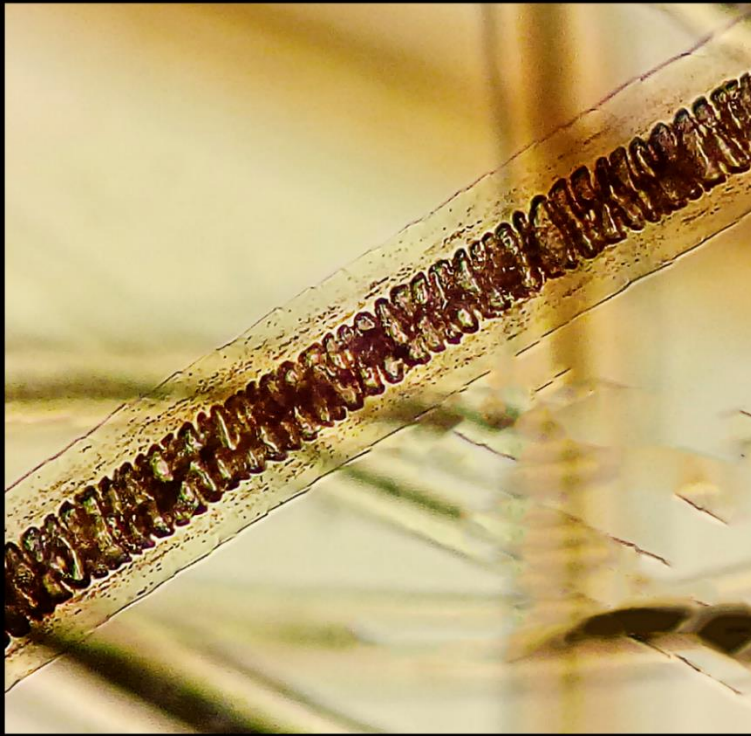
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

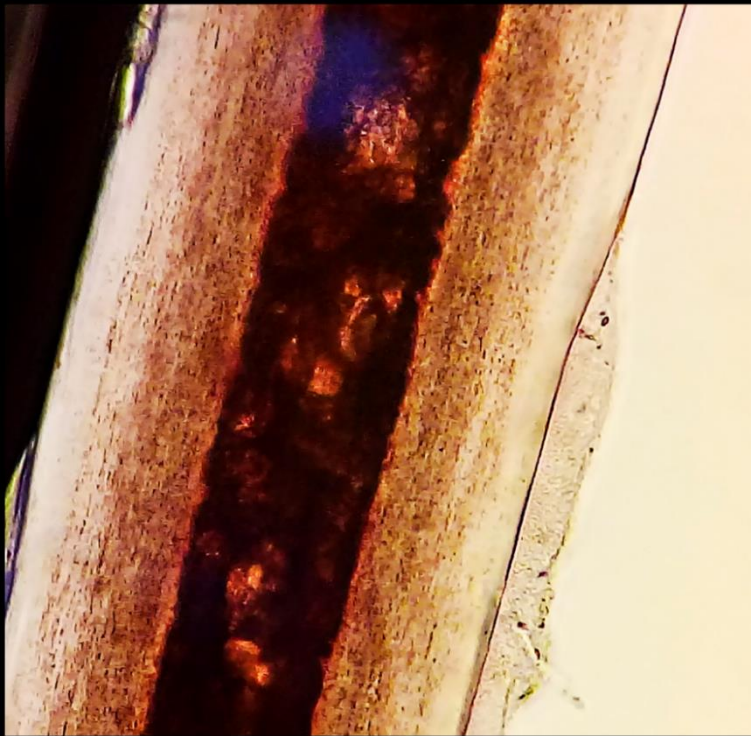
Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Potos flavus

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM
9351
Leonardo Bravo, Guerrero
18/04/2003
MAMT 029
24 ± 8 mm.
Patrón de coloración: uniforme (C) o bicolor (C-O)
Con escudo
Médula: continua con intrusiones corticales
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



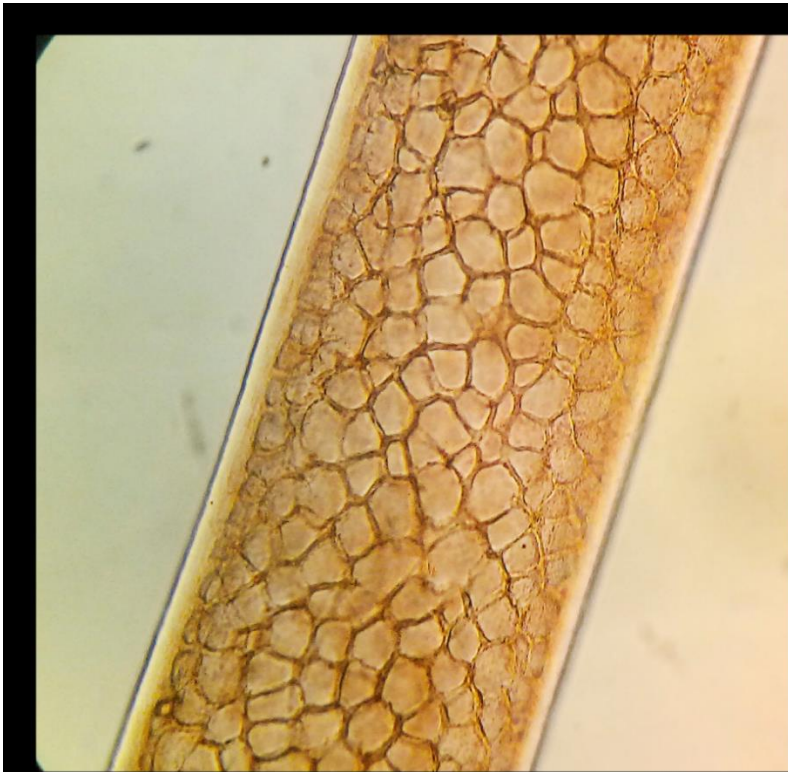
Procyon lotor

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM
19° 56' 14.4", 101° 37' 17.8"
2007 msnm
Cerca de Villa de Jiménez, Michoacán, México.
09/2010
ECOM 009
38.8 ± 11.4 mm.
Patrón de coloración: con bandas (O-C-O)
Sin escudo
Médula: continua con celdillas
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

ORDEN ARTIODACTYLA

FAMILIA CERVIDAE

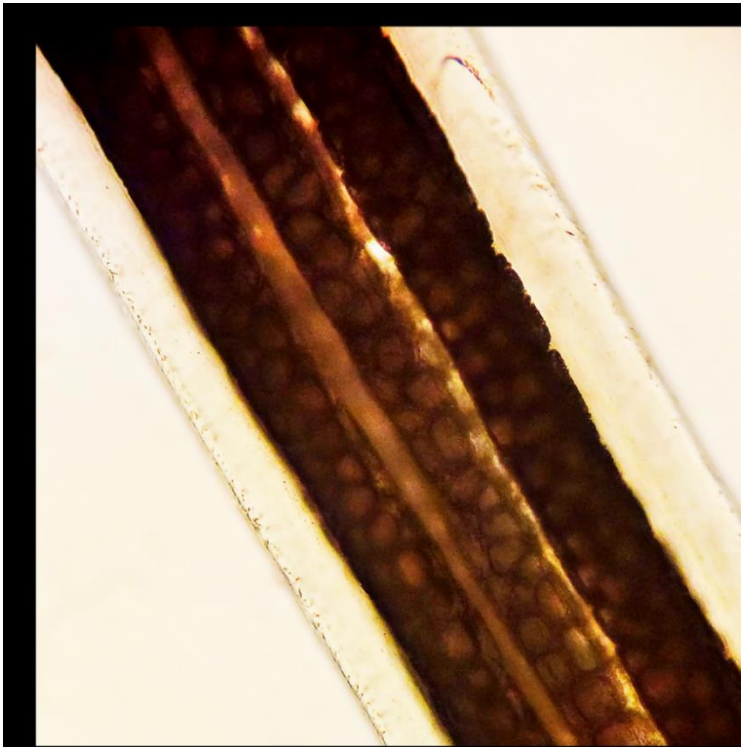


Mazama temama

Encontrados en excretas de
Panthera onca
17° 38' 58", 96° 21' 34.8"
963 msnm.
Bosque mesofilo de montaña
La Esperanza, Santiago
Comaltepec, Oaxaca, México.
18/01/2017
Ana Cristina Victoria Hernández
30.3 ± 9.8 mm.
Patrón de coloración: uniforme (C)
o bicolor (C-O)
Sin escudo
Médula: continua en rejilla
Microscopio óptico Nikon Eclipse
E200
400X
Caracterización y partición de la
diversidad orgánismica de
comunidades de mamíferos de
Santa María Chimalapa, Oaxaca,
México. SIP-20161645
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana
Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA TAYASSUIDAE



Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

Pecari tajacu

Encontrados en excretas de *Panthera onca*

17° 36' 57.8", 96° 21' 59.5"

1732 msnm

Bosque mesófilo de montaña

La Esperanza, Santiago Comaltepec, Oaxaca, México.

18/07/2017

Ana Cristina Victoria Hernández

35.7 ± 10.3 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C, O), bicolor (C-O) o con bandas (O-C-O, O-C-O-C, O-C-O-C-O, O-C-O-C-O-C, O-C-O-C-O-C-O, C-O-C-O, C-O-C-O-C, C-O-C-O-C-O, C-O-C-O-C-O-C-O)

Sin escudo

Médula: escalonada multiserial

Microscopio óptico Nikon Eclipse E200 400X

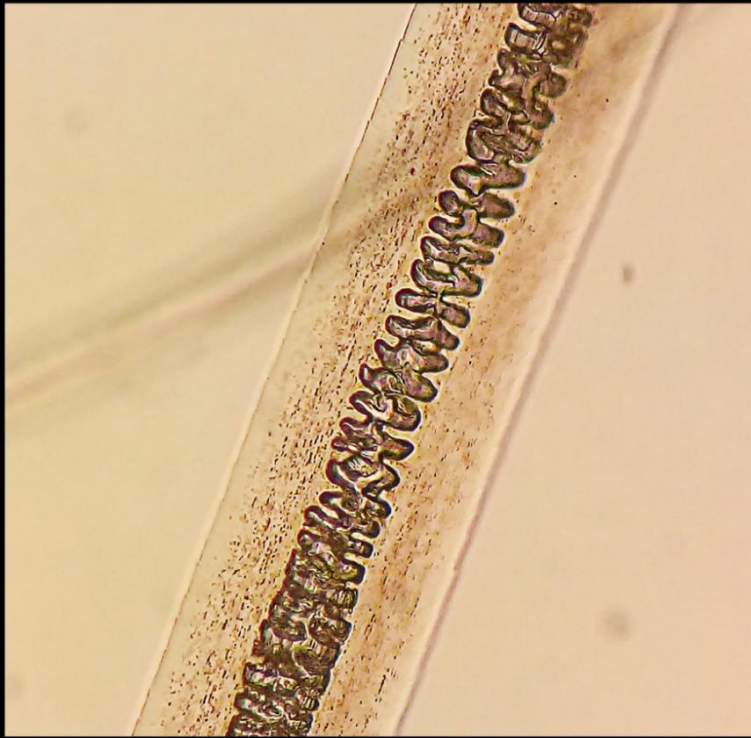
Caracterización y partición de la diversidad orgánica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

ORDEN DIDELPHIMORPHIA

FAMILIA DIDELPHIDAE



Didelphis marsupialis

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM 06286

San Isidro, Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

21/02/1995

UNSP 66

28.8 ± 6.4 mm.

Patrón de coloración: bicolor (C-O)

Sin escudo

Médula: continua con intrusiones corticales

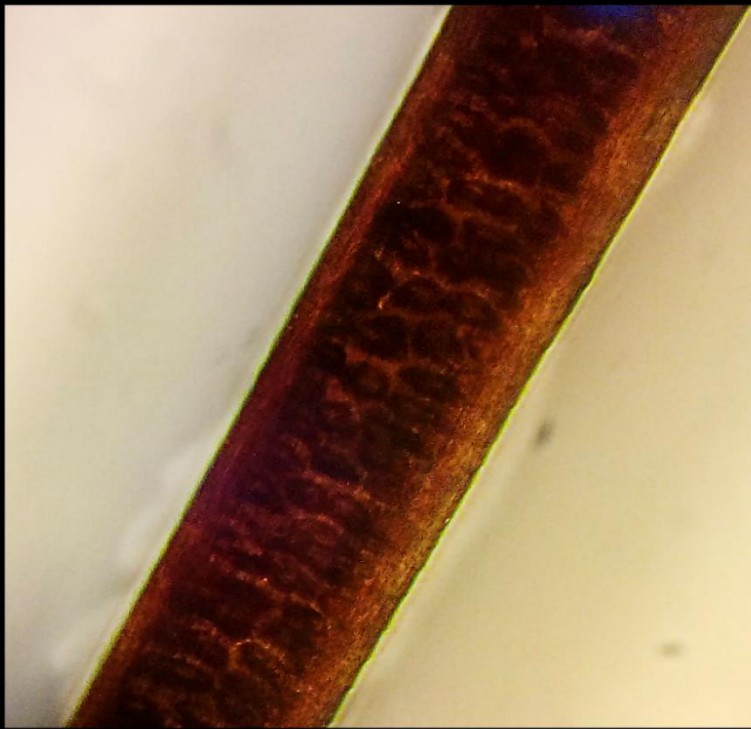
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



Didelphis virginiana

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM 0924

Tlacotepec, Puerta del Callo, Guerrero, México.

29/08/1983

28.6 ± 5.7 mm.

Patrón de coloración: bicolor (C-O)

Sin escudo

Médula: continua con intrusiones corticales

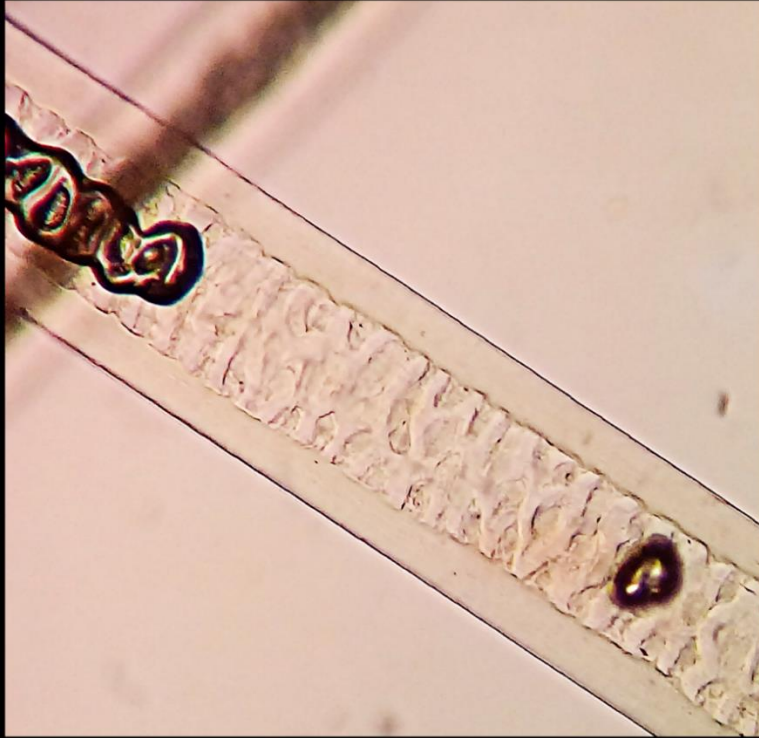
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN



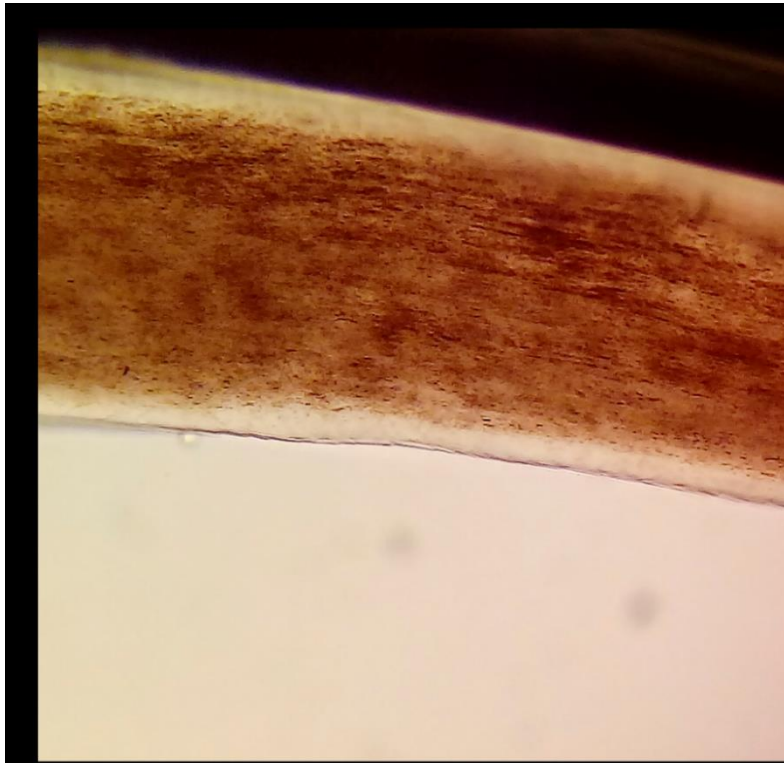
Philander opossum

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM
06284
San Isidro, Santa María Chimalapa, Oaxaca.
22/02/1995
UNSP 081
11.7 ± 1.5 mm
Patrón de coloración: bicolor (C-O)
Con escudo
Médula: continua con intrusiones corticales
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

ORDEN PILOSA

FAMILIA MYRMECOPHAGIDAE



Tamandua mexicana

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

14023

Carretera Coatzacoalcos-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México

20/02/2012

DONA 009

27.9 ± 6.5 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C) o con bandas (C-O-C)

Sin escudo

Médula: ausente

Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

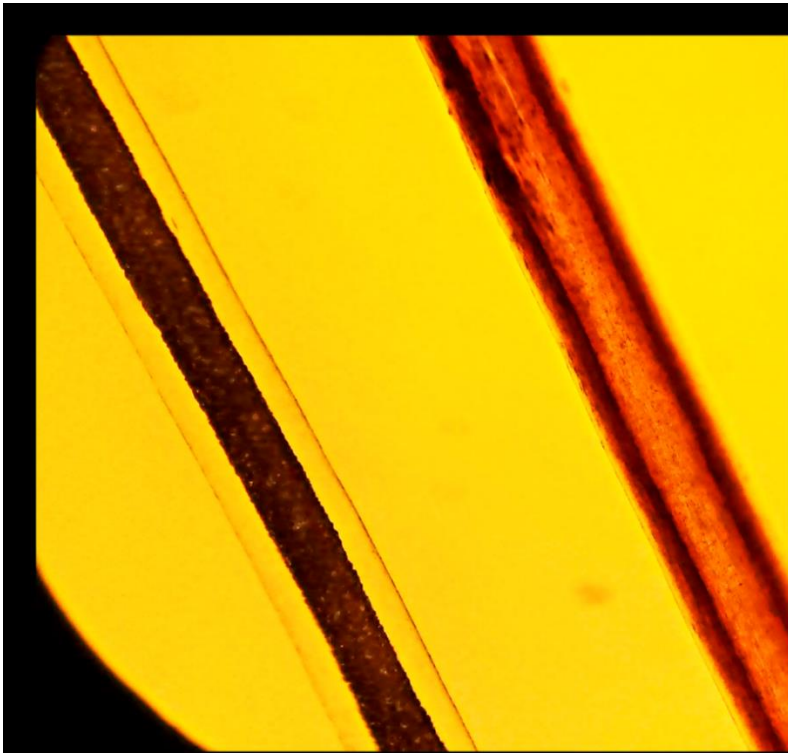
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645.

Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

ORDEN RODENTIA

FAMILIA CUNICULIDAE



Cuniculus paca

Encontrados en excretas de
Panthera onca
17° 38' 32.6", 96° 21' 24.3"
1161 msnm.

Bosque mesofilo de montaña
La Esperanza, Santiago
Comaltepec, Oaxaca, México.
22/12/2016

Ana Cristina Victoria Hernández
19.6 ± 2.4 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C,
O) o bicolor (C-O, O-C)

Sin escudo

Médula: amorfa (pelos oscuros) o
continua en rejilla (pelos claros)

Microscopio óptico Nikon Eclipse
E200

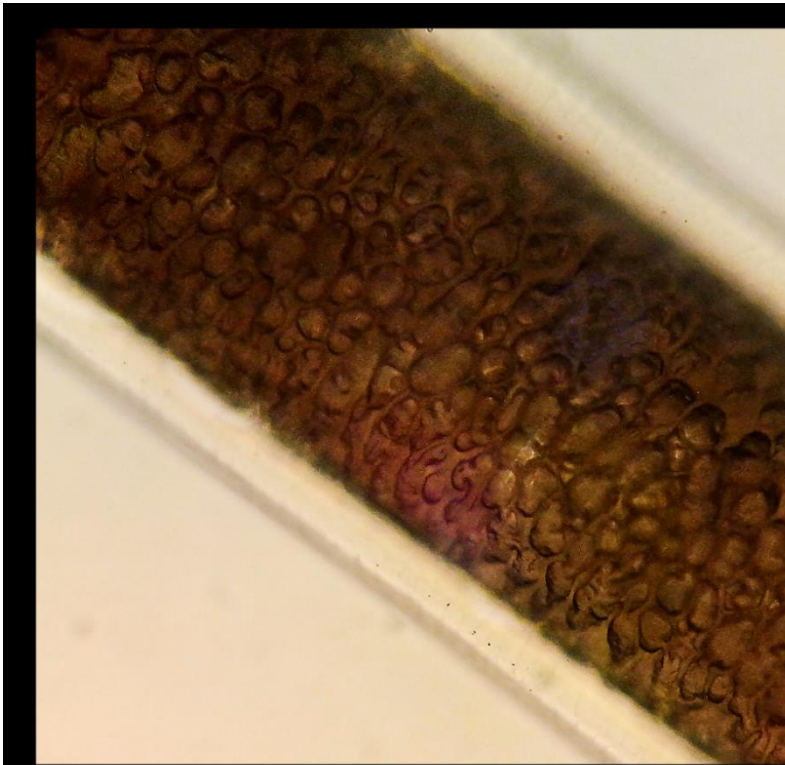
100X

Caracterización y partición de la
diversidad orgánismica de
comunidades de mamíferos de
Santa María Chimalapa, Oaxaca,
México. SIP-20161645

Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana
Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal,
CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA DASYPROCTIDAE



Dasyprocta mexicana

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

9591

Parque ecológico, Emiliano Zapata, Chiapas, México.

17/11/1985

Marcelo Aranda

30.1 ± 6.8 mm.

Patrón de coloración: con bandas (O-C-O-C-O, O-C-O-C-O-C-O, O-C-O-C-O-C-O-C-O)

Sin escudo

Médula: continua en rejilla

Microscopio óptico Nikon Eclipse E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

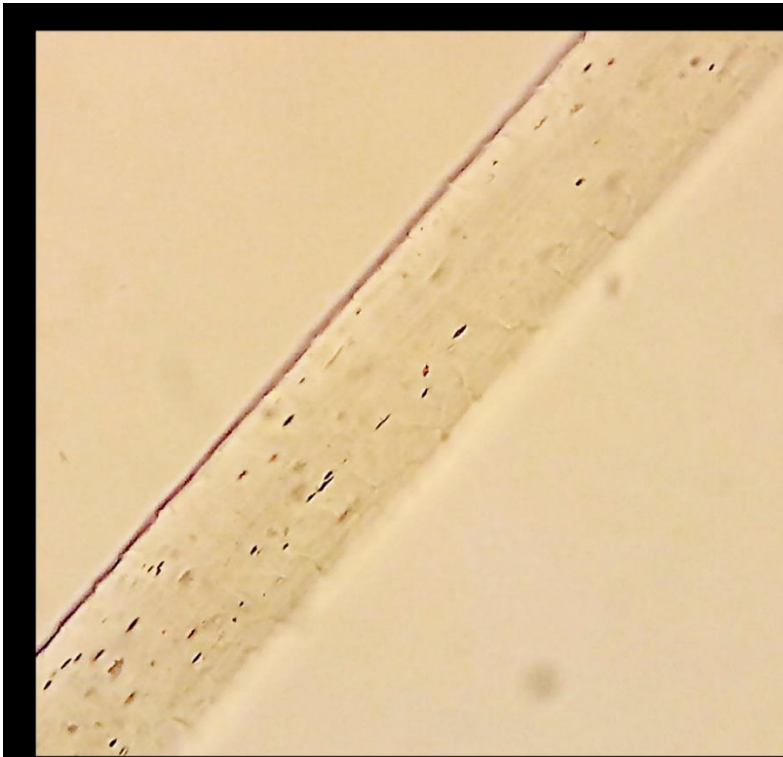
Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana

Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA ERETHIZONTIDAE



Sphiggurus mexicanus

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM

M-0096

Acatepagua, 2.5 km del campamento koatespala, Chiapas, México

20/05/1979

Manuel Lemus

55.7 ± 12 mm.

Patrón de coloración: uniforme (C)

Sin escudo

Médula: ausente

Microscopio óptico Nikon Eclipse

E200

400X

Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645

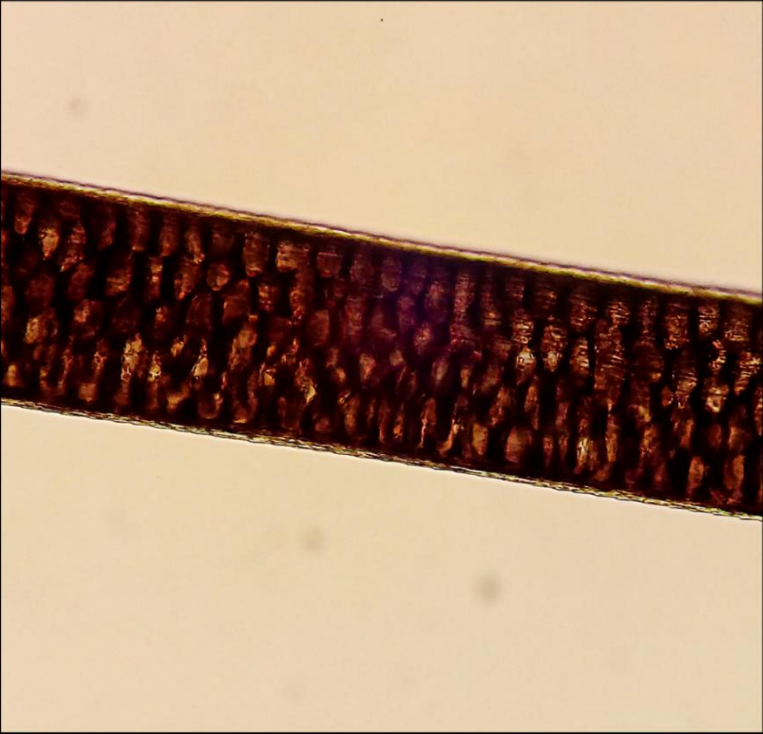
Dr. José Antonio Santos-Moreno

Montado de ficha Biol. Ana Cristina

Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN

FAMILIA SCIURIDAE



Sciurus aureogaster

Colección de mamíferos, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM.
9449
Santa María Yavesia, Ixtlán, Oaxaca
15/08/2002
22.3 ± 12 mm.
Patrón de coloración: uniforme (O), bicolor (C-O) o con bandas (C-O-C-O-C, O-C-O-C-O, O-C-O-C-O-C-O-C).
Sin escudo
Médula: continua en rejilla
Microscopio óptico Nikon Eclipse E200
400X
Caracterización y partición de la diversidad orgánismica de comunidades de mamíferos de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. SIP-20161645
Dr. José Antonio Santos-Moreno
Montado de ficha Biol. Ana Cristina Victoria Hernández

Colección de Fichas fotográficas de pelo del Laboratorio de Ecología Animal, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN