



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ANÁLISIS CROMOSÓMICO DE *Heteromys irroratus*

(Gray, 1868) DE TECAMACHALCO, PUEBLA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PRESENTA

VIRIDIANA MÉNDEZ ZAMORA

DIRECTORA DE TESIS

M. EN C. ROSA MARÍA GONZÁLEZ MONROY

PUEBLA

NOVIEMBRE, 2025



DEDICATORIA

Para mis estrellas del cielo que me acompañan, guían y cuidan siempre.

A mi Jaime, mi amado padre sé que te perdí a una corta edad, pero aún recuerdo cada momento contigo como si fuera ayer. Hoy te doy las gracias porque cuando era niña me hiciste sentir amada, acompañada y que podía obtener todo lo que me propusiera. Este logro es para ti con el deseo de que estés orgulloso y sigas iluminando mi vida como lo has hecho hasta ahora.

Abuelo Alfonso gracias porque incluso en los últimos momentos juntos me enseñaste a ser fuerte, me mostraste que todos merecemos ser felices y siempre debemos ver las cosas buenas incluso en los peores momentos.

Mamá Tere gracias por escucharme, por preocuparte por mí, darme todo tu amor y por estar siempre ahí cuando lo necesite. De ti aprendí que el amor es infinito, no importa la distancia, ni el tiempo siempre vamos a estar unidas porque tu recuerdo siempre vivirá en mí.

Muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en primer lugar a la M. en C. Rosa María González Monroy directora de esta tesis, por ser una persona amable y carismática que supo brindarme su apoyo e impulsarme a no rendirme a pesar de las adversidades que he enfrentado en el camino.

Al Dr. Jesús Martínez Vázquez por su ayuda en el laboratorio, por los consejos y su paciencia mostrada durante la elaboración de esta tesis.

A la Dra. Laura Torres Morales por la revisión de esta tesis, el apoyo y los consejos brindados en el camino.

A la Bióloga Judith Méndez Pacio por su apoyo y sus consejos además de su amistad brindada.

A la Bióloga María de Lourdes Ángel Flores por donar muestras para la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros del laboratorio Joselin, Valeria, Raymundo, Ricardo que volvieron un laboratorio serio en risas y alegrías, mostrándome que un trabajo no es debe ser siempre estricto y silencioso.

A mi madre Claudia y mi hermano Jovany por cuidarme, esforzarse, ser pacientes y apoyarme en mi educación.

A mis abuelos maternos Humberto y Josefina que me cuidaron y apoyaron durante estos años.

A mi tía Blanca junto con mis primos Ana y Manuel por enseñarme, apoyarme, motivarme e impulsarme siempre, pero en especial por su amor.

Pero sobre todo gracias a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por permitirme utilizar sus instalaciones y forjarme en este camino a lo largo de estos años.

Gracias

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE	III
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	V
RESUMEN.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Biología de la especie	6
2. ANTECEDENTES	10
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo general	15
4.2. Objetivos específicos	15
5. MATERIAL Y MÉTODOS	16
5.1 Área de estudio	16
5.2 Trabajo de campo	17
5.3 Obtención de médula ósea	17
5.4 Elaboración de laminillas	18
5.5 Cariotipo convencional	18
5.6 Bando cromosómico G	19
6. RESULTADOS	20
7. DISCUSIÓN	31
9. BIBLIOGRAFÍA.....	35
10. ANEXOS.....	40
Soluciones: Cariotipo convencional	40
Soluciones: Bando cromosómico G.....	41

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de los cromosomas de acuerdo con Levan <i>et al.</i> , 1964.	3
Figura 2. Distribución de <i>Heteromys irroratus</i> (Modificado de Sánchez-Cordero <i>et al.</i> , 2020).	7
Figura 3. <i>Heteromys irroratus</i> (Recuperados de iNaturalistMX).....	8
Figura 4. Estados en donde se ha estudiado a <i>Heteromys irroratus</i>	13
Figura 5. Ubicación de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.....	16
Figura 6. Cariotipo convencional de hembra de <i>Heteromys irroratus</i> de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.	23
Figura 7. Cariotipo convencional de macho de <i>Heteromys irroratus</i> de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.	24
Figura 8. Ideograma de <i>Heteromys irroratus</i> de Tecamachalco, Puebla.	25
Figura 9. Bando cromosómico G de hembra de <i>Heteromys irroratus</i> de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.	26
Figura 10. Bando cromosómico G de macho de <i>Heteromys irroratus</i> de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.	27
Figura 11. Ideograma de bando cromosómico G de <i>Heteromys irroratus</i> de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.	28

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de cromosomas con el índice centromérico	4
Tabla 2. Medidas del cariotipo de <i>Heteromys irroratus</i> de Tecamachalco, Puebla.	21
Tabla 3. Comparación del cariotipo de <i>Liomys (Heteromys) irroratus</i>	29
Tabla 4. Comparación de bandeo cromosómico G de <i>Liomys (Heteromys) irroratus</i>	30

RESUMEN

Los roedores tienen gran importancia en el ecosistema debido a que son dispersores de semillas y esporas, con sus madrigueras permiten la filtración del agua y airean el suelo, controlan plagas de insectos, son alimento para otras especies y sirven como indicadores biológicos de los sitios que habitan. *Heteromys irroratus* es un roedor con una amplia distribución, es comúnmente conocido como ratón de abazones o ratón espinoso, se caracteriza por su pelaje que asemeja espinas y suele ser de tono marrón grisáceo con una línea lateral en color rosa pálido o ante y un vientre blanco. La citogenética es la ciencia dedicada al estudio de los cromosomas, permite conocer el cariotipo de una especie e identificar si han ocurrido rearrreglos cromosómicos en ella. Para este estudio se colectaron tres ejemplares (una hembra y dos machos) de *H. irroratus* en el municipio de Tecamachalco, Puebla con el objetivo de describir su cariotipo, identificar el patrón de bandas G y compararlo con otras poblaciones, estos ejemplares presentaron un $2n=60$ y un $NF=62$ conformado por un par de cromosomas metacéntricos, un par submetacéntrico y 27 telocéntricos, el cromosoma X fue metacéntrico grande mientras que el cromosoma Y fue metacéntrico pequeño. Este resultado es similar al presentado en el interior del estado de Puebla en las poblaciones de *Heteromys irroratus* de San Pedro Cholula en el año 2021, Ocoyucan en el año 2024 y Tehuizingo en el año 2025 donde difieren solamente en la clasificación de los cromosomas sexuales, siendo el cromosoma sexual X telocéntrico en San Pedro Cholula y submetacéntrico en las poblaciones de Ocoyucan y Tehuizingo mientras que en el presente fue metacéntrico. En el bandeo cromosómico G del presente estudio se observaron de tres a cuatro bandas en los cromosomas birrámeos y de una a tres en los cromosomas monorrámeos siendo un resultado diferente a los estudios reportados anteriormente.

1. INTRODUCCIÓN

El término mamíferos se refiere a aquellos animales vertebrados que se caracterizan por presentar la presencia de pelo (a excepción de los cetáceos), poseer glándulas mamarias (en el caso de la hembra estas producen leche para alimentar a las crías), generar internamente calor, presentar un corazón de cuatro cavidades (permitiendo tener separadas las arterias de la venas), tener un oído formado por estribo, martillo y yunque, una dentición heterodonta (con dientes incisivos, caninos, molares y premolares bien definidos) y una columna vertebral (Sánchez-Cordero *et al.*, 2022). Actualmente México ocupa el tercer lugar de países con mayor diversidad de mamíferos después de Indonesia y Brasil (CONABIO, 2023).

El orden Rodentia es el grupo más grande dentro de los mamíferos, entre sus miembros destacan los capibaras, tuzas, ardillas y ratones, los cuales ocupan hábitats que van desde lugares secos, bosques, tundras, hasta praderas (Ceballos, 2014). Cada uno de ellos ayuda al ecosistema a la dispersión, germinación y siembra de semillas, así como con la distribución de las esporas de hongos cercanos al follaje donde se alimentan o transitan, controlan plagas de pequeños insectos al alimentarse de ellos, incluso promueven la filtración de agua y la aireación del suelo por medio de la construcción de madrigueras y finalmente sirven de alimento para reptiles, aves u otros mamíferos (Dowler y Genoways, 1978, Ceballos, 2014; Barreto y Owen, 2019).

Heteromys irroratus es ejemplo de ello, este roedor que se alimenta de vegetales, semillas, frutos e incluso insectos, ayudando a mantener un equilibrio en los ecosistemas mexicanos, incluso, es considerado una especie endémica de México debido a que habita una pequeña parte del sur de Texas y en mayor parte la República Mexicana (Dowler y Genoways, 1978, Ceballos, 2014).

A nivel genético los roedores, así como el resto de los seres vivos estamos conformados por miles de células, las cuales se encuentran en constante división por medio de dos procesos celulares conocidos como mitosis y meiosis (Lomato-Días *et al.*, 2003; Rodríguez-Gómez y Frías-Vázquez, 2014). La mitosis es conocida como el proceso de división celular en donde una célula madre se divide y produce dos células

hijas con la misma información genética mientras que la meiosis es la forma de división celular en donde una célula madre proporciona la mitad de la información genética a la célula hija. En el caso de ambos procesos celulares ocurren cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase, aunque diversos autores llegan a considerar a la prometafase como una fase más de la mitosis (Lomato-Días *et al.*, 2003; Rodríguez-Gómez y Frías-Vázquez, 2014).

En la primera fase de la mitosis se presenta una cromatina difusa que empieza a condensarse para formar cromosomas (unas estructuras ubicadas en el núcleo de la célula encargadas de contener la información genética del individuo). Al cambiar a la prometafase, se comienza a desintegrar la envoltura nuclear formado vesículas del retículo endoplasmático alrededor formando el huso mitótico, en los cromosomas el centrómero de igual forma crea microtúbulos que ejercen presión y ocasionan movimientos de migración a la placa metafásica. En la metafase, los cromosomas se alinean a la mitad de la célula gracias a los microtúbulos cinetocoros atraídos hacia el huso mitótico (Lomato-Días *et al.*, 2003; Bueno, 2011) permitiendo apreciarlos con mayor claridad.

Gracias a la citogenética, una ciencia dedicada al estudio de los cromosomas que surgió como una forma de explicar las leyes de Mendel al fusionar los principios de la genética con los de la citología, podemos conocer el número de cromosomas en cada especie, su morfología y detectar mutaciones cromosómicas que dan lugar a trastornos genéticos, síndromes y otras anomalías que afectan a diversas especies (Santos y Hortelano, 1997; Nikoloff y Ruiz, 2021). Esta ciencia también ayuda a comprender la evolución, la variabilidad y adaptación genética de los organismos debido a que muchas de estas alteraciones cromosómicas se originan por factores internos y externos al organismo (Nikoloff y Ruiz, 2021).

En cuanto a su morfología, los cromosomas están formados por dos brazos unidos por una constricción primaria conocida como centrómero (Esparza-García *et al.*, 2017) mejor definido como la región más estrecha del cromosoma donde se lleva a cabo la unión de fibras del huso mitótico y la parte que va a determinar la forma del cromosoma

por medio de la formación de brazos cortos definidos con la letra p y los brazos largos definidos con la letra q (Figura 1).

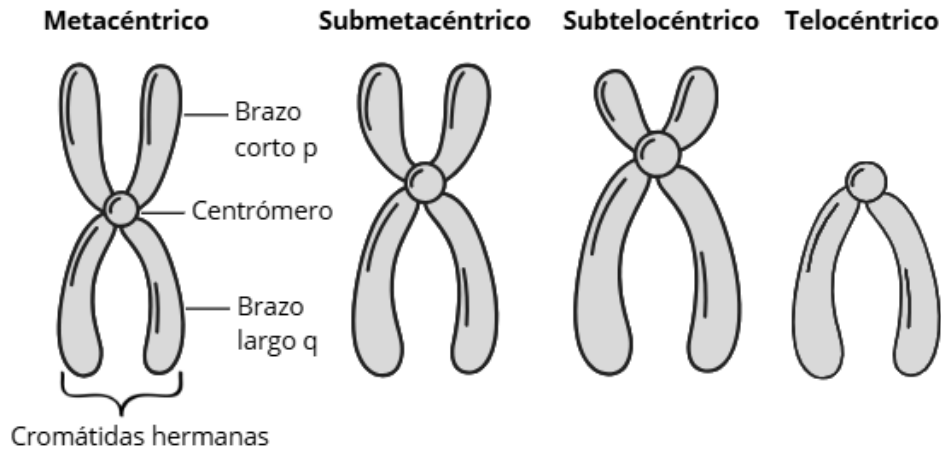


Figura 1. Clasificación de los cromosomas de acuerdo con Levan *et al.*, 1964.

De acuerdo con la posición del centrómero los cromosomas forman uno o dos brazos, aquellos que poseen dos brazos son llamados cromosomas birrámeos y se suelen clasificar en metacéntricos, submetacéntricos y subtelocéntricos, mientras que los cromosomas que poseen un solo brazo son llamados monorrámeos y se clasifican en telocéntricos (Levan *et al.*, 1964). Los cromosomas metacéntricos son aquellos con brazos cromosómicos iguales, es decir, los dos brazos son del mismo tamaño. Los cromosomas submetacéntricos poseen una pequeña diferencia entre brazos, formando un brazo corto y un brazo largo, los cromosomas subtelocéntricos poseen un brazo muy pequeño y uno largo, mientras que los cromosomas telocéntricos no poseen brazo corto, solo un brazo largo (Levan *et al.*, 1964).

Levan *et al.* (1964) propusieron utilizar una fórmula basada en el índice centromérico, dependiendo del resultado de esta fórmula se clasifican los cromosomas con ayuda de la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de cromosomas con el índice centromérico
(Modificado de Levan *et al.*, 1964)

Nomenclatura	Índice centromérico
M	50.0
m	47.5
	45.0
	42.5
	40.0
	37.5
sm	35.0
	32.5
	30.0
	27.5
	25.0
st	22.5
	20.0
	17.5
	15.0
	12.5
t	10.0
	7.5
	5.0
	2.5
T	0.0

Para identificar los cambios que ocurren en los cromosomas se utilizan distintas técnicas, por ejemplo, en los mamíferos pequeños se suelen realizar análisis por medio de la extracción de médula ósea con ayuda de la colchicina un inhibidor mitótico que detiene la división celular y permite ver con claridad la morfología de los cromosomas para poder organizar adecuadamente el cariotipo convencional de la especie (Silva *et al.*, 2008; Nikoloff y Ruiz, 2021; Bernardes-Días *et al.*, 2024).

El cariotipo es definido como el conjunto de cromosomas ordenado según el tamaño, la forma y el número en base a lo propuesto por Levan *et al.* (1964). Una vez obtenido, se realiza una representación esquemática que permite visualizar la clasificación con mejor claridad, a esta representación se le conoce como ideograma (Nikoloff y Ruiz, 2021).

Una vez obtenido el cariotipo de la especie se pueden realizar distintos tipos de bandeos cromosómicos para identificar las alteraciones cromosómicas, el más conocido es el bandedo cromosómico G, este estudio recibe ese nombre por la utilización del colorante Giemsa. Está enfocado en analizar la distribución de euromatina de los cromosomas los cuales al ser sometidos a una enzima llamada tripsina, identifican las regiones ricas de adenina-timina marcándolas con una pigmentación oscura y las regiones ricas citosina-guanina dándoles una pigmentación clara (Silva *et al.*, 2008). Una vez realizado este proceso en los cromosomas, se comparan las bandas obtenidas en cada uno de ellos con estudios previos realizados en la misma especie para identificar si han ocurrido algunos de los siguientes rearrreglos cromosómicos: deleciones, duplicaciones, inversiones, traslocaciones, fusiones o fisiones (Drets, 2002; Nikoloff y Ruiz, 2021).

1. Delección, este término se refiere a la ausencia de un segmento en los cromosomas del individuo, es decir, una parte de la información genética fue eliminada (Drets, 2002; Nikoloff y Ruiz, 2021).
2. Duplicación, por un error se copia nuevamente la información genética incluso en más de una ocasión (Drets, 2002; Nikoloff y Ruiz, 2021).
3. Las inversiones se deben a la fractura de segmentos del cromosoma, estas se suelen clasificar en: a) paracéntrica, en la primera hay cambios en el cromosoma sin involucrar al centrómero por lo que la morfología no cambia, y b) pericéntrica, si involucra al centrómero y cambia la morfología (Drets, 2002; Nikoloff y Ruiz, 2021).
4. Las translocaciones ocurren cuando un cromosoma se fragmenta y una parte se une a otro. Existen dos tipos de traslocaciones a) recíproca, es aquella en donde dos cromosomas intercambian la parte fragmentada entre sí, mientras que en la b) no recíproca solamente un cromosoma da un fragmento por lo cual un cromosoma pierde parte de la información (Drets, 2002; Nikoloff y Ruiz, 2021).
5. Las fusiones se refieren a la unión de dos cromosomas monorrámicos ocasionando la reducción del número cromosómico (Rodríguez *et al.*, 2016; Nikoloff y Ruiz, 2021).

6. Fisiones se refiere al aumento de cromosomas monorráneos al dividirse un cromosoma birráneo (Rodríguez *et al.*, 2016; Nikoloff y Ruiz, 2021).

1.1 Biología de la especie

Clasificación

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Mammalia

Orden: Rodentia

Familia: Heteromyidae

Subfamilia: Heteromyinae

Género: *Heteromys*

Especie: *Heteromys irroratus* (Gray, 1868)

Dentro del orden Rodentia se encuentra la familia Heteromyidae, cuyos integrantes se distribuyen a lo largo del sur de Canadá hasta el norte de América del sur. Esta familia junto con los miembros de la familia Geomyidae son los únicos en poseer abazones, unas bolsas externas en las mejillas que les permiten almacenar alimento, por esta razón sus miembros son conocidos como ratones de abazones (Ceballos, 2014).

En México, la familia Heteromyidae está agrupada en cuatro géneros *Chaetodipus*, *Dipodomys*, *Heteromys* y *Perognathus* (Ramírez-Pulido *et al.*, 2014). Anteriormente se consideraba a *Liomys* como un género más, pero estudios moleculares realizados en genes mitocondriales y nucleares demostraron que los géneros *Liomys* y *Heteromys* son sinónimos, es decir, son el mismo (Hafner *et al.*, 2007; Ramírez-Pulido *et al.*, 2014). Como resultado de esta revisión taxonómica, actualmente en México el género *Heteromys* está compuesto de nueve especies: *Heteromys desmarestianus*, *H. gaumeri*, *H. goldmani*, *H. nelsoni*, *H. pictus*, *H. salvini*, *H. spectabilis*, *H. temporalis* y *H. irroratus* (Ramírez- Pulido *et al.*, 2014).

Heteromys irroratus es un roedor comúnmente conocido como ratón de abazones o ratón espinoso mexicano debido a que su pelaje está compuesto de pelos que asemejan ser espinas (CONABIO, 2024). Fue descrito por Gray y denominado como *Liomys irroratus* en 1868 pero años después cambio su nombre a *Heteromys irroratus* (Hafner *et al.*, 2007, Ramírez-Pulido *et al.*, 2014). Actualmente cuenta con siete subespecies; *H. i. irroratus*, *H. i. alleni*, *H. i. bulleri*, *H. i. guerrerensis*, *H. i. jaliscensis*, *H. i. texensis* y *H. i. torridus* (Genoways, 1973; Mata, 2002; Gutiérrez-Costa, 2021). Esta división de subespecies se utiliza debido a pequeñas diferencias morfológicas que ha presentado *Heteromys irroratus* a lo largo de los años, a nivel genético no se han encontrado diferencias entre subespecies (Mata, 2002).

Se distribuye en una pequeña parte en Texas, Estados Unidos y a lo largo de México en los estados de Chihuahua, Durango, Tamaulipas, Nuevo León, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, CDMX, Oaxaca, Tlaxcala, Puebla (Sánchez-Cordero *et al.*, 2020; CONABIO, 2024; Figura 2).

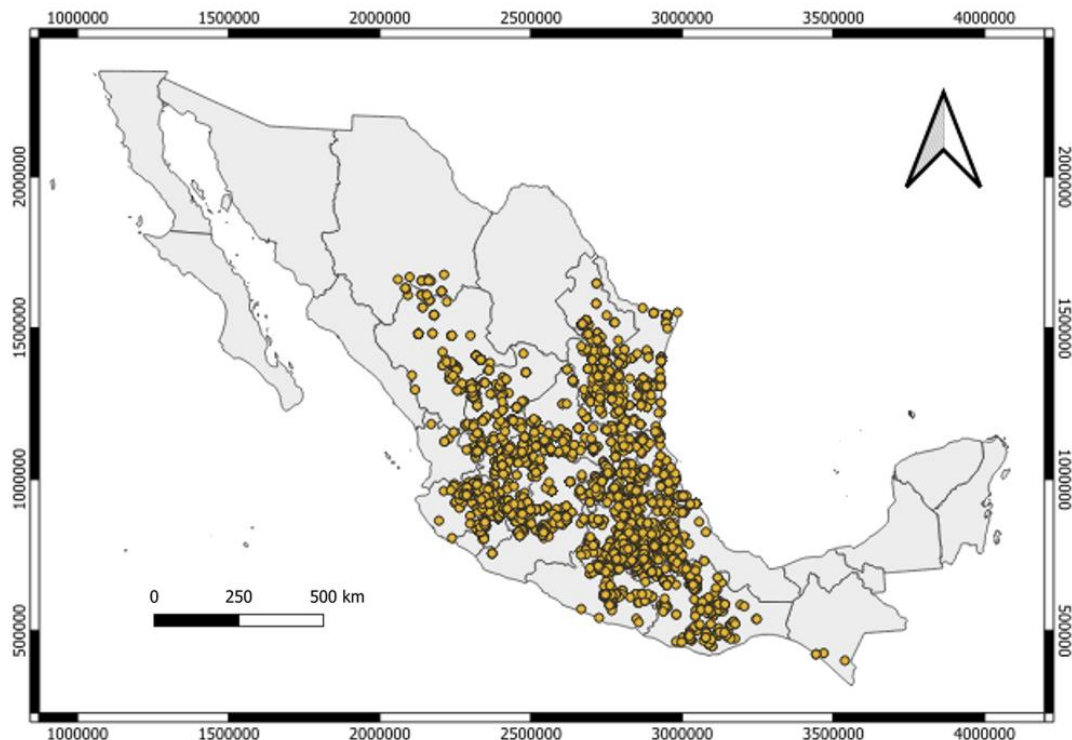


Figura 2. Distribución de *Heteromys irroratus* (Modificado de Sánchez-Cordero *et al.*, 2020).

Heteromys irroratus presenta una coloración grisácea con una franja rosa pálido o ante y un vientre blanco, posee dos largas patas traseras con cinco tubérculos plantares que facilitan sus saltos y la recolección de alimentos, en cuanto a su cola, esta es larga y espesa cubierta de pelos lo que la hace menos escamosa (Figura 3). Su cráneo es un poco más ancho que el largo de este, en general poseen medidas externas y craneales pequeñas (Genoways, 1973; Godínez y Guerrero, 2014; Gómez y Franco, 2015).

Referente a su dieta, esta es mayormente herbívora, basada principalmente en semillas y vegetación seca, aunque también se alimenta de insectos pequeños. Es capaz de sobrevivir con muy poca agua, obteniendo la mayor parte de los alimentos que consume (Godínez y Guerrero, 2014; Gómez y Franco, 2015).



Figura 3. *Heteromys irroratus* (Recuperados de iNaturalistMX).

Fotografías tomadas por: Herrera, 2018; Rice, 2021; Zaro, 2014 y Viera, 2018.

Respecto a su comportamiento *Heteromys irroratus* es una especie diurna, con baja tolerancia social, se reproduce durante todo el año, aumentando su reproducción en los meses de agosto a noviembre, en cada camada suelen tener de dos a ocho crías, siendo el promedio de cuatro (Dowler y Genoways, 1978). Un estudio realizado en la selva mediana de Tuxtepec, Oaxaca mostró que los machos de *Heteromys irroratus* recorren distancias más grandes que las hembras (debido a que las hembras al estar preñadas o lactando tienen mayor gasto energético) siendo estas distancias en las temporadas de lluvias en promedio de 58 metros y en la temporada seca de 44 metros (Santos-Moreno y Santiago-Marcial, 2012).

De acuerdo con la lista de la NOM-059 esta especie se encuentra en preocupación menor, es decir, fuera de peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). En la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN se encuentra en preocupación menor (Castro-Arellano *et al.*, 2016).

2. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios citogenéticos en los que se ha descrito el cariotipo de los roedores pertenecientes a *Heteromys irroratus* en distintos estados de la República Mexicana (Figura 4).

Genoways (1973) fue de los primeros en trabajar con el género *Liomys (Heteromys)*. Él realizó un estudio del cariotipo de *Liomys (Heteromys) adspersus*, *Liomys (Heteromys) salvini*, *Liomys (Heteromys) pictus* y *Liomys (Heteromys) irroratus*, en las localidades de la cieneguila, Chihuahua; San José Guanajuato y Omilteme, Guerrero y Ciudad Victoria, Tamaulipas, donde encontró en el caso *Liomys (Heteromys) irroratus* un cariotipo de $2n=60$ y $NF=62$, formado por un par metacéntrico mediano, un submetacéntrico grande y 27 telocéntricos. En cuanto al par sexual, el cromosoma X fue submetacéntrico grande y el cromosoma Y fue subteloecéntrico mediano.

Dowler y Genoways (1978) realizaron una descripción detallada de la morfología de *Liomys (Heteromys) irroratus*, así como su distribución, comportamiento, reproducción y genética. En este último aspecto mencionan que posee un $2n=60$, un $NF=62$ con una clasificación morfológica de un par metacéntrico mediano, un submetacéntrico grande y 27 telocéntricos de acuerdo con lo reportado con Genoways (1973).

Lorenzo (1991) analizó a *Liomys (Heteromys) irroratus jalicensis* de la localidad de Mazamitla, Jalisco en donde presentó un $2n=60$ y un $NF=68$ con dos pares de cromosomas metacéntricos, tres subteloecéntricos y 24 telocéntricos, respecto al par sexual, los cromosomas X y Y fueron submetacéntricos. En este estudio se realizaron bandas cromosómicas G en donde se observaron de una a cuatro bandas en los cromosomas birrámeos y monorrámeos, el cromosoma sexual X presentó cuatro bandas y el cromosoma Y dos bandas.

Mata (2002) realizó el análisis de cinco subespecies de *Liomys (Heteromys) irroratus*: *Liomys (Heteromys) irroratus alleni* perteneciente a Pátzcuaro, Michoacán; Española, Tlaxcala e Tula de Allende, Hidalgo; *Liomys (Heteromys) irroratus jalicensis* de Ameca, Jalisco; *Liomys (Heteromys) irroratus guerrerensis* perteneciente a Chilpancingo, Guerrero, *Liomys (Heteromys) irroratus irroratus* de Tlacolula, Oaxaca y de *Liomys*

(*Heteromys*) *irroratus torridus* de Teotitlán del Camino, Oaxaca. En donde se observó que a pesar de estar en distintas zonas de la República Mexicana los roedores poseen un $2n=60$ y un $NF=68$, así como cinco pares de cromosomas birrámeos (dos metacéntricos y tres submetacéntricos) y 27 monorrámeos, en el caso de los cromosomas X y Y ambos fueron submetacéntricos. También realizó el análisis de bandas cromosómicas G en donde se encontraron en los cromosomas birrámeos presentaron de una a tres bandas, mientras que en los cromosomas monorrámeos presentaron de una a cuatro bandas, en cuanto al par sexual el cromosoma X presentó cuatro bandas y el cromosoma Y solo dos. Este estudio demostró que no hay variación cromosómica a nivel de subespecie, solo hay variación morfométrica.

Morales (2005) estudió a *Liomys (Heteromys) irroratus* de la localidad de Chila de las Flores, Puebla donde encontró un $2n=60$ y un $NF=74$, en donde se encontraron 16 cromosomas birrámeos (cuatro metacéntricos y 12 submetacéntricos) mientras que en el caso del par sexual el cromosoma X fue submetacéntricos grande y el Y fue telocéntrico grande.

Carrillo (2005) analizó a *Liomys (Heteromys) irroratus* de la localidad de Guadalupe Victoria, en el municipio de Coxcatlán, Puebla encontrando un $2n=60$ y un $NF=62$, en donde se encontraron dos cromosomas birrámeos (ambos metacéntricos medianos) y 27 monorrámeos mientras que en el caso del par sexual el cromosoma X fue metacéntrico y el Y fue submetacéntricos.

Reyes (2007) trabajo en la localidad de Santo Domingo en el municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla en donde encontró que *Liomys (Heteromys) irroratus* presentó un $2n=60$ y un $NF=64$, que corresponde a tres cromosomas birrámeos (submetacéntricos) mientras que en el caso del par sexual el cromosoma X fue submetacéntricos grande y el Y fue telocéntrico grande. En cuanto a las bandas cromosómicas G se encontró la presencia de una a cuatro bandas en los cromosomas birrámeos, mientras que en los monorrámeos se encontraron de una a cinco bandas, respecto al cromosoma sexual X se encontró la presencia de cuatro bandas y en el cromosoma Y fueron cinco bandas.

Serrano (2010) estudio la población de *Liomys (Heteromys) irroratus* de San Salvador Atoyatempan, Puebla la cual presentó un $2n=60$ y un $NF=64$ con tres pares de cromosomas submetacéntricos y 26 telocéntricos, con un cromosoma sexual X submetacéntrico y un Y telocéntrico.

Salazar (2021) en la localidad de San Pedro Cholula, Puebla realizó un análisis cromosómico de *Liomys (Heteromys) irroratus* encontrando un $2n=60$ y un $NF=62$. En donde se clasificaron un par de cromosomas metacéntrico, un par submetacéntrico y 27 pares telocéntricos, con un cromosoma X submetacéntrico y un Y metacéntrico.

Tonacatl (2024) analizó a *Heteromys irroratus* de la localidad de Santiago Coltzingo en Ocoyucan, Puebla en donde encontró un $2n=60$, un $NF=62$ con un par de cromosomas metacéntrico, un par submetacéntrico y 27 pares telocéntricos, siendo el cromosoma X submetacéntrico y el Y metacéntrico. En este estudio se realizó el bandeo cromosómico G, en donde los cromosomas monorrámeos presentaron de una a cinco bandas, los cromosomas birrámeos de tres a cuatro bandas, el cromosoma X cuatro bandas y el cromosoma Y tres bandas.

Martínez (2025) estudio a *Heteromys irroratus* de la localidad de Tlachinola en el municipio de Tehuitzingo, Puebla obteniendo un $2n=60$, un $NF=62$, en donde los autosomas estuvieron conformados por un par metacéntrico, un par submetacéntrico, 27 pares telocéntricos, un cromosoma sexual X submetacéntrico y un cromosoma Y metacéntrico. Respecto al bandeo cromosómico G, los cromosomas birrámeos presentaron tres bandas, los cromosomas monorrámeos presentaron de una a tres bandas y los cromosomas sexuales X y Y presentaron tres bandas cada uno.

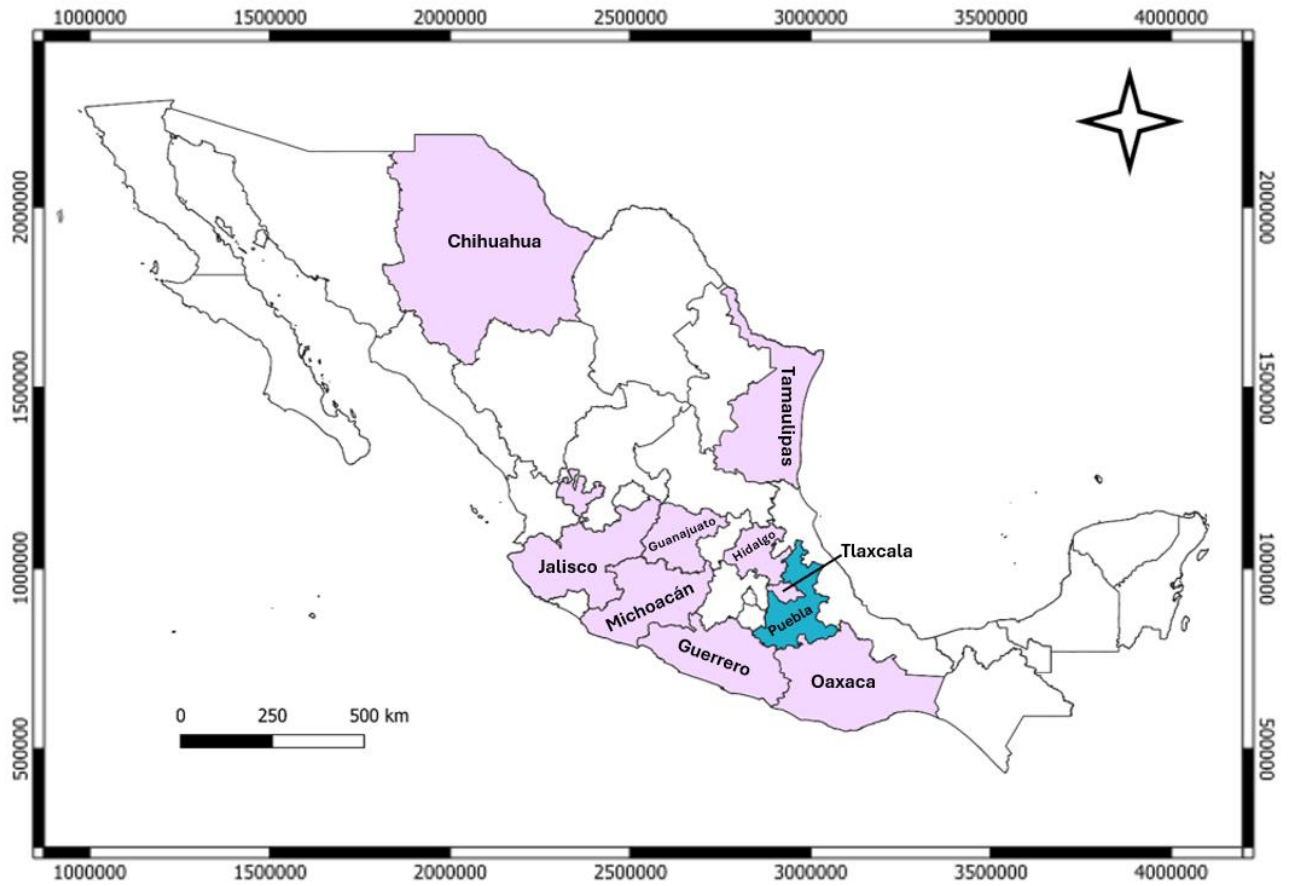


Figura 4. Estados en donde se ha estudiado a *Heteromys irroratus*.

3. JUSTIFICACIÓN

Heteromys irroratus es un roedor que presenta una amplia distribución geográfica, así como ciclos de vida cortos, una fácil reproducción y grandes camadas, lo cual lo hace un excelente sujeto de estudio. Su importancia radica en ser un gran dispersor de semillas, servir de alimento para otras especies y ser un indicador biológico para la zona que habita. En el caso del estado de Puebla *Heteromys irroratus* ha sido estudiado en los municipios de Chila de las Flores, Huehuetlán el Grande, Coxcatlán, San Salvador Atoyatempan, Ocoyucan, San Pedro Cholula y Tehuitzingo ubicados al sur y oeste del estado en donde se ha observado un $2n=60$ constante, pero en el caso del NF este ha presentado variaciones, sin embargo, no hay estudios de *Heteromys irroratus* al norte, este o centro este del estado de Puebla que permitan conocer que ocurre con ellos en estas zonas y si han sufrido de algún rearrreglo cromosómico.

El propósito del presente estudio es proporcionar información sobre la población de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla e identificar si han ocurrido variaciones cromosómicas que permitan entender lo que ocurre con la especie en el estado de Puebla.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Describir el cariotipo de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla, e identificar su patrón de bandeo cromosómico G, con el propósito de comparar con estudios previos.

4.2. Objetivos específicos

- Obtener las constantes cromosómicas (número cromosómico y número fundamental) de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla.
- Realizar bandeo cromosómico G a *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla.
- Comparar las constantes cromosómicas y el patrón de bandas G de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla con las poblaciones a nivel estatal y nacional estudiadas anteriormente

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

Tecamachalco es un municipio del estado de Puebla presenta un clima templado subhúmedo con una temperatura media anual de 16.8°C y una precipitación de 580mm al año, siendo más lluvioso en el mes de junio, la vegetación nativa del lugar es matorral xerófilo (SEDESOL, 2011). La principal actividad económica del municipio se centra en la agricultura, principalmente de verduras como es el caso del tomate (Gobierno de México, 2024). Como es sabido los roedores consumen parte de la producción agrícola y en este tipo de siembra se encuentra refugio y alimento de fácil acceso (Camacho, 2013; Sánchez-Cordero *et al.*, 2022).

En Tecamachalco se encuentra Lomas de Romero una localidad donde se dedican al cultivo del maguey, maíz y frijol (Figura 5).

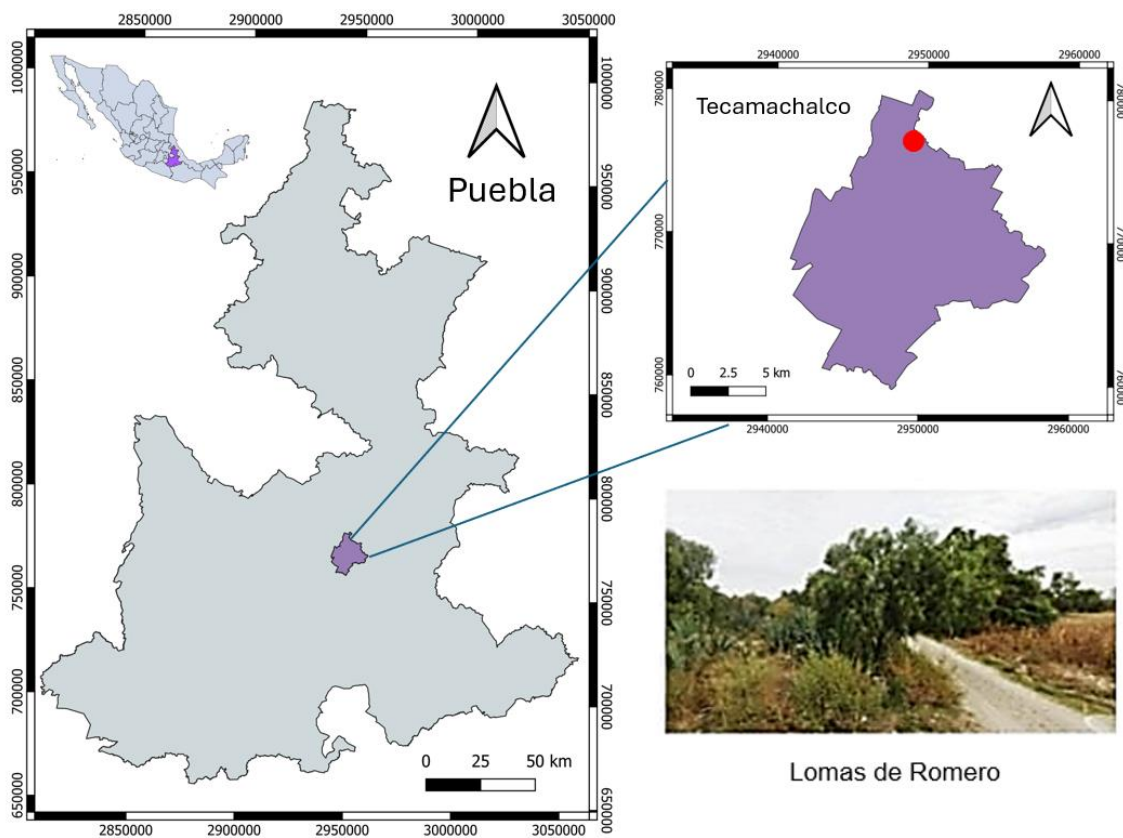


Figura 5. Ubicación de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

5.2 Trabajo de campo

Las salidas de campo se realizaron en el año 2017 en Tecamachalco, Puebla. Se utilizaron 30 trampas Sherman que fueron colocadas a las 19 horas, siendo cebadas con una mezcla de avena con vainilla para atraer a los roedores, las trampas se recogieron al día siguiente a las seis de la mañana.

Se verificó que los ejemplares hembras colectados no estuvieran preñadas o lactando y en el caso de los ejemplares machos que no poseyeran testículos escrotados con la finalidad de no afectar a la población, si estos fueran colectados no se continúa la reproducción y la población disminuiría. Los ejemplares que no poseyeron estas características fueron recolectados y transportados al laboratorio de mastozoología de la Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP para su posterior estudio.

5.3 Obtención de médula ósea

Una vez capturados los ejemplares de la especie *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla fueron llevados al laboratorio, en donde se realizó la técnica propuesta por Baker *et al.* (1982), para la obtención de médula ósea. Se inyectó 0.1 ml de colchicina por cada 10 gr del peso de manera intraperitoneal, ya que es un inhibidor mitótico que detiene la división celular en metafase. Se dejó actuar por 30 minutos y se sacrificó al ejemplar por dislocación cervical; rápidamente se tomaron medidas en mm longitud total, la longitud de la cola, la longitud de la pata y la longitud de la oreja. Posteriormente, se extrajeron los huesos para la obtención de la médula ósea con ayuda de una jeringa y se colocó en solución hipotónica KCl a 37°C durante 45 minutos, después se centrifugó a 800 rpm por ocho minutos, con ayuda de una pipeta Pasteur se extrajo el sobrenadante y se agregó el fijador Carnoy, finalmente se colocó en refrigeración.

5.4 Elaboración de laminillas

Se lavaron los portaobjetos con jabón en polvo y se verifico que no tuvieran grasa, posteriormente se colocaron en alcohol frío al 70% de acuerdo con lo propuesto por Solari (2004). Nuevamente se centrifugo el material celular a 800 rpm durante ocho minutos, se retiró el sobrenadante y se colocó fijador Carnoy fresco y frío.

Por último, con ayuda de una pipeta Pasteur se tomó un poco de material genético, se colocó una laminilla en el suelo en un ángulo de 45°, y se dejaron caer tres gotas del material genético a una altura aproximada de tres metros, inmediatamente se prendió fuego, se apagó el fuego sacudiendo la laminilla y con ayuda de un compresor de aire se dispersó y se dejó secar de acuerdo con Baker y Qumsiyeh (1988).

5.5 Cariotipo convencional

Para teñir el material genético de las laminillas se usó colorante Giemsa por ocho minutos, posteriormente se retiró el excedente con ayuda de agua destilada, se dejó secar y se observaron los campos mitóticos al microscopio en aumentos de 10x, 40x y 100x con la finalidad de identificar aquellos campos completos en donde la morfología estuviera clara para obtener el cariotipo de la especie.

Se midieron los cromosomas de 20 cariotipos con el programa ImageJ versión 1.54 con el objetivo de que no se cometieran errores en las medidas, para su clasificación se empleó la fórmula del Índice centromérico propuesta por Levan et al. (1964) con ayuda del programa Excel Office 365.

$$Ic = \frac{p}{p + q} * 100$$

Esta fórmula es conocida como índice centromérico (Ic) en donde la longitud del brazo corto (p) se divide por la longitud del cromosoma, es decir, la sumatoria del brazo

corto y el brazo largo (q) para ser multiplicado por 100 y una vez obtenido este resultado se buscó en una tabla con las medidas obtenidas para cada tipo de cromosoma (Tabla 1).

5.6 Bando cromosómico G

Las laminillas se colocaron en la estufa a 65°C durante 16 horas, transcurrido el tiempo se sacaron las laminillas. Se preparó Tripsina Difco al 0.025%, con Fosfato de Sodio (PBS), buffer de Sörensen, empleando colorantes Wright y Giemsa. En un vaso Coplin se colocó la laminilla en Tripsina Difco al 0.025% por tres minutos y medio, después se colocaron en dos vasos Coplin con PBS en donde se enjuagaron rápidamente 10 veces la laminilla en cada uno de ellos, posteriormente se dejaron dos minutos en la tinción de Wright (la cual fue preparada con el buffer de Sörensen) se escurrió el sobrante y se sumergió cuatro minutos en la tinción de Giemsa, finalmente se enjuagaron en agua destilada y se dejaron secar. Las laminillas fueron observadas al microscopio en aumentos de 10x, 40x y 100x con la finalidad de identificar las bandas G.

6. RESULTADOS

Se colectaron tres ejemplares dos machos y una hembra de *Heteromys irroratus* de la localidad Lomas de Romero en Tecamachalco, Puebla. Se obtuvieron 15 laminillas, en las que se observaron 360 campos mitóticos de los que se seleccionaron aquellos campos en donde los cromosomas estuvieran separados, completos y en metafase, obteniendo un total de 20 campos.

Se encontró un $2n=60$ y un $NF=62$ con dos pares de cromosomas birrámeos, un par metacéntrico y uno submetacéntrico con 27 monorrámeos conformados por telocéntricos grandes, medianos y pequeños. Respecto a los cromosomas sexuales, el cromosoma X fue metacéntrico grande y el Y metacéntrico mediano (Tabla 2; Figuras 6, 7 y 8).

Respecto al bandeo cromosómico G se observó la presencia de cuatro regiones ricas en adenina-timina en los cromosomas birrámeos mientras que en los cromosomas monorrámeos se observaron de una a cuatro regiones, con respecto al par sexual los cromosomas X presentaron cuatro y en el cromosoma Y tres (Figuras 9, 10 y 11).

Tabla 2. Medidas del cariotipo de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla.

LRp: Longitud relativa promedio del brazo corto

DSp: Desviación estándar del brazo corto

LRq: Longitud relativa promedio del brazo largo

DSq: Desviación estándar del brazo largo

LRp+q: Longitud relativa promedio del cromosoma

DSp+q: Desviación estándar del cromosoma

Ic: Índice centromérico

Par cromosómico	LRp	LRq	LRp+q	DSp	DSq	DSp+q	Ic	Clasificación
1	8.15	9.35	17.50	1.80	1.91	3.71	46.58	m
2	5.19	10.53	15.73	1.38	2.84	4.22	33.02	sm
3	-	15.88	-	-	5.85	-	-	t
4	-	13.69	-	-	4.93	-	-	t
5	-	12.45	-	-	3.17	-	-	t
6	-	12.04	-	-	4.06	-	-	t
7	-	11.79	-	-	4.02	-	-	t
8	-	11.48	-	-	4.75	-	-	t
9	-	10.55	-	-	3.31	-	-	t
10	-	10.45	-	-	4.07	-	-	t
11	-	10.43	-	-	3.61	-	-	t
12	-	10.4	-	-	3.69	-	-	t
13	-	10.24	-	-	4.04	-	-	t
14	-	9.56	-	-	2.81	-	-	t
15	-	9.47	-	-	2.93	-	-	t
16	-	9.46	-	-	2.31	-	-	t
17	-	8.34	-	-	2.58	-	-	t
18	-	8.28	-	-	2.81	-	-	t
19	-	7.89	-	-	2.21	-	-	t
20	-	7.2	-	-	3	-	-	t
21	-	6.95	-	-	2.02	-	-	t
22	-	6.68	-	-	2.28	-	-	t
23	-	5.9	-	-	2.24	-	-	t
24	-	5.52	-	-	2.17	-	-	t
25	-	5.44	-	-	2.26	-	-	t
26	-	5.27	-	-	1.81	-	-	t
27	-	5.21	-	-	1.11	-	-	t
28	-	5.2	-	-	1.77	-	-	t
29	-	3.82	-	-	0.82	-	-	t
X	7.33	8.08	15.41	1.42	1.82	3.24	47.55	m
Y	5.24	6.06	11.30	1.45	1.63	3.08	46.40	m



Figura 6. Cariotipo convencional de hembra de *Heteromys irroratus* de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

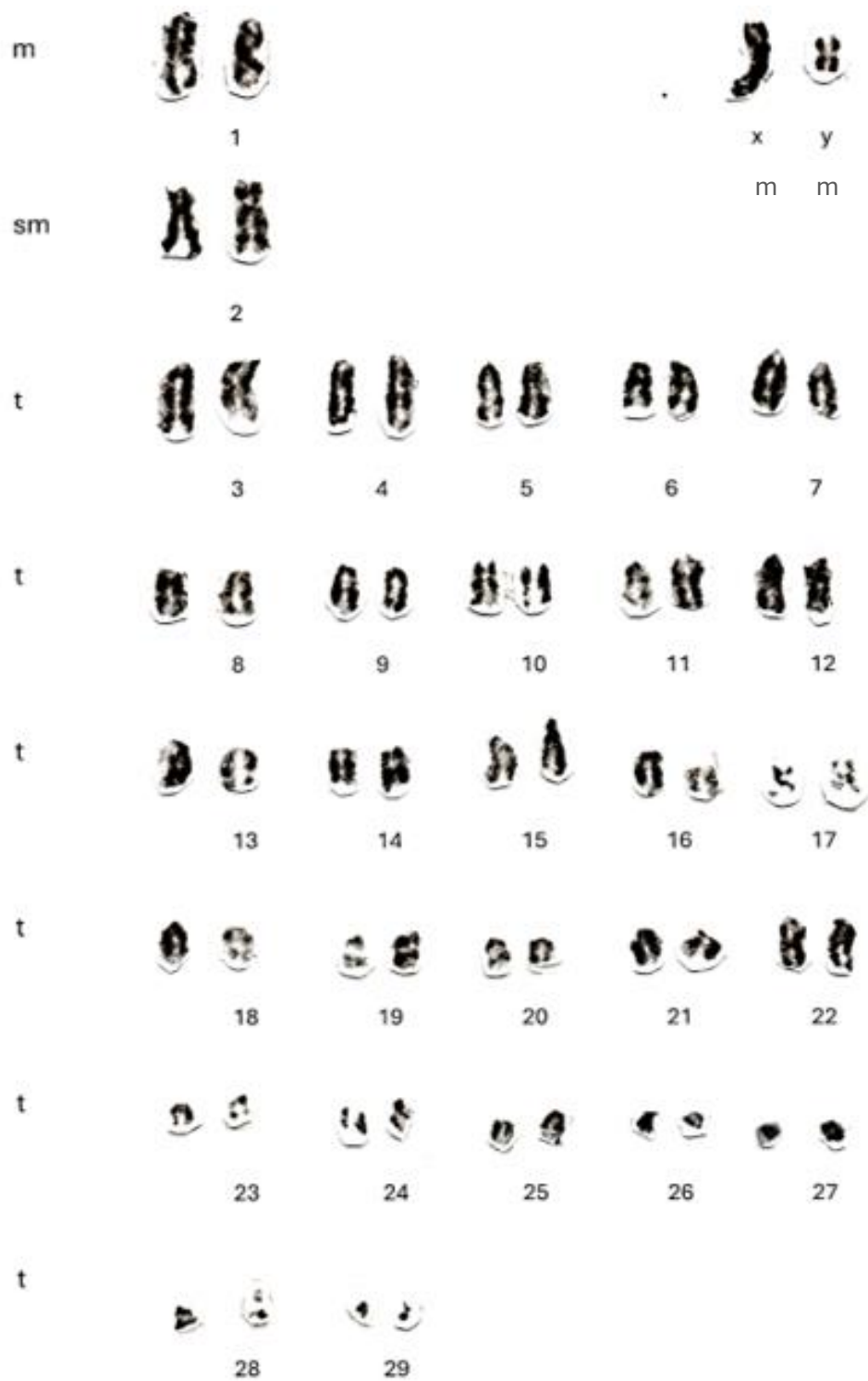


Figura 7. Cariotipo convencional de macho de *Heteromys irroratus* de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

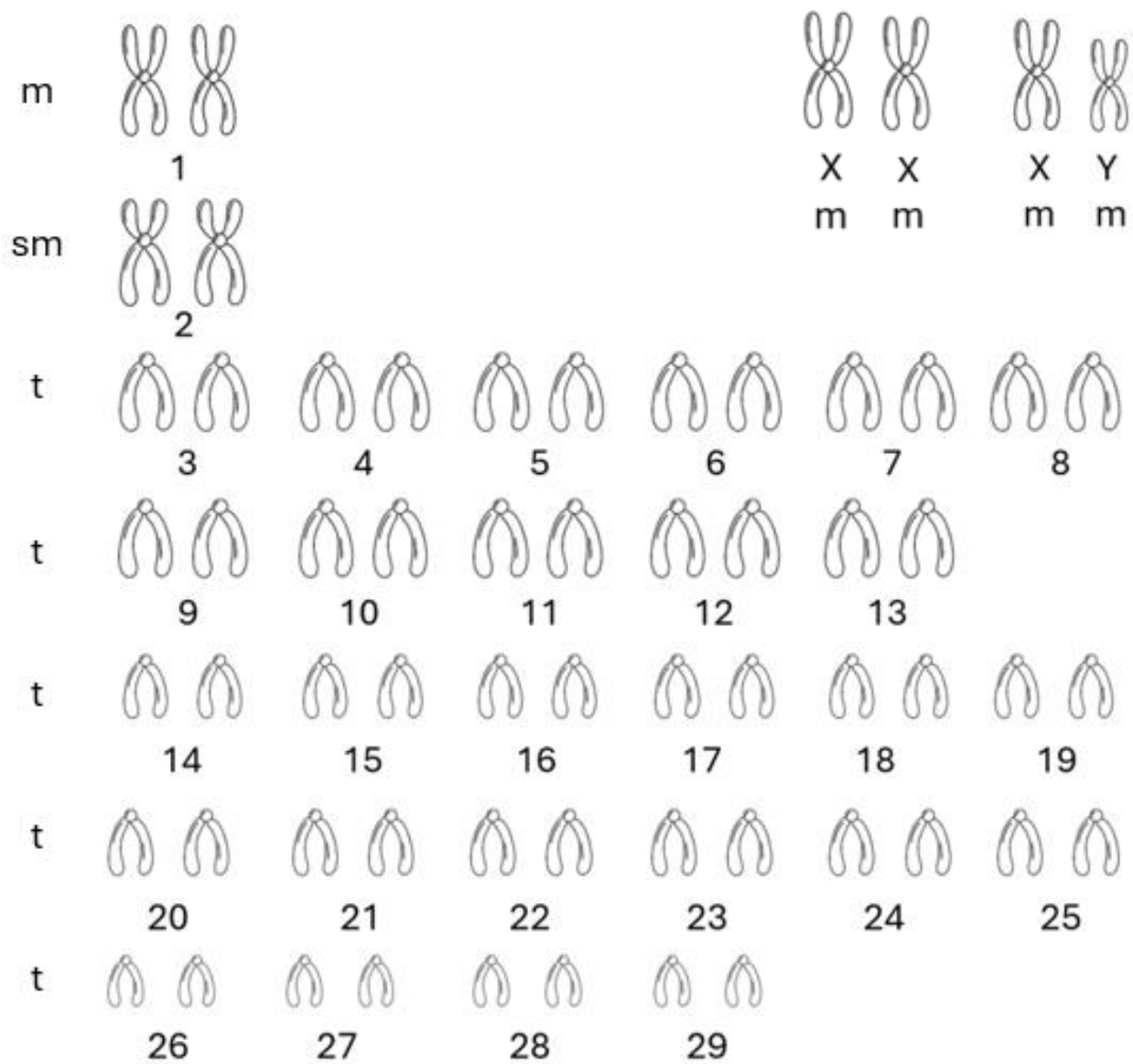


Figura 8. Ideograma de *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla.

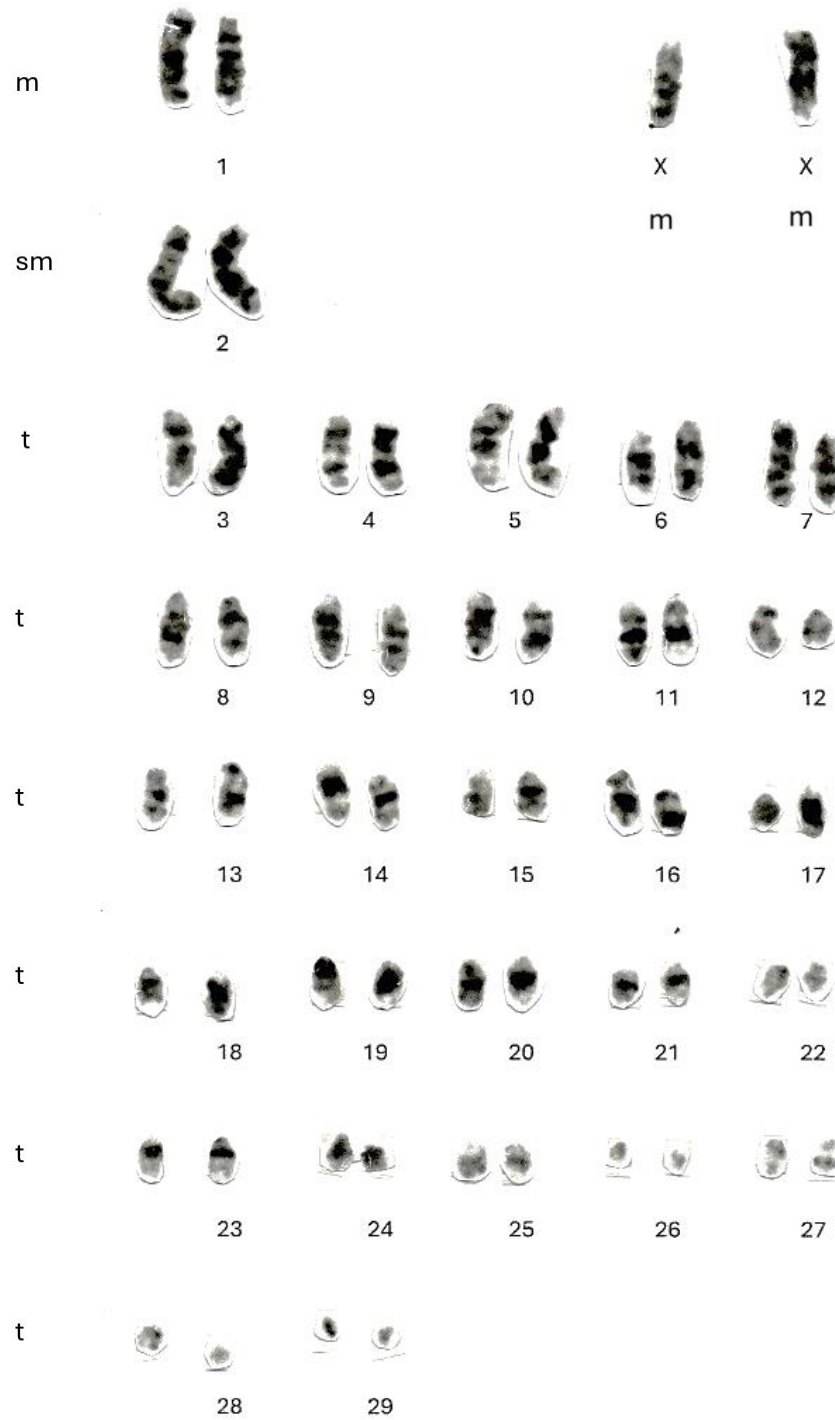


Figura 9. Bando cromosómico G de hembra de *Heteromys irroratus* de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

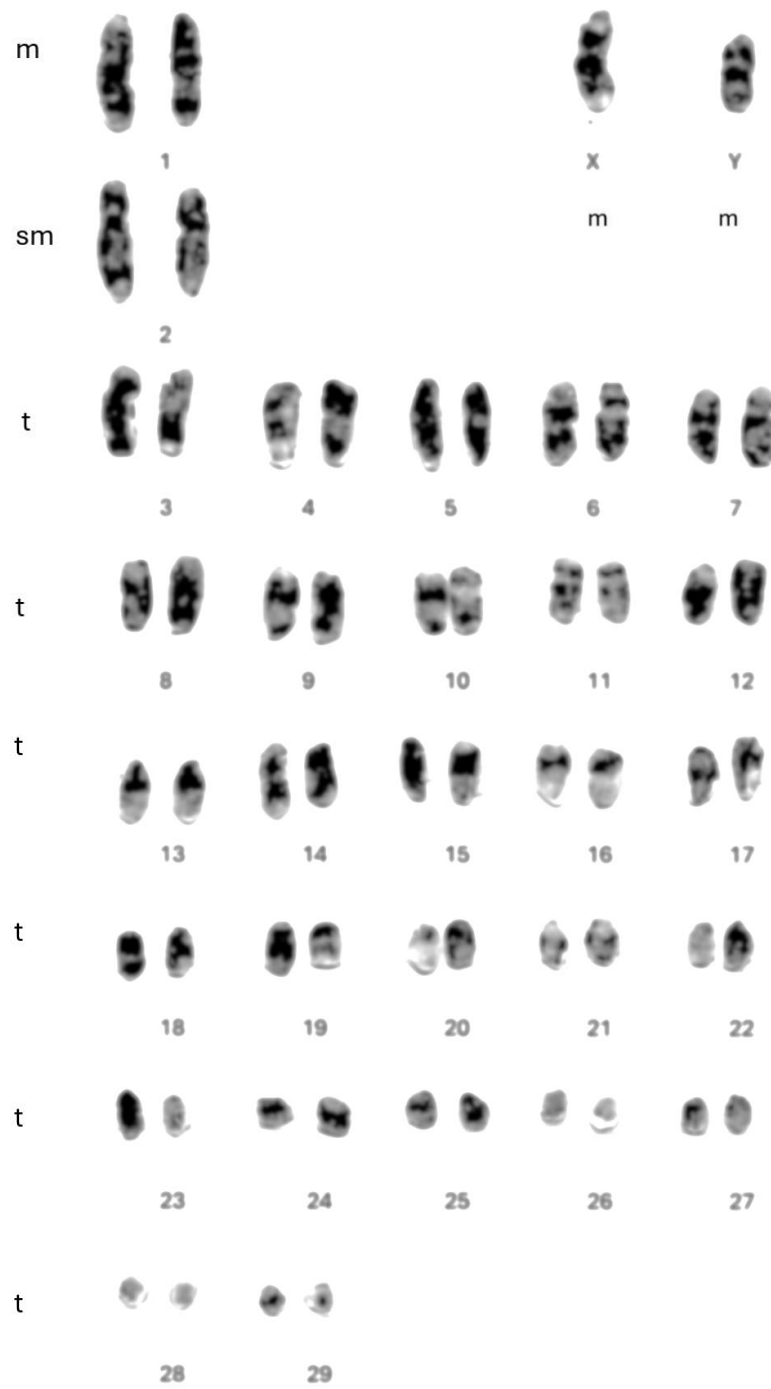


Figura 10. Bando cromosómico G de macho de *Heteromys irroratus* de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

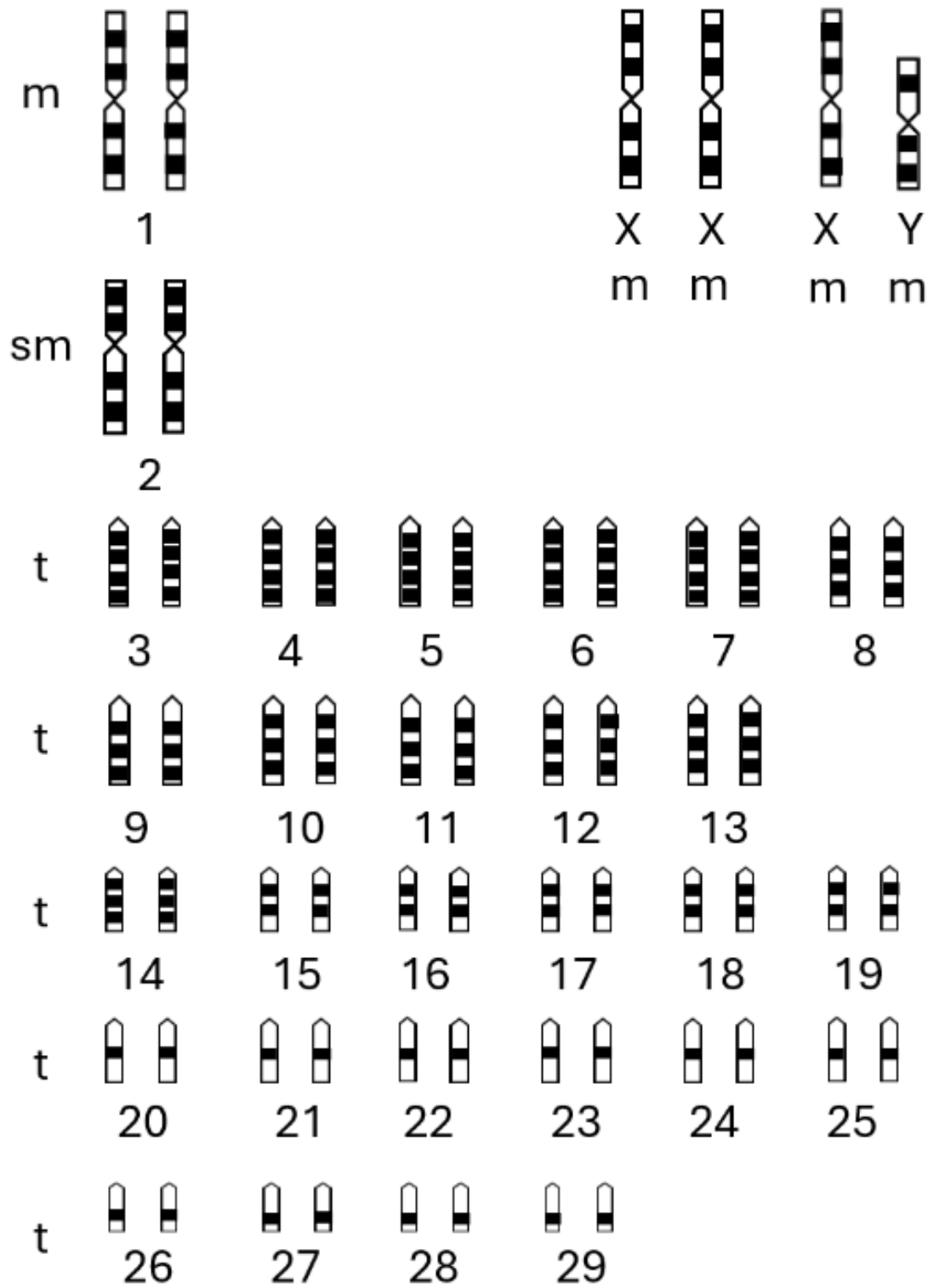


Figura 11. Ideograma de bandeo cromosómico G de *Heteromys irroratus* de Lomas de Romero, Tecamachalco, Puebla.

Con los resultados obtenidos se realizó un cuadro comparativo de los cariotipos y bandeos cromosómicos G de *Liomys (Heteromys) irroratus* de la República Mexicana (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Comparación del cariotipo de *Liomys (Heteromys) irroratus*.

Localidad	2n	NF	m	sm	st	t	X	Y	Referencia
La Cieneguilla, Chihuahua San José, Guanajuato Omilteme, Guerrero Ciudad Victoria, Tamaulipas	60	62	1	1	-	27	sm	st	Genoways (1973)
Mazamitla, Jalisco	60	68	2	-	3	24	sm	sm	Lorenzo (1991)
Pátzcuaro, Michoacán Españita, Tlaxcala Ameca, Jalisco Chilpancingo, Guerrero Tula de Allende, Hidalgo Tlacolula, Oaxaca Teotitlán del Camino, Oaxaca	60	68	2	3	-	24	sm	sm	Mata (2002)
Coxcatlán, Puebla	60	62	2	-	-	27	m	sm	Carrillo (2005)
Chila de las Flores, Puebla	60	74	2	6	-	21	sm	t	Morales (2005)
Huehuetán el Grande, Puebla	60	64	-	3	-	26	sm	t	Reyes (2007)
San Salvador Atoyatempan, Puebla	60	64	-	3	-	26	sm	t	Serrano (2010)
San Pedro Cholula, Puebla	60	62	1	1	-	27	t	m	Salazar (2021)
Ocoyucan, Puebla	60	62	1	1	-	27	sm	m	Tonacatl (2024)
Tehuizingo, Puebla	60	62	1	1	-	27	sm	m	Martínez (2025)
Tecamachalco, Puebla	60	62	1	1	-	27	m	m	Presente estudio

Tabla 4. Comparación de bandeo cromosómico G de *Liomys (Heteromys) irroratus*.

Localidad	Autosomas	X	Y	Referencia
Mazamitla, Jalisco	1 a 4	4	2	Lorenzo (1991)
Pátzcuaro, Michoacán Españita, Tlaxcala Ameca, Jalisco Chilpancingo, Guerrero Tlacolula, Oaxaca Teotitlán del Camino, Oaxaca	1 a 4	4	2	Mata (2002)
Huehuetlán el Grande, Puebla	1 a 5	4	5	Reyes (2007)
Ocoyucan, Puebla	1 a 5	4	3	Tonacatl (2024)
Tehuizingo, Puebla	1 a 3	3	3	Martínez (2025)
Tecamachalco, Puebla	1 a 4	4	3	Presente estudio

7. DISCUSIÓN

El ratón *Heteromys irroratus* de Tecamachalco, Puebla presentó un $2n=60$, el cual no presenta variaciones en el número diploide, con respecto a las poblaciones del estado de Puebla, entre las que se encuentran, Coxcatlán estudiada por Carrillo (2005) y el estudio realizado en Chila de las Flores por Morales (2005). De igual forma, no hay variación con las poblaciones de Huehuetlán el Grande presentado por Reyes (2007), la población de San Salvador Atoyatempan estudiado por Serrano (2010) y el estudio realizado en San Pedro Cholula por Salazar (2021). Asimismo, con la población de Ocoyucan estudiada por Tonacatl (2024) y en Tehuitzingo, Puebla reportada por Martínez (2025) no existe variación.

En cuanto a las poblaciones reportadas por Genoways (1973) en La Cieneguilla, Chihuahua; San José, Guanajuato; Omilteme, Guerrero y Ciudad Victoria, Tamaulipas, no mostraron diferencia en cuanto al $2n=60$. De igual forma, la población estudiada por Lorenzo (1991) en Mazamitla, Jalisco y las poblaciones analizadas por Mata (2002) en Pátzcuaro, Michoacán; Española, Tlaxcala; Ameca, Jalisco; Chilpancingo, Guerrero; Tula de Allende, Hidalgo; Tlacolula, Oaxaca y Teotitlán del Camino, Oaxaca no mostraron variación.

Con respecto al $NF=62$, *Heteromys irroratus* de Tecamachalco estuvo caracterizado por un par de autosoma metacéntrico, un par submetacéntrico y 27 pares telocéntricos, coincidiendo con las poblaciones de Coxcatlán estudiado por Carrillo (2005), la población de San Pedro Cholula reportada por Salazar (2021), así como con la población de Ocoyucan estudiada por Tonacatl (2024) y la población de Tehuitzingo analizada por Martínez (2024). También existen resultados similares a la de Tecamachalco en poblaciones de la República Mexicana como las analizadas por Genoways (1973) en La Cieneguilla, Chihuahua; San José, Guanajuato; Omilteme, Guerrero y Ciudad Victoria, Tamaulipas.

En cuanto a las demás poblaciones, se encontraron diferencias en el número fundamental de la población de Tecamachalco con $NF=62$ con la analizada por Reyes (2007), en Huehuetlán el Grande en donde encontró $NF=64$. Mientras que, en las

poblaciones de Pátzcuaro, Michoacán; Españita, Tlaxcala, Ameca, Jalisco; Chilpancingo, Guerrero; Tula de Allende, Hidalgo; Tlacolula, Oaxaca y Teotitlán del Camino, Oaxaca se contó con un NF= 68. La población de *Heteromys irroratus* que presenta el mayor NF es Chila de las Flores, Puebla con NF=74. Donde se puede hipotetizar como posibles rearrreglos inversiones pericéntricas.

Con respecto a los cromosomas sexuales solamente existe similitud en el cromosoma X en el presente estudio y en la población de Coxcatlán, presentándose diferencias en este cromosoma sexual siendo submetacéntrico en las poblaciones Chila de las Flores, Huehuetlán el Grande, Ocoyucan y Tehuizingo, asimismo, la población de San Pedro Cholula presento el cromosoma sexual X telocéntrico. Cabe destacar que el cromosoma sexual X difiere en las poblaciones analizadas en otros estados de la República Mexicana donde este fue reportado como submetacéntrico para las poblaciones de La Cieneguilla, Chihuahua San José, Guanajuato; Omilteme, Guerrero; Ciudad Victoria, Tamaulipas; Mazamitla, Jalisco; Pátzcuaro, Michoacán; Españita, Tlaxcala; Ameca, Jalisco; Chilpancingo, Guerrero; Tula de Allende, Hidalgo; Tlacolula, Oaxaca y Teotitlán del Camino, Oaxaca.

Con respecto al cromosoma sexual Y en la población de Tecamachalco se presentó como metacéntrico al igual que en las poblaciones de Tehuizingo, Ocoyucan y San Pedro Cholula. El cromosoma sexual Y fue subtelocéntrico en La Cieneguilla, Chihuahua, San José, Guanajuato; Omilteme, Guerrero y Ciudad Victoria, Tamaulipas.

En cuanto al bandeo cromosómico G, *Heteromys irroratus* presento de una a cuatro bandas en los autosomas, en el cromosoma sexual X encontró cuatro bandas y en el cromosoma Y mostró tres bandas. Al respecto, la población de Ocoyucan estudiada por Tonacatl (2024) comparada con Tecamachalco solamente coincide en el cromosoma X y difiere en el resto teniendo de una a cinco bandas en los autosomas y en el cromosoma Y presentando tres bandas.

Respecto a lo encontrado en la población de Huehuetlán el Grande por Reyes (2007) solamente coincide con la población de Tecamachalco en el cromosoma X, pero difiere

en el resto teniendo de una a cinco bandas en los autosomas y en el cromosoma Y presentando cinco bandas.

Por su parte, la población de Tehuitzingo estudiada por Martínez (2025) difiere con Tecamachalco debido a que presentó en los autosomas de una a tres bandas y en los cromosomas sexuales X y Y tres bandas.

Por último, la población de Jalisco estudiada por Lorenzo (1991), junto con las poblaciones de Michoacán, Tlaxcala, Jalisco, Guerrero, Hidalgo y Oaxaca estudiadas por Mata (2002) comparadas con Tecamachalco, concuerdan en los resultados de los autosomas y el cromosoma X, pero el cromosoma Y difiere por presentar dos bandas.

8. CONCLUSIÓN

Heteromys irroratus del municipio de Tecamachalco, Puebla presentó un $2n=60$, así como un $NF=62$ en donde conto con la presencia de dos pares de cromosomas birrámeos (un par metacéntrico y un par submetacéntrico) así como 27 pares monorrámeos (clasificados en telocéntricos de grandes a pequeños), en cuanto al par sexual el cromosoma X fue metacéntrico grande y el Y metacéntrico mediano.

El $2n$ permanece constante en todas las poblaciones de *Heteromys irroratus* estudiadas anteriormente, en cambio el NF presenta variaciones.

Las poblaciones más similares al presente estudio están localizadas dentro del estado de Puebla, en los municipios de San Pedro Cholula estudiada por Salazar (2021), Ocoyucan estudiada por Tonacatl (2024) y Tehuitzingo estudiada por Martínez (2025). Estas poblaciones difieren con el presente estudio en la clasificación del par sexual X, siendo en lo reportado por Salazar (2021) telocéntrico y en lo reportado por Tonacatl (2024) y Martínez (2025) submetacéntrico, mientras que en el presente estudio fue metacéntrico.

En cuanto al bandeo cromosómico G los cromosomas birrámeos presentaron de tres a cuatro bandas mientras que en los cromosomas monorrámeos se presentó como máximo tres y mínimo dos bandas; en cuanto al par sexual el cromosoma X presentó cuatro bandas y el cromosoma Y tres bandas.

Comparado con otras poblaciones, la población de *Heteromys irroratus* de Ocoyucan, reportada por Tonacatl (2024) es la más similar al presente estudio en donde solo difiere el máximo de bandas de los cromosomas siendo cinco, mientras que en el presente estudio el máximo de bandas fue de cuatro.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Baker, R. J., Haiduk, M. W., Robbins, H. W., Cadena, A., y Koop, B. F. (1982). Chromosomal studies of South American bats and their systematic implications. In M. A. Mares y H. H. Genoways (Eds.), *50 mammalian biology in South America* (pp. 303–327). Special Publication Series, Pymatuning Laboratory of Ecology VI.
- Baker, R. J., y Qumsiyeh, M. B. (1988). Methods in Chiropteran mitotic chromosomal studies. En T. H. Kunz (Ed.), *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (pp. 425–435). Smithsonian Institution Press.
- Barreto, C. M. B. y Owen, R. D. (2019). Relación de los pequeños mamíferos terrestres (Rodentia y Didelphimorphia) con la estructura de la vegetación en el Bosque Atlántico Interior – un análisis multivariado. *Therya*, 10(3), 359–369. <https://doi.org/10.12933/therya-19-819>.
- Bernardes-Dias, A. C., Fontoura, C. P., Gonçalves, P. R., Silva, C. A. O., Mendonça, M. A. C., y Hannibal, W. (2024). Citogenética de pequenos mamíferos a partir da extração da medula óssea: uma descrição mais detalhada da técnica in vivo com ajustes. *Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology*, 20(esp), 98–107. <https://doi.org/10.5216/rbn.v20iesp.77169>.
- Bueno, M. (2011). Chromosomes as vehicle in organization and transmission of characters. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 43–60.
- Camacho, V. J. (2013). La producción de pulque en la comunidad de Lomas de Romero, Tecamachalco, y su potencial para construirse en un Sistema Productivo Local (pp. 4–11). Universidad de la Sierra Sur.
- Carrillo, A. C. (2005). Descripción cromosómica de *Liomys irroratus* de la localidad de Guadalupe Victoria, en el municipio de Coxcatlán, Puebla en la reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán [Tesis de licenciatura]. Escuela de Biología, BUAP.
- Castro-Arellano, I., Timm, R., y Álvarez-Castañeda, S. T. (2016). *Heteromys irroratus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12074A22225187.

- Ceballos, G. (2014). Mammals of México (pp. 196–214). Johns Hopkins University Press.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2023). Mamíferos. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/distribesp> (Consultado el 01 de septiembre de 2025).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2024). Ratón espinoso mexicano. Enciclovida. <https://enciclovida.mx/especies/34084>.
- Dowler, R. C., y Genoways, H. H. (1978). *Liomys irroratus*. *Mammalian species*, (82), 1-6.
- Drets, M. E. (2002). Una saga citogenética: El descubrimiento de los métodos de bandeo cromosómico. Significado y proyección bio-médica. *Revista Médica del Uruguay*, 18(2), 107–121.
- Esparza-García, E., Cárdenas-Conejo, A., Huicochea-Montiel, J. C., y Aráujo-Solís, A. (2017). Cromosomas, cromosopatías y su diagnóstico. *Revista Mexicana de Pediatría*, 84(1), 30–39.
- Genoways, H. (1973). Systematic and evolutionary relationships of spiny pocket mice of the genus *Liomys*. *Publication Especial, The Museum, Texas Tech University*, 5(1), 47–49.
- Godínez, E. G., y Guerrero, S. (2014). Los roedores de Jalisco, México: clave de determinación. *Therya*, 5(2), 647–648.
- Gómez, H., y Franco, A. (2015). *Heteromys irroratus*: Ratón espinoso salino. *Mamíferos de América Central*, 112–115. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez-Costa, M. A. (2021). Delimitación de especies del complejo *Heteromys irroratus* Gray 1868 (Rodentia: Heteromyidae): un enfoque taxonómico integrativo empleando múltiples líneas de evidencia [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

- Hafner, J. C., Light, J. E., Hafner, D. J., Hafner, M. S., Reddington, E., Rogers, D. S. y Riddle, B. R. (2007). Basal clades and molecular systematic of heteromyid rodents. *Journal of Mammalogy* 88:1129–1145.
- Herrera, G. (2018). *Heteromys irroratus* [Fotografía]. iNaturalist México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/11762550>. (Consultado el 1 de septiembre de 2025)
- Levan, A., Fredga, K. y Sandberg, A. A. (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Institute of Genetics, Lund, Sweden, and Roswell Park Memorial Institute, 201–218.
- Lomanto-Díaz, H. D., Ortiz-Cala, Ó. H., Bretón-Pinto, C. O., Gómez-Lizcanon, Á. I., y Mesa-Cornejo, V. M. (2003). El ciclo celular. Universidad Autónoma de Bucaramanga, 21–27.
- Lorenzo, M. A. M. C. (1991). Comparación de las bandas cromosómicas entre los roedores de abazones *Liomys pictus*, *L. irroratus* y *L. spectabilis* (Heteromyidae) [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez Ruiz, J. I. (2025). Análisis cromosómico de *Heteromys irroratus* de Tlachinola, Puebla [Tesis de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Mascarello, J. T. y D. S. Rogers. 1988. Banded chromosomes of *Liomys salvini*, *Heteromys oresterus* and *H. desmarestianus*. *Journal of Mammalogy*, 69:126-130. <https://doi.org/10.2307/1381756>
- Mata, E. E. (2002). Diferenciación genética del ratón de abazones *Liomys irroratus* (Rodentia: Heteromyidae) [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales, A. S. (2005). Descripción cromosómica de *Sigmodon hispidus* y *Liomys irroratus* de Chila de las Flores, Puebla [Tesis de licenciatura]. Escuela de Biología, BUAP.
- Nikoloff, N., y Ruiz de Arcaute, C. (2021). Capítulo 3. Introducción a la Citogenética. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 48–58.

- Ramírez-Pulido, J., González-Ruíz, N., Gardner, A. L. y Arroyo-Cabrales, J. (2014). List of recent land mammals from Mexico, 2014. Texas Tech University Natural Science Research Laboratory 63: 1-69.
- Reyes, H. M. (2007). Descripción cromosómica de *Liomys irroratus* de Santo Domingo Huehuetlán El Grande, Puebla [Tesis de licenciatura]. Escuela de Biología, BUAP.
- Rice, A. (2021). *Heteromys irroratus* [Fotografía]. iNaturalist México. <https://mexico.inaturalist.org/people/wonderbird22> (Consultado el 1 de septiembre de 2025)
- Rodríguez-Gómez, A. D. J., y Frías-Vázquez, S. (2014). La mitosis y su regulación. Acta Pediátrica de México, 35(1), 55–86.
- Salazar, R. H. (2021). Descripción cromosómica y determinación del cariotipo del ratón de abazones *Liomys irroratus* (Gray, 1868) (Rodentia: Heteromyidae) de San Pedro Cholula, Puebla [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP.
- Sánchez-Cordero, V., Gutiérrez-Granados, G., Rodríguez-Moreno, Á., y Flores-Martínez, J. J. (2022). Roedores y riesgo agrícola. El modelado del nicho ecológico como herramienta de predicción (pp. 5–10). Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-30-6020-2
- Sánchez-Cordero, V., Rodríguez, P., Moreno-Almeraya, N., Jiménez-Cruz, M. (2020) *Heteromys irroratus* (ratón espinoso mexicano) Distribución Potencial en México. Portal de Geoinformación 2025 http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/hir040dpgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no.
- Santos, M. J. A., y Hortelano, Y. (1997). La variación en mamíferos: una revisión de los enfoques metodológicos actuales. Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie, 70, 13–34.

- Santos-Moreno, A., y Santiago-Marcial, A. E. (2012). Área de actividad y movimientos de *Heteromys irroratus* (Rodentia: Heteromyidae) en una selva mediana de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(2), 496–502.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2011). Atlas de riesgos del municipio de Tecamachalco, Puebla, 2011. Gobierno Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Gobierno de México.
- Serrano, F. J. P. (2010). Análisis cromosómico de *Liomys irroratus* de San Salvador Atoyatempan, Puebla. [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP.
- Silva, C. T., Contreras, N. C., y Fonseca, D. J. (2008). Utilidad de la citogenética en la medicina actual: visión histórica y aplicación. *Acta Médica Colombiana*, 33(4), 309–316.
- Solari, A. J. (2004). Genética humana: Fundamentos y aplicaciones en medicina (3a ed., 376 pp.). Editorial Médica Panamericana.
- Tonacatl, M. J. (2024). Citogenética de *Heteromys irroratus* de Santiago Coltzingo, Ocoyucan, Puebla [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP.
- Viera, A. (2018). *Heteromys irroratus* [Fotografía]. iNaturalist México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/32168810> (Consultado el 1 de septiembre de 2025).
- Zaro, G. (2025). *Heteromys irroratus* [Fotografía]. iNaturalist México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/237795966> (Consultado el 1 de septiembre de 2025)

10. ANEXOS

Soluciones: Cariotipo convencional

Solución hipotónica (0.075 M KCl)

- 0.56 gr de KCl
- 100 ml de agua destilada

Fijador de Carnoy 3:1

- 15 ml de metanol
- 5 ml de ácido acético

Solución amortiguadora

Solución A: se usan 15 ml

10M NaH_2PO_4

- 1.38 gr de NaH_2PO_4
- 100 ml de agua destilada

Solución B: se usan 10 ml

10M NaH_2PO_4

- 1.42 gr de NaH_2PO_4
- 100 ml de agua destilada

Solución AB

- Solución A: se usan 15 ml
- Solución B: se usan 10 ml

Giemsa para tinción convencional

- 1 ml de solución concentrada de Giemsa (Microlab)
- 2 ml de solución amortiguadora (AB)

Soluciones: Bando cromosómico G

Preparación de PBS

- 4 gr de NaCl
- 0.1 gr de KCl
- 0.575 gr de Na₂HPO₄
- 0.1 gr de KH₂PO₄
- 500 ml de agua destilada

Solución Stock de Tripsina

- 0.05 gr de Tripsina Difco (1.250)
- 50 ml de buffer de fosfato salino (PBS)

Solución de Tripsina 3:1 para bandas G

- 36 ml del buffer de fosfato salino (PBS)
- 12 ml de Stock de Tripsina

Buffer de Sörensen

- 3.315 gr de fosfato de potasio monobásico KH₂PO₄
- 1.28 gr de fosfato de sodio dibásico anhídrico Na₂HPO₄
- 500 ml de agua destilada

Solución de stock de Wright

- 0.16 gr de colorante Wright
- 110 ml de metanol

Colorante de Wright para Bandas G

- 36 ml del Buffer de Sörensen
- 12 ml de stock de Wright

Solución de stock de Giemsa

- 1 gr de Giemsa
- 66 ml de glicerina a 60°C
- 132 ml de metanol

Colorante de Giemsa para Bandas G

- 44 ml del Buffer de Sörensen
- 6 ml de stock de Giemsa