

+

# Estudio morfológico de los cromosomas del borrego Cimarrón (*Ovis canadensis*), Tabasco o Pelibuey (*Ovis aries*) y su cruz

## Morphological study of chromosomes of Bighorn sheep (*Ovis canadensis*), Domestic sheep (*Ovis aries*) and their crosses

Ana Carmen Delgadillo Calvillo\*  
Octavio Mejía Villanueva\*\*\*  
José Manuel Berruecos Villalobos\*\*  
Carlos Gustavo Vásquez Peláez †

---

### Abstract

The present study describes for the first time the chromosome number and structure of hybrids of the cross of Bighorn sheep (*Ovis canadensis*) and Domestic sheep (*Ovis aries*). The diploid number  $2n = 54$  of this number is formed by: three pairs of large submetacentric chromosomes and 23 pairs of acrocentric chromosomes of variable size. This array is equal in the three species. The hybrid result from this cross is fertile and it is concluded that this opens up new alternatives for the preservation and protection of Bighorn sheep in the wild; a species that is currently considered as CITES II, threatened, and under NOM-ECOL-059/94, is in a special protection program.

**Key words:** BIGHORN, *OVIS CANADENSIS*, *OVIS ARIES*, CHROMOSOME STUDY, INTERSPECIFIC CROSSES.

### Resumen

En este trabajo se determinó y comparó por vez primera el número diploide ( $2n$ ) y morfología cromosómica del borrego híbrido producto de la cruz interespecífica entre borrego Cimarrón (*Ovis canadensis*), y borrego Pelibuey (*Ovis aries*). Se determinó el cariotipo del borrego híbrido que tiene un número cromosómico de  $2n = 54$ , formado por tres pares de submetacéntricos grandes y 23 pares de cromosomas acrocéntricos que varían en tamaño. El arreglo cromosómico es igual en las tres especies. El híbrido de esta cruz es fértil y abre la posibilidad de buscar alternativas para la protección y conservación del borrego Cimarrón, que actualmente es considerado por el CITES dentro del apéndice II como especie amenazada y por la NOM-ECOL-059/94, como sujeta a protección especial.

**Palabras clave:** BORREGO CIMARRÓN, *OVIS CANADENSIS*, *OVIS ARIES*, ESTUDIO CROMOSÓMICO, CRUZAS INTERESPECÍFICAS.

---

Recibido el 13 de marzo de 2002 y aceptado el 1 de agosto de 2002.

Estos resultados constituyen parcialmente la tesis de licenciatura de biología del primer autor.

\* Universidad Simón Bolívar, Av. Río Mixcoac 48, Col. Insurgentes Mixcoac, México, D.F.

\*\* Departamento de Genética y Biostatística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México D.F.

\*\*\* Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Ovina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Huitzilac, Morelos, México.

† Coordinación de la Investigación Científica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México. D.F.

## Introduction

Chromosomal studies can provide information about evolutionary divergence and the phylogenetic relationships that exist between different species. These are based on the diploid number of chromosomes ( $2n$ ), the position of the centromere and an estimation of the fundamental number (FN) that is determined from the total number of arms in the haploid number, not including the sexual chromosomes.<sup>1</sup>

There are barriers in nature that limit interspecific crosses and when these crosses do occur the progeny tends to be sterile, while in other cases they present a certain hybrid inferiority.<sup>2-4</sup> However, a hybrid cross can generate progeny that is better adapted than its progenitors, this phenomenon is known as hybrid vigor.<sup>2</sup>

Past authors have reported on interspecific crosses. Such is the case of the mule, a hybrid cross between the donkey and the mare (*Equus asinus* × *Equus caballus*) which have a chromosomal  $2n$  number of 62 and 64, respectively, the sterile mule having a  $2n$  number of 63.<sup>2,4,6</sup> Mine *et al.*,<sup>4</sup> report on an interspecific cross between *Ovis aries* (sheep) and *Capra hircus* (goat) which was born under natural conditions and in which the progeny was found to have a chromosomal number between that of both parents,  $2n = 57$ . McFee *et al.*<sup>7</sup> successfully crossed wild European pigs with domestic pigs, despite their having different chromosomal numbers ( $2n = 36$  and  $38$ , respectively). However, their hybrids ( $2n = 37$ ) are fertile, which can be explained given that the submetacentric pair found in wild pigs crosses during mitosis with the two acrocentric pairs found in the domestic pig.

Ávalos *et al.*<sup>8</sup> tried an interspecific cross between the Barbary sheep ( $2n = 58$ ) and the Tabasco sheep ( $2n = 54$ ) (*Ammotragus lervia* × *Ovis aries*), but this resulted in embryonic death and reabsorption. The chromosomal study for both species allowed for the establishment of differences between these two genera that made it impossible for them to produce progeny, probably due to chromosomal or immunologic factors.

Nadler *et al.*<sup>9</sup> report that in the interspecific cross between the European Mouflon sheep and the Big-horn sheep (*Ovis musimon* × *O. canadensis*) the progeny have a chromosomal number ( $2n$ ) equal to 54. These chromosomes include three pairs of large submetacentric chromosomes and 23 acrocentric chromosomes; the sexual chromosomes have a large acrocentric X and a small submetacentric Y. The progeny of these species present an identical karyotype to their parents and are fertile.<sup>10</sup>

## Introducción

El estudio cromosómico puede proporcionar información sobre la divergencia evolutiva y las relaciones filogenéticas existentes entre diferentes especies, con base en el número diploide de cromosomas ( $2n$ ) y en la posición del centrómero, estimando al número fundamental (NF) que se determina a partir del número total de brazos en el complejo haploide, sin considerar a los cromosomas sexuales.<sup>1</sup>

Las barreras existentes para la realización de cruzas interespecíficas limitan las posibilidades de que éstas ocurran en la naturaleza, y cuando suceden tienen una descendencia estéril o en algunos casos presenta cierto grado de inferioridad híbrida.<sup>2-4</sup> Sin embargo, puede ocurrir que en una crusa híbrida se genere una descendencia que esté mejor adaptada que sus progenitores, a este fenómeno se le conoce como vigor híbrido.<sup>2</sup>

En la bibliografía se informa sobre cruzas interespecíficas; tal es el caso de la mula, híbrido de la crusa entre burro y yegua (*Equus asinus* × *Equus caballus*), los cuales tienen números cromosómicos de  $2n = 62$  y  $2n = 64$ , respectivamente, y produce una descendencia mayoritariamente estéril  $2n = 63$ .<sup>2,4,6</sup> Mine *et al.*<sup>4</sup> informan de una crusa interespecífica entre *Ovis aries* (oveja) y *Capra hircus* (cabra) nacida bajo condiciones naturales, en donde se observa una descendencia con un número cromosómico intermedio al de sus padres; es de decir, de  $2n = 57$ . En cerdos, McFee *et al.*<sup>7</sup> cruzaron cerdos salvajes europeos con cerdos domésticos a pesar de tener números cromosómicos diferentes ( $2n = 36$  y  $38$ , respectivamente); sin embargo, estos híbridos ( $2n = 37$ ) son fértiles, lo cual se explica por la presencia de un par submetacéntrico del cerdo salvaje que se aparea durante la mitosis con dos pares de acrocéntricos del cerdo doméstico.

Ávalos *et al.*<sup>8</sup> intentaron un cruzamiento interespecífico de borrego Berberiano ( $2n = 58$ ) y borrego Tabasco ( $2n = 54$ ) (*Ammotragus lervia* × *Ovis aries*), pero el resultado fue mortalidad embrionaria y reabsorción del producto. El estudio cromosómico para ambas especies permitió establecer las diferencias entre estos dos géneros; en consecuencia, no fue posible obtener un producto, posiblemente debido a factores de tipo cromosómico e inmunológico.

Nadler *et al.*<sup>9</sup> informan que en la crusa interespecífica entre Muflón europeo y borrego Cimarrón (*Ovis musimon* × *O. canadensis*) el número cromosómico observado en la progenie es de  $2n = 54$  cromosomas de los cuales tres pares son submetacéntricos grandes y los otros 23 pares acrocéntricos; en los cromosomas, sexuales se observó el X como un acrocéntrico grande y el Y como un submetacéntrico pequeño; ambas especies presentan un cariotipo idéntico al de los padres, con el producto fértil.<sup>10</sup>

El borrego Cimarrón, o del desierto, antes abundante, hoy se encuentra en riesgo de extinción debido princi-

The Bighorn sheep, or Desert sheep, once abundant, is on the verge of extinction due mainly to boundless human population growth and subsequent habitat deterioration. In Mexico, protection for this species dates back to the beginning of the 20<sup>th</sup> Century, when hunting prohibitions and vigilance programs were put into effect. Nevertheless, these measures are insufficient, so that nowadays, new conservation measures that take into account the current ecological and social situation,\* must be implemented.

In North America seven subspecies of Bighorn sheep are recognized, depending on their geographical distribution and size; of these, three subspecies are mountain sheep while four are desert sheep.<sup>11</sup>

Currently Bighorn sheep have acquired high hunting value, with permit prices that range from 35 000 to 150 000 dollars. Hunting, an activity that was threatened in the past, helps contribute to the conservation of this species and its habitat through projects and activities that aim to conserve, manage and use efficiently a species' populations and habitats.<sup>12,13</sup>

The objective of this study was to describe the chromosome number, structure and fundamental number for Bighorn sheep, domestic sheep (Pelibuey) and their hybrid cross.

## Material y methods

Five female domestic sheep (*O. aries*) were inseminated with semen from Bighorn sheep (*O. canadensis*).<sup>14</sup> Blood samples for chromosome morphometric analysis were obtained from the male Bighorn sheep and two female domestic sheep from the Centro de Enseñanza, Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA), College of Veterinary Medicine of the Universidad Nacional Autónoma de México, located in San Miguel Topilejo, Mexico. Blood samples of the hybrids were obtained from four females and three males, of the ten progeny that were obtained during mating, housed at the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina (CEIEPO), College of Veterinary Medicine of the Universidad Nacional Autónoma de México.

McFee's methodology<sup>15</sup> was modified<sup>16</sup> for the purposes of this study, using cultured lymphocytes following the technique described below: The sheep were bled by external jugular venepuncture, collecting approximately 7 ml of blood/sheep in heparin vacuum tubes at 10°C, and then transferring samples to the laboratory in cool storage.

palmente al desmedido crecimiento de la población humana y el consecuente deterioro del hábitat. En México, la protección de esta especie se remonta a principios del siglo xx, con el establecimiento de vedas y programas de vigilancia. No obstante, estas medidas son insuficientes, por lo que hoy día se exigen nuevas acciones de conservación acordes con la situación ecológica y sociales.\*

En Norteamérica se reconocen siete subespecies de borrego Cimarrón de acuerdo con su distribución geográfica y sus medidas corporales; de éstas, tres subespecies corresponden al borrego de montaña y cuatro al del desierto.<sup>11</sup>

Actualmente los borregos Cimarrón se han convertido en piezas de muy alto valor cinegético, que alcanzan cotizaciones que van de 35 000 a 150 000 dólares por permiso para cazar a uno de estos ejemplares. La cacería, actividad que en el pasado fue una amenaza, hoy día contribuye a la conservación de la especie y de su hábitat a través de proyectos y actividades encaminadas a conservar, manejar y aprovechar de manera sustentable las poblaciones y el hábitat de la especie.<sup>12,13</sup>

El objetivo del presente trabajo fue describir el número diploide, forma y número fundamental de los cromosomas de borrego Cimarrón, borrego Pelibuey y su cruce.

## Material y métodos

Se inseminaron cinco hembras Pelibuey (*O. aries*) con borrego cimarrón (*O. canadensis*).<sup>14</sup> Para la obtención y análisis morfológico de los cromosomas se obtuvieron muestras de sangre periférica del macho Cimarrón y de dos madres hembras Pelibuey en el Centro de Enseñanza, Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, en San Miguel Topilejo. Las muestras de sangre de los híbridos se obtuvieron de las cuatro hembras y tres machos de las diez crías que sobrevivieron, en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina (CEIEPO), de la FMVZ-UNAM, en Huitzilac, Morelos, México.

Se utilizó la metodología propuesta por McFee<sup>15</sup> y modificada<sup>16</sup> para este estudio por medio de linfocitos cultivados mediante la siguiente técnica: Se sangró a los borregos de la vena yugular externa, colectando 7 ml de sangre, aproximadamente, por borrego, en tubos heparinizados al vacío a una temperatura de 10°C, las muestras fueron trasladadas al laboratorio en una hielera.

El cultivo celular se preparó con medio McCoy.\*\* Para este fin a 50 ml de medio se le agregaron 2 ml de fitohemaglutinina y 0.2 ml de antibac (penicilina-estreptomina).\*\*\* Se utilizaron 5 ml del medio ya prepa-

\* www.ine.gob.mx

\*\* Microlab México.

\*\*\* Microlab México.

The cell culture was prepared in McCoy medium.\*\* To this end, 2 ml phytohemagglutinin and 0.2 ml of antibac (penicillin-streptomycin)\*\*\* were added to 50 ml of medium. 1 ml of the heparinized blood was added to 5 ml of the prepared medium, incubating for 72 h at 37°C in 5% CO<sub>2</sub>.

Cellular material was obtained by adding 3 drops of colcemid (10 µg/ml)\* to suspend mitosis during metaphase; samples were left for 2.5 h at 37°C, for lymphocyte sedimentation.

Following this, cultures were passed to 15 ml tubes and centrifuged at 300 g for 10 min.

Supernatant was extracted and then 5 to 6 ml of distilled water (hypotonic solution) was added to cause hypotonic shock, allowing the entrance of fluids and inducing cellular lysis; this stage took 18 to 20 min at 37°C.

Cells were then washed and centrifuged at 300g for 10 min.

Supernatant was extracted and Carnoy fixative (1:3 methanol-acetic acid) was added during constant agitation to avoid fiber formation.

Another round of centrifugation at 300 g was carried out for 10 min, followed by resuspension in fixative; this process was repeated several times until the supernatant was completely transparent and the bottom of the tube contained a white-colored pellet.

Microscope slides were prepared using the flame-drying method. For this the slide must be degreased or washed with detergent and ethanol prior to use, and then cooled so as to cause a change of temperature in the cell and thus break the cell membrane freeing the chromosomes.

Once these slides were obtained they were stained with Giemsa\*\* in a 36 ml of distilled water to 4 ml of color solution for 20 min.

Slides were carefully analyzed to locate the best mitosis using a light microscope at 10X, 40X and 100X magnification.

The selected metaphases were photographed at 1 000X magnification and then the photographs were cut in order to place the chromosome pairs in order according to the size and position of the centromere, thus obtaining the karyotype.<sup>17</sup>

## Results

Matings between the male Bighorn sheep and the five female domestic sheep showed a 100% fertility, obtaining the following births: two females produced one embryo, two produced two embryos and one produced four, for a total of ten products, five females and five males. Of these ten products, three

rado y se agregó 1 ml de sangre heparinizada, dejando las muestras en la incubadora por 72 h a 37°C al 5% de CO<sub>2</sub>.

Para la obtención del material celular se agregaron 3 gotas de colcemida (10 µg/ml)\* con el fin de suspender la mitosis en la metafase; se dejaron las muestras durante 2.5 horas a 37°C.

Transcurrido este tiempo para sedimentar a los linfocitos, los cultivos se pasaron a tubos de 15 ml para centrifugar a 300 g durante 10 min.

El sobrenadante se extrajo de los tubos, luego se le agregó de 5 a 6 ml de agua destilada (solución hipotónica) para provocar un choque hipotónico que permite la entrada de líquidos, induciendo al rompimiento de las membranas celulares; esta etapa se dejó por 18 a 20 min a 37°C.

Posteriormente, las células se lavaron centrifugado a 300 g durante 10 min.

El sobrenadante se extrajo y se le agregó el fijador Carnoy (1:3 metanol-ácido acético) despacio y en agitación para evitar que se formaran las fibras.

Nuevamente se centrifugó a 300g durante 10 min y se volvió a resuspender en fijador; esta operación se repitió varias veces hasta que el sobrenadante se observó totalmente transparente y en el fondo del tubo se formó un botón de color blanco.

Se hicieron las preparaciones para microscopio por el método de secado a la flama. Para este fin los porta-objetos deben estar previamente desengrasados o lavados con detergente y etanol y enfriados, con el fin de provocar un cambio de temperatura drástico en la célula y así propiciar que se rompa la membrana celular y se liberen los cromosomas.

Una vez obtenidas las preparaciones, se tiñeron con solución de Giemsa\*\* en una solución de 36 ml de agua destilada por 4 ml de colorante, durante 20 min.

Las preparaciones teñidas se revisaron a detalle para buscar las mejores mitosis en un microscopio de campo claro con objetivos de 10X, 40X y 100X.

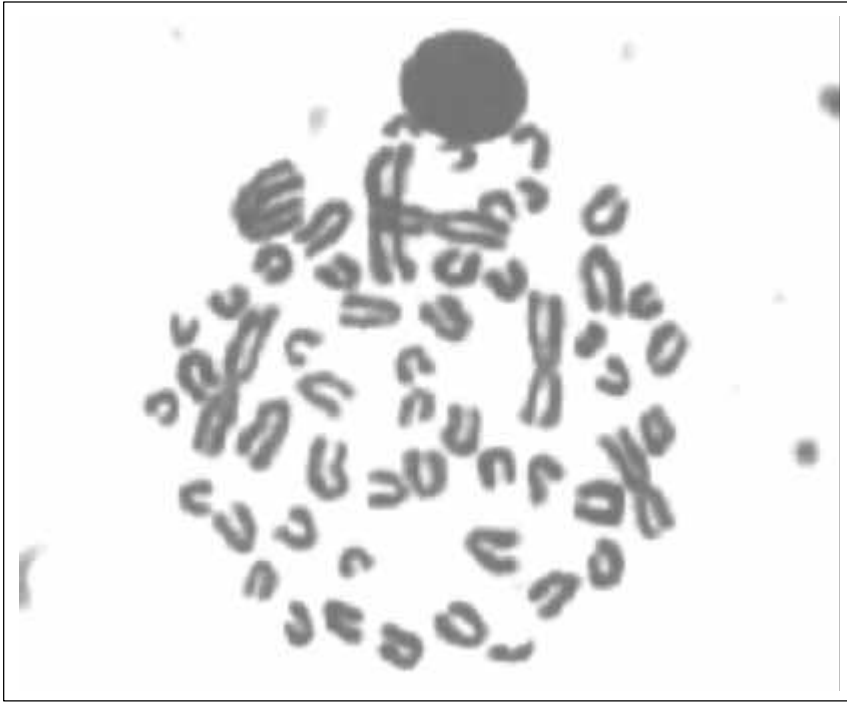
Se obtuvieron fotografías de las metafases seleccionadas a 1 000 X; las fotos se cortaron para ordenar los cromosomas por pares de acuerdo con el tamaño y posición del centrómero, para obtener así al cariotipo.<sup>17</sup>

## Resultados

Los cruzamientos entre un macho Cimarrón y cinco hembras de borrego Tabasco mostraron una fertilidad de 100%; se obtuvieron los siguientes nacimientos: Dos borregas gestaron un embrión, dos gestaron dos embriones y una cuatro, obteniéndose 10 crías en total, cinco hembras y cinco machos. De estas diez crías, sobrevivieron tres machos y cuatro hembras. La morta-

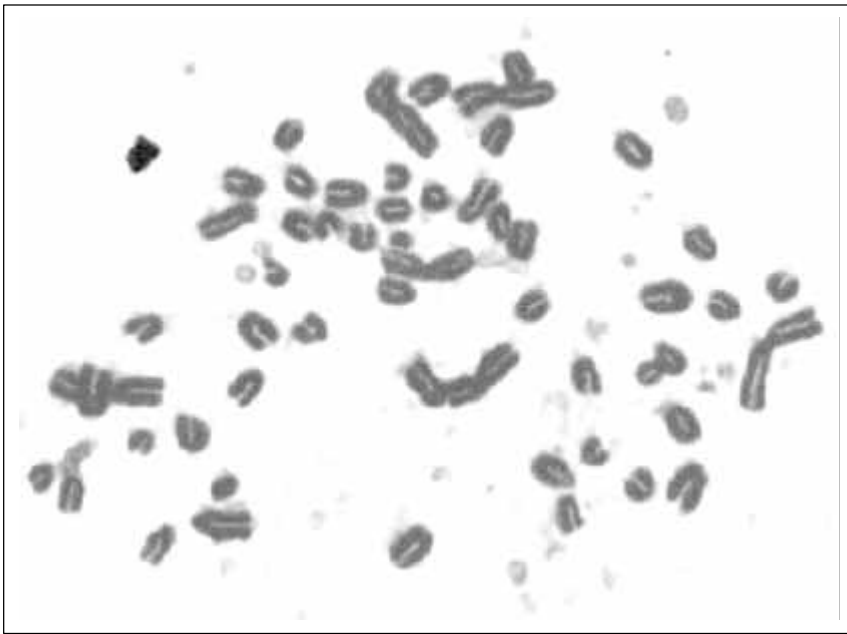
\* Microlab México.

\*\* Laboratorios Merck.



**Figura 1.** Cromosomas en metafase de borrego Pelibuey (*O. aries*).

Chromosomes from a female Domestic sheep (*O. aries*), in metaphase.



**Figura 2.** Cromosomas en metafase de borrego Cimarrón (*O. canadensis*).

Chromosomes from a male Bighorn sheep (*O. canadensis*), in metaphase.

males and four females survived. Deaths occurred before the sixth month of age due to respiratory problems that are common in lambs at this age, and thus they are not believed to be associated to genetic factors.

The chromosomes for a female domestic sheep are presented in Figure 1. All the mitosis showed 54 chromosomes: three large submetacentric and 23 acrocentric, as well as the sexual pair with a large

lidad de las crías ocurrió antes de los seis meses de edad, debido a problemas respiratorios que comúnmente suceden en corderos a esa edad, por lo que se cree que las causas de mortalidad no se encuentran asociadas a factores genéticos.

Los cromosomas de borrego Pelibuey se presentan en la Figura 1. Todas las mitosis mostraron 54 cromosomas con tres pares de submetacéntricos grandes y 23 pares de acrocéntricos y un par sexual con el X como un



**Figura 3.** Cromosomas en metafase de borrego híbrido ♀ (*O. canadensis* × *O. aries*).  
Chromosomes from a female hybrid sheep (*O. canadensis* × *O. aries*), in metaphase.



**Figura 4.** Cromosomas en metafase de borrego híbrido ♂ (*O. canadensis* × *O. aries*).  
Chromosomes from a male hybrid sheep (*O. canadensis* × *O. aries*), in metaphase.



acrocentric X and a small submetacentric Y, thus giving a fundamental number of 58. Chromosomes were similar in the male Bighorn sheep ♂ (Figure 2) and the male (Figure 3) and female (Figure 4) hybrid sheep.

Sexual chromosomes are similar in the hybrid and its progenitors, chromosome X being the largest of the acrocentric chromosomes and Y being the small submetacentric chromosome. As can be observed in Figures 5 (female domestic sheep, *Ovis aries*), 6 (male Bighorn sheep, *Ovis canadensis*), 7 and 8 (hybrid sheep, *O. aries* × *O. canadensis*, female and male, respectively), karyotypes coincide both in shape and size.

The hybrid sheep presents the same karyotype, in chromosome number and morphology, as its parents,

acrocéntrico grande y el Y un submetacéntrico pequeño, siendo el número fundamental 58. Los cromosomas fueron similares en el borrego Cimarrón ♂ (Figura 2) y los borregos híbridos ♂ (Figura 3) y ♀ (Figura 4).

Los cromosomas sexuales son semejantes entre el híbrido y las especies progenitoras siendo el cromosoma X el de mayor tamaño de los acrocéntricos y el Y un submetacéntrico pequeño. Como se observa en las Figuras 5 (borrego Pelibuey hembra, *Ovis aries*), 6 (borrego Cimarrón macho, *Ovis canadensis*), 7 y 8 (borrego híbrido *O. aries* × *O. canadensis*, hembra y macho, respectivamente), los cariotipos coinciden en cuanto a forma y tamaño.

El cariotipo del borrego híbrido presenta el mismo número y morfología de los cromosomas de los padres, ello supone que estas dos especies de borregos están muy cercanas genéticamente (Cuadro 1).

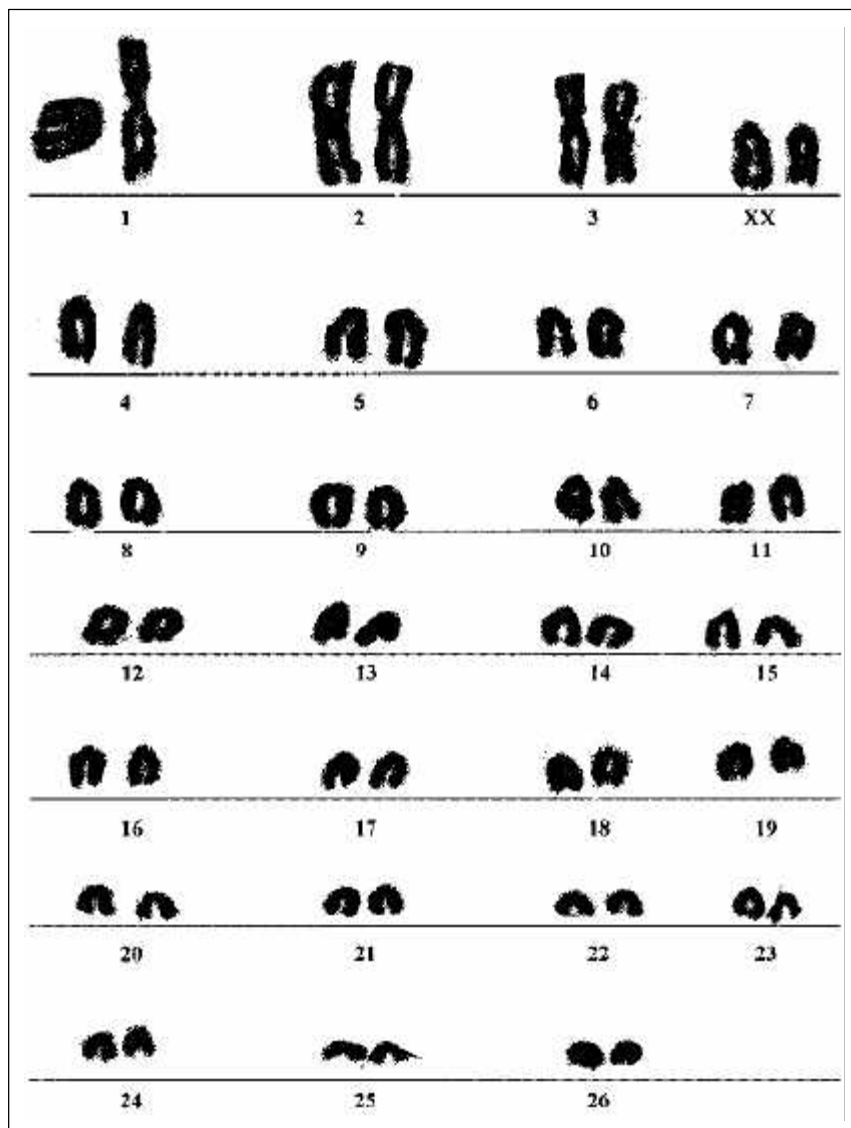


Figura 5. Cariotipo de borrego Pelibuey (*Ovis aries*) hembra (Cortés, 1975).  
Female domestic sheep (*Ovis aries*) karyotype (Cortés, 1975).

this suggests that the two species of sheep are very close genetically (Table 1).

No differences in chromosome number or shape were found in the different karyotypes.

## Discussion

Due to the risky situation in which the Bighorn sheep finds itself, the development of hybrid *O. canadensis* and *O. aries* sheep could present an alternative for the recuperation of this species. Hybrid females could be used as Bighorn sheep embryo recipients and, as such, be introduced to sustainable development programs in states such as Sonora and Baja California, in Mexico, where this species has high hunting value. We must also consider that the interspecies cross between the Big-

En los cariotipos no se encontró diferencia en el número y forma de los cromosomas que lo constituyen.

## Discusión

Debido a la situación de riesgo en la que se encuentra el borrego Cimarrón, el desarrollo de borregos híbridos entre *O. canadensis* y *O. aries* podría presentar una alternativa para la recuperación de esta especie, ya que hembras híbridas *O. canadensis* y *O. aries* podrían ser utilizadas como receptoras de embriones de borregos Cimarrón y ser introducidas en programas de aprovechamiento sostenible en estados como Sonora y Baja California, donde esta especie tiene un valor cinegético. Considerando que la cruce interespecífica entre borrego Cimarrón y borrego Tabasco fue viable y determinándose que el número

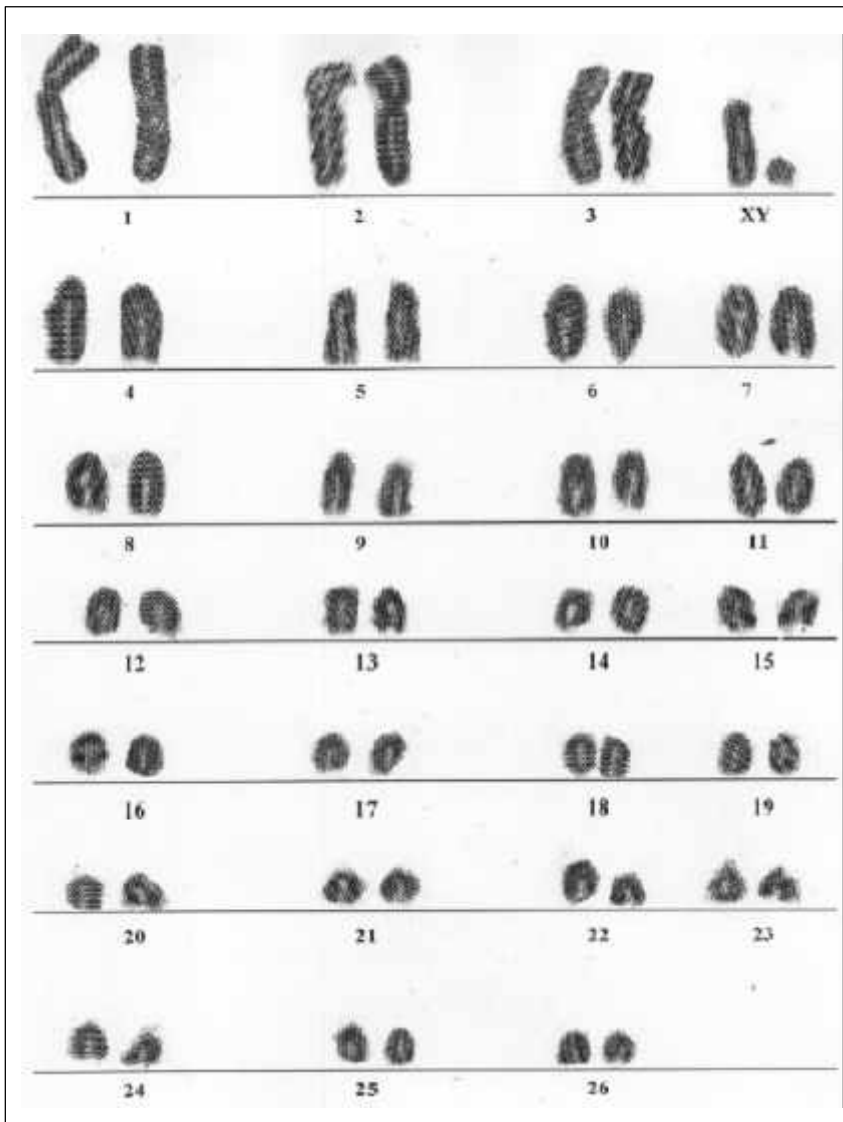


Figura 6. Cariotipo del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*).  
Male Bighorn sheep (*Ovis canadensis*) karyotype.

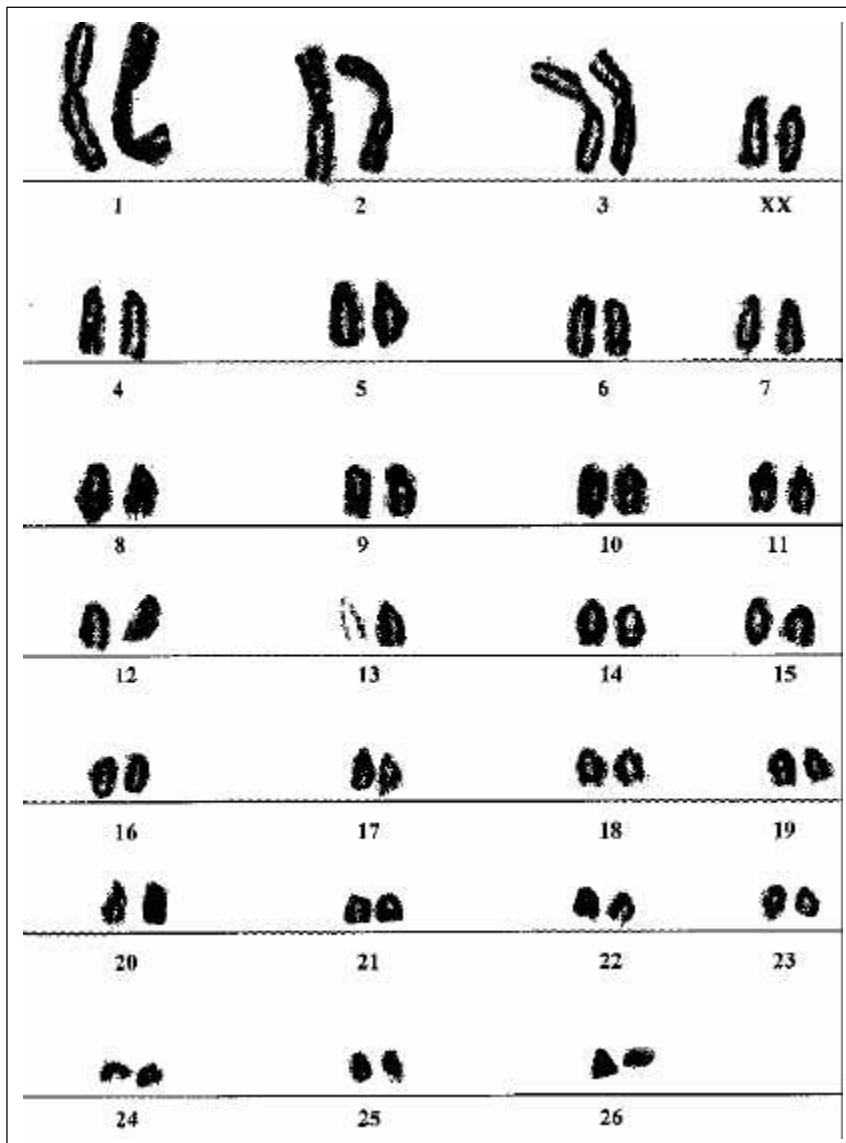


horn sheep and the domestic sheep was viable and had a hybrid chromosomal number  $2n = 54$ , which is the same as its progenitors. This karyotype was made up of three pairs of large submetacentric chromosomes, 23 pairs of acrocentric chromosomes of varying size, and a sexual pair formed by a large acrocentric X and a small submetacentric Y.

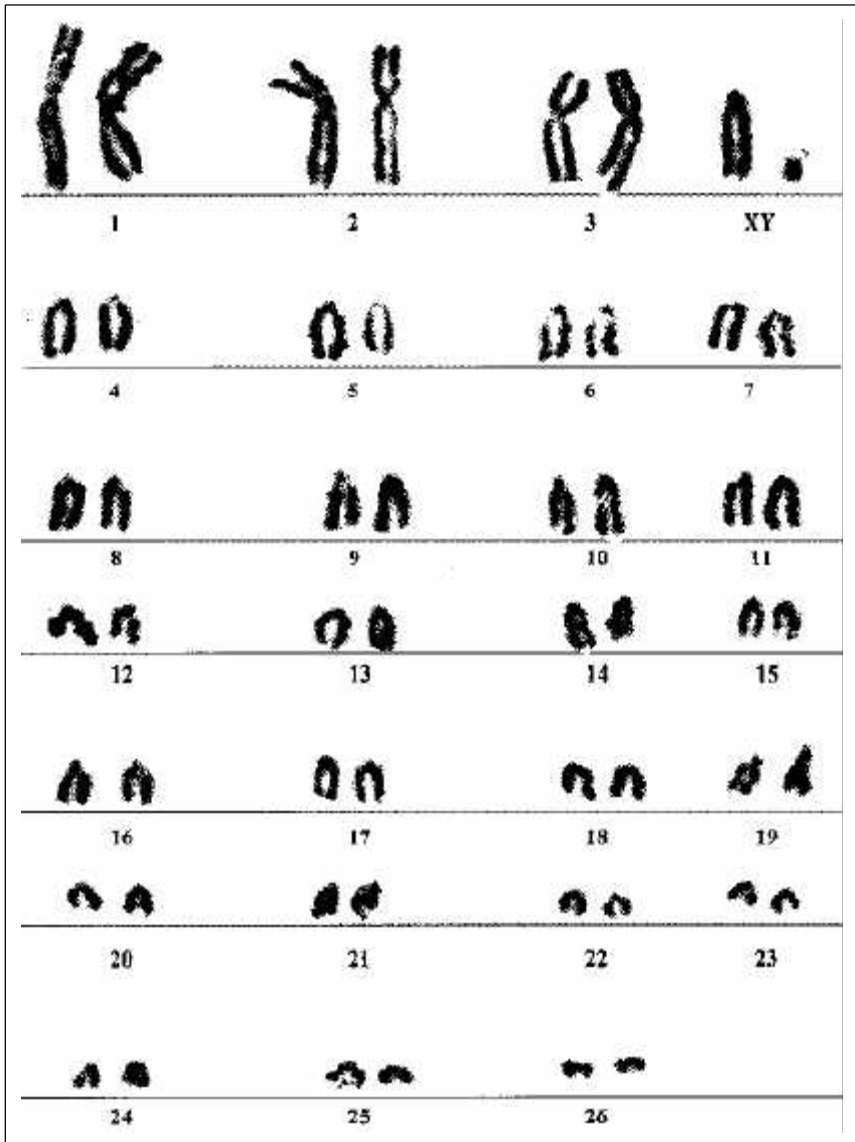
The fact that viable interspecies crosses can exist could be due to the fact that the common ancestor for various sheep species is very close phylogenetically, with a  $2n = 54$  chromosomal number, represented by the species: *O. orientalis*, *O. musimon*, *O. dalli*, *O. canadensis* and *O. aries*. While other species are more distant: *O. ammon*  $2n = 56$ , *O. vignei*  $2n = 58$  and *O. nivicola*  $2n = 52$ .<sup>18</sup>

chromosómico del híbrido fue de  $2n = 54$  al igual que sus progenitores, mostrando un cariotipo constituido por tres pares de cromosomas submetacéntricos grandes y 23 pares de acrocéntricos que varían en tamaño, con un par sexual formado por un cromosoma X acrocéntrico grande y un cromosoma Y submetacéntrico pequeño.

El hecho de que existen cruza interespecíficas viables puede ser debido a que el ancestro en común de varias especies de ovinos es filogenéticamente muy cercano para el grupo con número cromosómico  $2n = 54$  representado por las especies *O. orientalis*, *O. musimon*, *O. dalli*, *O. canadensis*, *O. aries* estando más distantes de *O. ammon*  $2n = 56$ , *O. vignei*  $2n = 58$  y *O. nivicola*  $2n = 52$ .<sup>18</sup>



**Figura 7.** Cariotipo del borrego híbrido hembra de la cruce entre borrego Cimarrón y borrego Pelibuey (*O. canadensis* × *O. aries*). Female hybrid sheep karyotype obtained from a cross of Bighorn sheep and domestic sheep (*O. canadensis* × *O. aries*).



**Figura 8.** Cariotipo del borrego híbrido macho de la cruce entre borrego Cimarrón y borrego Pelibuey (*O. canadensis* × *O. aries*). Male hybrid sheep karyotype obtained from a cross of Bighorn sheep and domestic sheep (*O. canadensis* × *O. aries*).

| <b>Cuadro1</b>                                   |           |           |                           |          |          |
|--|-----------|-----------|---------------------------|----------|----------|
| COMPARACIÓN DE LOS CARIOTIPOS                    |           |           |                           |          |          |
| KARYOTYPE COMPARISONS                            |           |           |                           |          |          |
| <i>Species</i>                                   | <i>2n</i> | <i>NF</i> | <i>Chromosomal number</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
| <i>O. canadensis</i>                             | 54        | 58        | 3SM+23A                   | A        | SM       |
| <i>O. aries</i>                                  | 54        | 58        | 3SM+23A                   | A        | SM       |
| Hybrid: <i>O. canadensis</i> × <i>O. aries</i> . | 54        | 58        | 3SM+23A                   | A        | SM       |

2N = Diploid number.  
 NF = Total number of arms in the haploid number, not including the sexual pair.  
 SM = Submetacentric chromosomes.  
 A = Acrocentric chromosomes.



## Referencias

1. Lorenzo MC, Rojas VR. Diversidad de Pinnípedos, un enfoque cromosómico. *Cienc Desarrollo* 2002;26:62-69.
2. Ville CA, Salomón EP, Martín CE, Martín DV. *Biología*. 2ª Ed. México: McGraw Hill, 1992.
3. Mayr. *Animal species and Evolution*. Chicago (U.S.A.) The Belknap Press of Harvard University Press. 1979.
4. Mine OM, Kedikilwe K, Ndebele RT, Nsoso SJ. Sheep-goat hybrid born under natural conditions. *Small Ruminant Res* 2000;37:141-145.
5. Puertas MJ. *Genética fundamental y perspectiva*. Madrid España: Interamericana-McGraw Hill. Madrid, 1996.
6. Stanfield WD. *Genética*. 3ª Ed. Bogotá (Colombia): McGraw Hill. 1998.
7. McFee AF, Banner MW, Bary JM. Variation in chromosome number among european wild pig. *Cytogenetics* 1966;5:75-81.
8. Ávalos E, Gagniere M, Vásquez PC. Técnica de bandeado en cromosomas de borrego Tabasco (*Ovis aries*) y borrego Berberiano (*Amotragus lervia*). *Tec Pec Méx* 1975;7(10):29-88.
9. Nadler CF, Hoffman RS, Woolf A. G-Band patterns as chromosomal markers, and the interpretation of chromosomal evolution in wild sheep (*ovis*). *Experientia* 1973;29:117-119.
10. Buch TD, Nguyen TC. Blood group comparisons between European Mouflon sheep and North America Desert Bighorn sheep. *J Hered* 1982;73:112-114.
11. Shackleton MD. *Ovis canadensis*. *Mammalian Species*, Am Soc Mamm 1985;230:1-9.
12. Tapia LA. El borrego Cimarrón, una especie que debemos proteger. *Libros del Rincón*. México: SEP, 1998.
13. McTaggart Cowan I. Distribution and variation in the native sheep of North America. *Am Midland Nat* 1940;24:505-580.
14. Mejía VO, Cervantes MJ, Peña RM, Palma IM, Gurrola I. Características reproductivas en híbridos de Cimarrón (*Ovis canadensis* × *Ovis aries*). *Memorias del 2º Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Ruminantes y Camélidos Sudamericanos; XI Congreso Nacional de Ovinocultura*; 2001 Mayo 22-25; Mérida, Yucatán, México. UADY. 2001.
15. McFee AF, Banner MW Murphree, RL. Chromosome analysis of peripheral leucocytes of the sheep. *J Anim Sci*. 1965;24:551-554.
16. Hare WCD, Singh EL. *Citogenética de la reproducción animal*. Zaragoza (España). Editorial Acribia, 1979.
17. Cortés Z, Berruecos JM. Estudio Cromosómico del Borrego Tabasco. *Tec Pec Méx*. 1971;17:58-60.
18. Piper L, Ruvinsky A. *The genetics of the sheep*. Wallingford (UK): CAB International. 1997.