

24: 109



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESTUDIO CARIOTIPICO DE Dormitator maculatus
Bloch y Gobiomorus dormitor Lacépède (Gobiidae,
PISCES: Perciformes).**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

B I O L O G O

P r e s e n t a :

MARIA DEL CARMEN MALDONADO MONROY

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

	página
- Resumen	1
- Introducción	1
-- Objetivo	6
-- Antecedentes	7
- Material y Métodos	12
- Resultados	25
- Discusión	32
- Conclusiones	37
- Bibliografía Citada	39

RESUMEN

Se realizaron estudios citogenéticos en Dormitator maculatus y Gobiomorus dormitor, ambos miembros de la familia Gobiidae, y provenientes de la región de la desembocadura del río Papaloapan y la Laguna de Alvarado, en el Estado de Veracruz.

Se presenta y discute la metodología empleada para la obtención del cariotipo de dichas especies. Del estudio se pudo desprender que Dormitator maculatus posee un número cromosómico diploide de 46 y un número fundamental de 90 y Gobiomorus dormitor, de 48 y 54, respectivamente. En ninguno de los dos casos se detectaron heterocromosomas. Se llegó a la conclusión de que estas especies no están íntimamente relacionadas sino que existen grandes diferencias en sus cariotipos. Dormitator maculatus es un pez con un cariotipo más evolucionado que el de Gobiomorus dormitor por presentar un mayor número de birrámeos; posiblemente, los mecanismos involucrados en la evolución del cariotipo de Dormitator maculatus fueron las fusiones céntricas, disminuyendo su $2n$ de 48 a 46 y aumentando su número de cromosomas birrámeos por medio de inversiones pericéntricas y desiguales. Gobiomorus dormitor, en cambio, no se ha apartado del número diploide 48 primitivo propuesto por Ohno, *et. al.*, (1967), y tal vez la formación de sus tres pares de cromosomas birrámeos pudo haberse dado por inversiones desiguales.

Finalmente, se analizan las notables similitudes entre los cariotipos de Dormitator maculatus y D. latifrons (especie localizada en la costa occidental de México) y considerando las mismas, no se pueden agrupar en una sola especie con los datos obtenidos hasta ahora.

El hombre, desde siempre, ha estado relacionado con los peces y su interés se ha motivado principalmente por la utilidad que en ellos encuentra. Así por ejemplo, podemos ver a través de la historia, que las pesquerías, así como la industrialización de los productos pesqueros, se han desarrollado progresiva y constantemente, siendo un renglón importante en la economía y la alimentación mundial.

Se han señalado dos modalidades principales de la relación existente entre los peces y el hombre (Bond, 1979), la primera se refiere a aquellos peces que de una u otra forma causan daños al hombre, la segunda considera la utilización de los peces como alimento y dentro de esta categoría se encuentran también las especies empleadas para diversos tipos de control biológico.

En el ámbito científico, los peces han sido objeto de gran cantidad de estudios de diversa índole (ecología, fisiología, anatomía comparada, evolución y genética, entre otros). La citogenética, rama importante de la genética, representa una herramienta valiosa para el estudio de los peces, y el incremento en el conocimiento de sus cromosomas se relaciona estrechamente con el conocimiento de sus aspectos evolutivos (Ojima, et. al., 1976)

Desde el punto de vista evolutivo, la formación de nuevas especies es el resultado de la acción de uno o varios mecanismos, de tal forma que las especies alopátricas son producto del aislamiento que cau

sa la formación de barreras geográficas, v. gr., los levantamientos y hundimientos de porciones terrestres como fue la aparición del istmo de América Central que se llevó a cabo durante el Plioceno (Hallam, 1972) que provocó la división de aguas en las que habitaban determinadas especies.

Así también los cambios climáticos, la formación de glaciares y la aparición de ríos, son algunos de los muchos ejemplos que ilustran este tipo de discontinuidad que conduce hacia el aislamiento reproductivo. Las diferencias intra o interespecíficas de las poblaciones resultantes de estos aislamientos pueden a menudo reflejarse en sus cariotipos.

A diferencia de las especies alopátricas, las simpátricas presentan otros tipos de aislamiento reproductivo, tales como el ecológico, en el cual los individuos que presentan desigualdades en sus fenotipos, difieren en la selección del hábitat y nicho dentro de una misma región geográfica; el etológico en el que existen discrepancias en el comportamiento sexual y el mecánico en el que no existe concordancia en el tamaño o forma de los órganos genitales. Existen además, otros mecanismos de aislamiento que actúan después de la formación de cigotos, tales como la formación de híbridos, algunos de los cuales por selección natural, se eliminan, pues generalmente son estériles y se encuentran en desventaja al estar poco adaptados al ambiente en comparación con las especies parentales (Metler y Gregg, 1972). La selección natural puede actuar además a otros niveles tales como la mor

talidad de los gametos, la ocurrencia de cigotos no viables debido a un desequilibrio genético que conduce a la muerte embrionaria y, la mortalidad de individuos antes de alcanzar la madurez sexual.

Existe otro modelo de especiación conocido como estasisipátrico propuesto por White, (1968) (que rechaza como únicas alternativas los modelos alopátrico y simpátrico), en el cual se produce un arreglo cromosómico, ya sea en una colonia periférica o en el centro de la población y que a manera de foco de propagación empieza a irradiar a su contorno y extiende un cariotipo recombinante que desplaza al anterior y que, finalmente, puede llegar a eliminar el de la especie precedente.

Es importante conocer los mecanismos que tienen influencia en los procesos de especiación, ya que las relaciones filogenéticas de varias especies de ictiofauna se han establecido con trabajos versados en el análisis de fenómenos tales como el polimorfismo cromosómico que incluye el mecanismo Robertsoniano, la duplicación génica y la poliploidización; en otros casos las derivaciones cariotípicas pueden ser explicadas por inversiones pericéntricas y paracéntricas y por translocaciones recíprocas.

La taxonomía y la sistemática, pueden ser auxiliadas por el conocimiento de los cromosomas (White, 1954, citado por Ojima y Hitotsumachi, 1967), ya que las investigaciones genéticas y citológicas en com

binación, han contribuido en forma notable a la comprensión de las relaciones filogenéticas existentes entre las especies y de los mecanismos de especiación que se presentan entre ellas.

Es necesario hacer notar que los recientes avances en la citogenética han coadyuvado al establecimiento de correlaciones entre la distribución geográfica de los peces y el polimorfismo cromosómico y la poliploidía; de la misma manera, las prácticas de hibridación han mejorado la crianza de algunas especies destinadas principalmente al consumo humano.

Denton, (1973) definió al cariotipo como la representación esquemática del juego cromosómico presente en el núcleo celular. Cabe destacar que los cariotipos son contruídos con fotografías del juego de cromosomas obtenidos durante la metafase de las divisiones mitótica o meiótica y que es una etapa en donde los cromosomas, merced a la condensación que sufre el DNA, se muestran en su estado de mayor nitidez, hecho que es aprovechado para un análisis más preciso.

Un estudio cariotípico ictiológico adecuado, presenta ciertas dificultades y tiene que ser considerado con cierta reserva, pues puede estar sujeto a interpretaciones erróneas a causa de diversos factores, de los que conviene señalar, por su importancia, los siguientes:

a). lo pequeño que son los cromosomas de la mayoría de los peces

(Denton, 1973).

- b). las condensaciones heterogéneas que se presentan en la cromatina de los cromosomas homólogos, y
- c). la manipulación técnica.

Por lo expuesto, es muy importante llevar a cabo un mayor número de estudios sobre los cromosomas de diferentes grupos de ictiofauna que sirvan de apoyo para alcanzar un mejor conocimiento taxonómico de los grupos que puedan aportar información relevante acerca de los fe nó m e n o s de e s p e c i a c i o n e n e s t e t i p o d e o r g a n i s m o s.

Gobiomorus dormitor (Lacépède, 1800) y Dormitator maculatus (Bloch, 1790) -objetos del presente estudio- y en general los eleótridos, tie nen una ubicación taxonómica incierta, ya que algunos autores como Gosline, (1971); Findley, (comunicación personal) y Walls, (1975), entre otros, prefieren separarlos en la familia Eleotridae; sin embargo, generalmente, Greenfield, (1971); Greenwood, et. al., (1966); Böhlke y Chaplín, (1968) y Dawson, (1969) (estos tres últimos trabajos citados por Reséndez en 1973), entre otros investigadores, consi deran a los eleótridos como miembros de la familia Gobiidae, ya que existen algunas especies que presentan las aletas pélvicas parcialmente fusionadas, característica intermedia entre la fusión y la separación de dichas aletas. Lo que precede, es una muestra de que existe poco conocimiento de la taxonomía de estos peces y, en general, de su biología, pese al conocimiento que se tiene de que su papel eco lógico debe ser sumamente importante, pues estos organismos son abun

dantés y típicos representantes de estuarios y lagunas costeras.

Siendo la de Alvarado una de las lagunas más importantes del país, se considera que los góbidos pueden ser explotados racionalmente para su consumo, ya que en Alvarado, se aprecia mucho el sabor de la carne de Gobiomorus dormitor y se aprovecha la gónada de Dormitator maculatus; por lo tanto, este aprovechamiento pudiera extenderse a otras áreas litorales de México y a otras especies similares, que pueden significar un potencial pesquero muy importante.

-- Objetivo.

El objetivo de este trabajo, es llevar a cabo el estudio citogenético de las especies Gobiomorus dormitor y Dormitator maculatus (ambas, miembros de la familia Gobiidae), para determinar sus número diploide y fundamental y lograr la obtención de sus cariotipos, adaptando e implementando las técnicas actualmente descritas.

Con la información obtenida, se contribuirá al incremento de la base de los recientes criterios citotaxonómicos que hasta la fecha no han sido ampliamente aplicados al campo de la ictiotaxonomía; y se espera que, además, sirva para tener una visión más clara sobre las relaciones existentes entre los cariotipos del grupo de los góbidos.

-- Antecedentes.

El gran avance que se ha presentado en la citogenética ictiológica en los últimos veinte años, se debe principalmente al interés e inquietud mostrados por los investigadores en relación a aspectos taxonómicos, evolutivos, de correlación entre la distribución geográfica de los organismos y las variaciones en su genoma, de hibridación, heterogamia sexual, así como al mejoramiento notable que se le ha dado a la metodología utilizada para la obtención de cromosomas y a la elaboración de perfiles cariotípicos de las especies.

En cuanto al aspecto taxonómico, la clasificación de los organismos estaba basada sólo en caracteres merísticos y últimamente, la citogenética ha constituido una parte fundamental para la taxonomía; entre los trabajos canalizados a este objetivo tenemos los de Beamish y Miller, (1977); Elorza, (1968); Khuda-Bukhsh, (1978); LeGrande y Fitzimons, (1976); Ojima, et. al., (1966 y 1976); Ojima y Hitotsumachi, (1967).

Gracias a la realización de estudios destinados a analizar procesos como el polimorfismo cromosómico que engloba el mecanismo Robertsoniano, la duplicación génica y la poliploidización primordialmente, se han llegado a establecer modelos de evolución (Avisé, 1977). A este respecto, tenemos los realizados por Atkin, et. al., (1965); Avisé, (1977); Avisé y Gold, (1977); Beamish, et. al., (1971); Bengtsson

y Bodmer, (1976); Bikham y Baker, (1978); Betancourt, (1969); Betancourt y León-Cázares, (1970); Chapman y Bruere, (1977); Chen y Ebeling, (1971); Ferris y Whitt, (1977a y 1977b); Frías, (1975); Gold y Avise, (1977); Iordansky, et. al., (1975); Kornfield, (1978); Lau y Hsu, (1977); LeGrande, (1981); Manna y Prasad, (1974); Ohno y Atkin, (1966); Ohno, et. al., (1965 y 1967); Ojima, et. al., (1972a); Ojima y Makino, (1978); Ojima y Takai, (1979); Ojima y Ueda, (1978); Regan, et. al., (1968); Thorgaard, (1976); Uyeno y Miller, (1972); Urushido, et. al., (1977); Whitt, et. al., (1977) y Wolf, et. al., (1969), entre otros.

Cabe mencionar que estas investigaciones no se habrían llevado a cabo sin el notable desarrollo y mejoramiento obtenidos en los métodos citogenéticos. Al respecto, existen numerosos trabajos destinados a la descripción de técnicas para la obtención de cromosomas, entre los cuales figuran los de Beamish, (1971); Betancourt, (1969); Chen y Ebeling, (1971); Heckman y Brubaker, (1970); Heckman, et. al., (1971); Iordansky, et. al., (1975); McPhail y Jones, (1966); Ojima, et. al., (1972b); Palva, (1979); Salamanca y Armendares, 1976; Smith, et. al., (1976); y sobre todo, el útil compendio elaborado por Denton, (1973), en el cual figuran las técnicas desarrolladas por muchos otros científicos.

La literatura científica cuenta con un número muy reducido de publicaciones destinadas al estudio citogenético de los góbdos. En pri-

mer término tenemos que Nogusa, (1955), estudió la morfología y el comportamiento de los cromosomas X y Y durante la espermatogénesis de Mogruna obscura, trazando la ruta de los cuerpos heteropicnóticos en el espermatozoido desde la fase leptótena temprana hasta la diacinesis; posteriormente, el mismo autor, en 1960[†], realizó un estudio comparativo de los cromosomas con objetivos taxonómicos y evolutivos de las especies: Acanthogobius flavimanus, Boleophthalmus pectinirostris, Chaenogobius urotaenia, Gobius abei, G. similis, Periophthalmus cantonensis y Tridentiger obscurus.

Kaur, D. y Srivastava, M.D.L., (1965)[†], realizaron el análisis cariotípico de Glossogobius giurus; Post, A., en 1965[†], reportó solamente el número cromosómico de Brachygobius nusus; Subrahmanyam, (1969)^{††}, aplicó la técnica del cloruro de calcio obteniendo el cariotipo de Boleophthalmus boddaerti; Chen y Ebeling, (1971), realizaron el estudio de las especies simpátricas Gillichthys mirabilis y G. seta, cuya distribución se localiza en el Golfo de California; Arai, et. al., (1973), (1974c, d)^{††}, estudiaron los cariotipos de: Rhynogobius brunneus, Chasmichthys dolichognatus, Chaenogobius annidaris, Pterogobius elapoides, Luciophius guttatus, Mugilgobius abei, Tridentiger obscurus obscurus, Tridentiger obscurus brevispinis, Tridentiger trigonocephalus, Bathygobius fuscus, Ctenogobius criniger, Gobiodon citrinus, Periophthalmus cantonensis, Rhodonichthys laevis y Amblygobius almiculatus, siendo todas del Japón; Nadamitsu, (1974)^{††}, elaboró el cariotipo de Tukugobius flumineus; Manna y Prasad, (1974), llevaron a

[†] Tomado de Denton, (1973)
^{††} Tomado de Ojima, et. al., (1976)

cabo estudios de Glossogobius giuris, Boleophthalmus glaucus y Gobioi-
des rubicundus; asimismo, las siguientes especies japonesas fueron
estudiadas en 1974 por Mishikawa, et. al.: Rhynogobius giurinus,
Chasmichthys gulosus, Chaenogobius castanea, Acentrogobius pflaumi,
Boleophthalmus pectinirostris. Más tarde, Cook, (1977), elaboró el
cariotipo de Quietula y-cauda y Quietula guaymasiae; en ese mismo
año, Khuda-Bukhsh, analizó el cariotipo de Trypauchen vagina; Uribe-
Alcocer, et. al., (en prensa), hicieron el estudio citogenético de
Dormitator latifrons y el de Eleotris pisonis fue realizado por Mon-
tes, et. al., (en prensa).

Por lo que a México respecta en lo particular, en la tabla número 1
(siguiente página), se muestran los datos cariotípicos reportados
hasta la fecha de las especies de góbidos.

TABLA 1. Datos comparativos de los morfotipos cromosómicos de peces de la familia Gobiidae.

ESPECIE	AUTOR	2n	n	met.	smet.	acr.	N.F.	LOCALIDAD
<u>Dormitator latifrons</u>	(A)	46	23	12	32	2	90	Mazatlán, Sinaloa.
<u>Electris pisonis</u>	(B)	46	--	2	--	44	48	Alvarado, Veracruz.
<u>Gillichthys mirabilis</u>	(C)	44	22	--	12	32	56	Cal. y Nte. de Méx.
<u>Gillichthys seta</u>	(C)	44	22	6	14	24	64	Golfo de California.
<u>Quietula guaymasiae</u>	(D)	42	21	6	4	32	52	Nte. Golf. de Calif.
<u>Quietula y-cauda</u>	(D)	42	21	--	--	42	42	Calif., B. Calif., Nte. Golf. Calif.

A). Uribe-Alcocer, et. al., (en prensa)

B). Montes, et. al., (en prensa)

C). Chen y Ebeling, (1971)

D). Cook, (1977).

Los organismos estudiados fueron colectados durante los meses de enero y abril de 1980, en la Laguna de Alvarado y en la desembocadura del río Papaloapan, en el Estado de Veracruz (ver figura número 1).

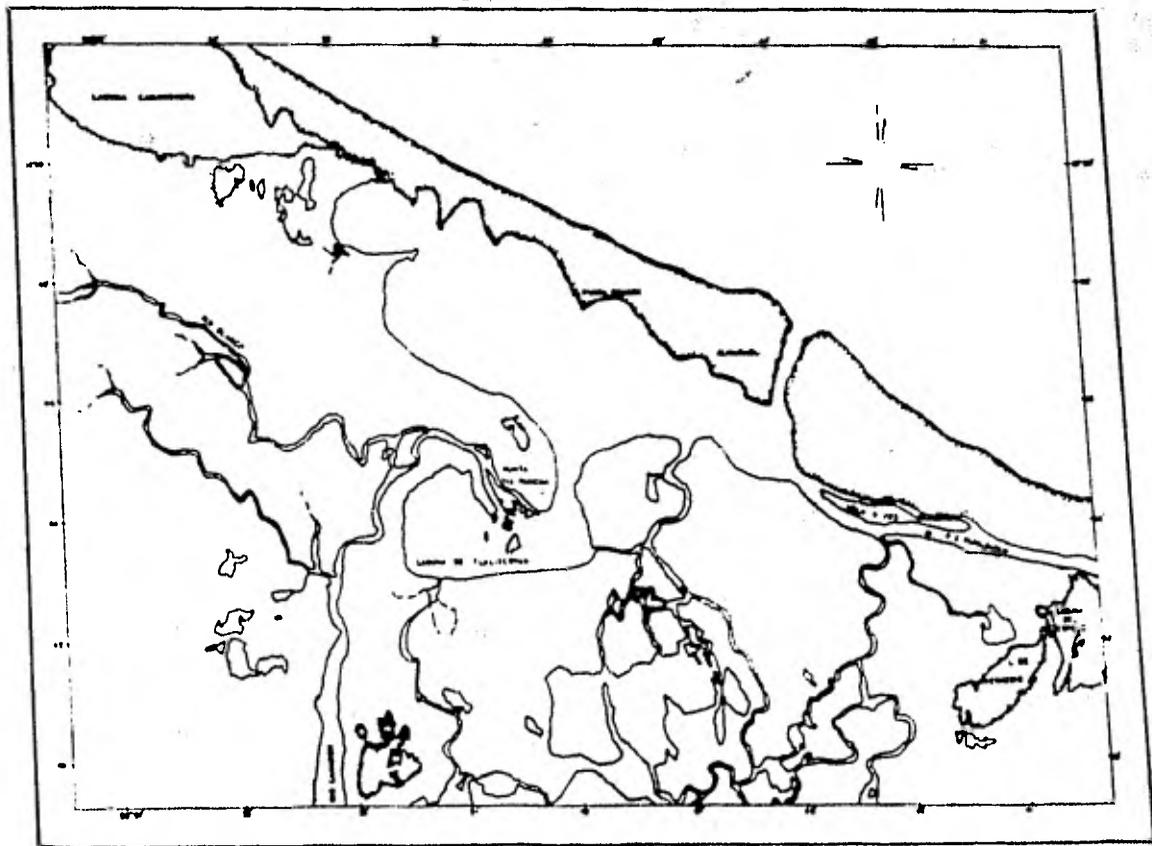
La captura de los especímenes provenientes de la Laguna de Alvarado, se llevó a cabo en las orillas de la Isla Vives, con la ayuda de los pescadores del lugar, quienes utilizaron atarrayas, trampas jaiberas y redes de cuchara. Los ejemplares procedentes de la desembocadura del río Papaloapan fueron proporcionados por el personal que labora en la estación piscícola "Los Amates", del Departamento de Pesca, localizado a 12 Kms. de Tlacotalpan, Veracruz. Posteriormente para su procesamiento, los organismos se transportaron vivos al Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la U.N.A.M., en la Ciudad de México.

Las diversas técnicas utilizadas en citogenética, básicamente siguen los mismos principios y sólo difieren unas de otras en la concentración de las sustancias y en el tiempo que éstas se dejan actuar, el procedimiento es el siguiente:

- Como primer punto se utiliza un mitostático.
- Posteriormente se extrae el tejido para su manejo y estudio.
- Las células de dicho tejido se someten más tarde a un choque hipotónico.
- Inmediatamente después, dichas células se fijan rápidamente para más tarde romperlas con objeto de obtener un esparcimiento adecuado de los cromosomas metafásicos a fin de que puedan ser observados y fotografiados.

FIGURA 1.

LAGUNA DE ALVARADO



grafados con la ayuda del microscopio y una tinción adecuada.

La metodología empleada en este estudio se llevó a cabo bajo modificaciones en la técnica básica ya descrita, a partir de las implementadas por Subrahmanyam, (1969); Beamish, *et. al.*, (1971) y Betancourt, (1969) principalmente, como se explica a continuación: (ver diagrama número 1)

1. Cinco horas antes de sacrificarlo, se suministró al pez cloruro de calcio (CaCl_2) al 0.1 % por medio de una inyección intraperitoneal, con la siguiente dosis de acuerdo a la longitud del ejemplar (Subrahmanyam, 1969):

5 - 10 cm. --- 0.5 ml.

10 - 15 " --- 0.75 "

15 - 20 " --- 1.00 "

La administración de cloruro de calcio (CaCl_2) previa a la aplicación de la colchicina, resultó ser muy benéfica, pues se ha visto que este compuesto contrarresta la contracción de los cromosomas, por la acción del mitostático utilizado y promueve las divisiones mitóticas (Subrahmanyam, *op. cit.*), obteniéndose una mayor "cosecha" de núcleos metafásicos.

Berridge, (1975), ha profundizado sobre el papel que juega el calcio en la división celular y, en síntesis, él sostiene que el calcio es la

señal primaria de división en todas las células. Postula que un incremento en el nivel celular del calcio proporciona el estímulo primario para la división; la interacción entre el calcio y los nucleótidos cíclicos como el adenosín monofosfato cíclico (AMPc) y el guanilín monofosfato cíclico (GMPc), tiene diferentes efectos, como se describe a continuación:

El calcio entra al protoplasma, pero en ocasiones puede ser liberado de los reservorios citoplasmáticos. El AMPc puede controlar esta señal mediante un sistema de retroalimentación, tanto positiva como negativa; es decir, puede incrementar el nivel del calcio estimulando la liberación de éste a partir de sus reservorios internos u oponerse a la señal del calcio, induciendo su salida del citoplasma o inhibiendo la entrada del externo: en ambos casos, un alto nivel del calcio, estimula a la guanil ciclasa (GC) para incrementar el GMPc, cuya función se suma a la del calcio para iniciar la división celular. En el siguiente esquema (diagrama número 2) se señala el papel del calcio y de los nucleótidos cíclicos en el control de la división celular.

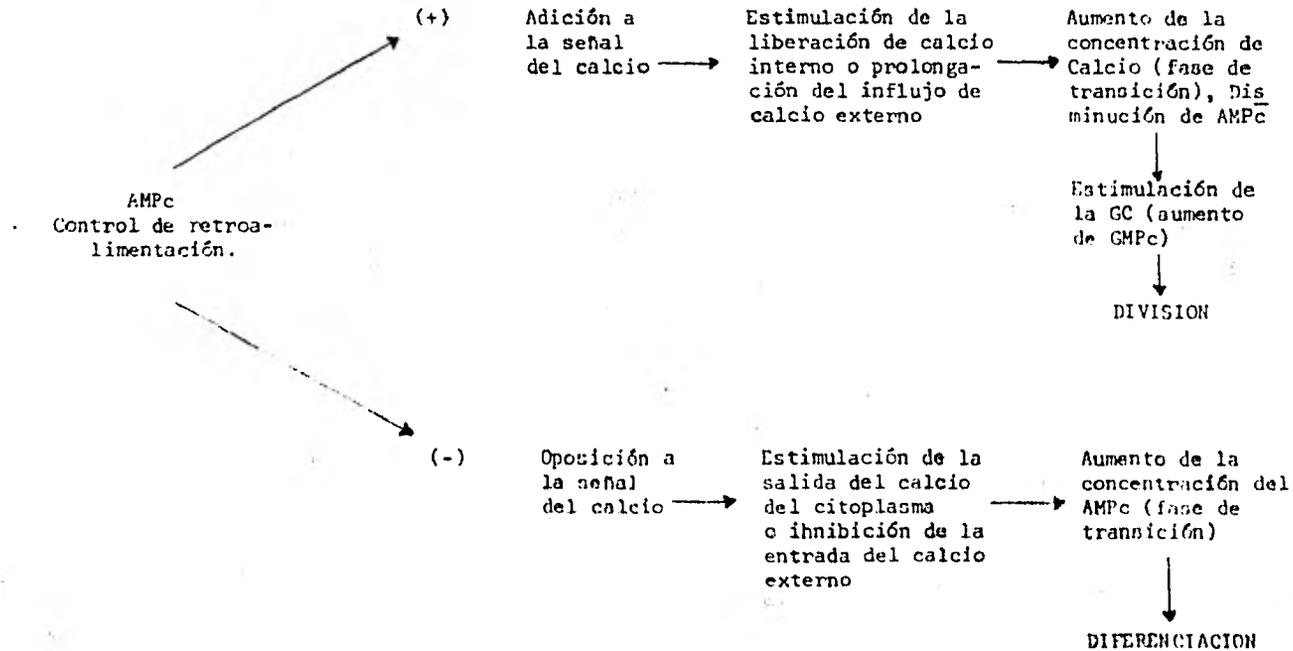
Los niveles del AMPc y del GMPc pueden relacionarse a través de sus interacciones de retroalimentación con el calcio y parece ser posible que en el período G_1 (presíntesis), la célula puede seguir dos alternativas:

- en la primera, la célula puede permanecer dentro del ciclo celular y seguir dividiéndose.
- en la segunda, la célula puede cesar su división y en vez de ello,

DIAGRAMA 2.

Papel del Calcio y de los Nucleótidos Cíclicos en el Control de la División Celular.

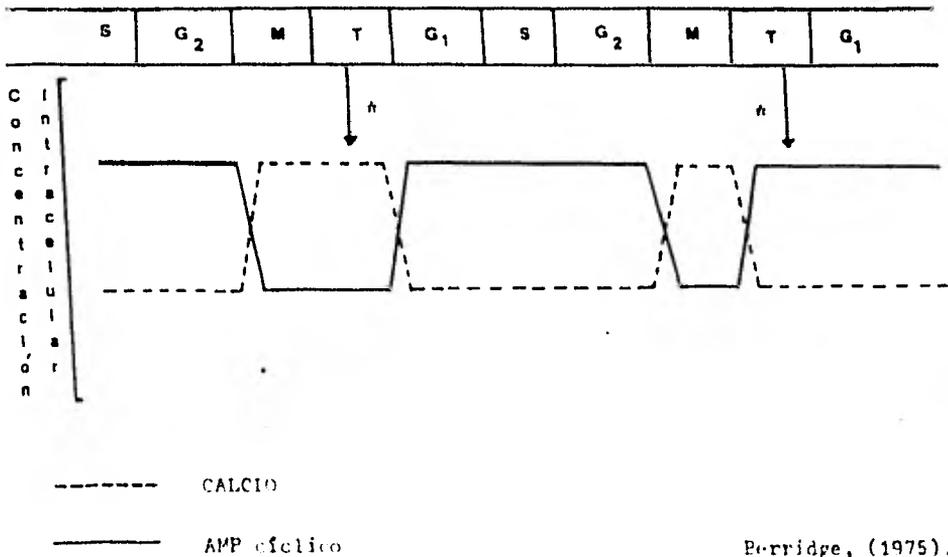
(Berridge, 1975).



comenzar a diferenciarse.

Para que la célula inicie el programa de división, se requiere que haya una alta concentración de calcio durante el período de transición. En el caso en que durante la fase de transición se presente un alto nivel de AMPc, puede actuar bajando el nivel del calcio, con lo cual se suspende el proceso de división y se inicia el de diferenciación. El mismo autor sostiene que la "decisión" de la célula de iniciar el programa de división o el de diferenciación, depende de la velocidad con la cual el AMPc y los niveles de calcio se reinvierten durante la fase de transición, después de la mitosis, teniendo que, si la concentración de AMPc es baja en la fase de transición, se tendrá una alta concentración de calcio; en cambio, si los niveles son restaurados rápidamente en la fase de transición, se presentarán cantidades altas de AMPc y una concentración baja de calcio, causando la desconexión de la división y manteniéndose por consiguiente la fase estacionaria como se esquematiza en la siguiente página (Diagrama número 3).

DIAGRAMA 3. Cambios en los niveles de Calcio y de AMP cíclico en diferentes fases del ciclo celular.



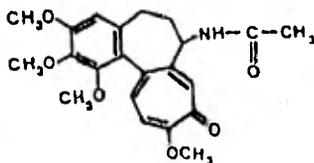
Berridge, (1975).

- S - Síntesis de DNA
- G₁ - Presíntesis
- G₂ - Postsíntesis
- M - Mitosis
- T - Transición (h = fase crítica)

2. Posteriormente a la aplicación del CaCl_2 , tres horas más tarde, se inyectó colchicina al 0.1 % en el músculo anterodorsal derecho en una dosis de 0.1 ml. por cada 10 gramos de peso corporal, según la técnica de Beamish, *et. al.*, (1971)

La colchicina es un alcaloide derivado de la raíz de Colchicum autumnale, que ha sido ampliamente usado con el fin de obtener núcleos metafásicos y se piensa que interfiere en la formación de las fibras de los husos mitóticos durante la metafase, con lo cual se impide la migración de los cromosomas hacia los polos en la anafase (Denton, 1973), bloqueando así la división celular. Debido a que este alcaloide se enlaza a la estructura química de la tubulina (que es la proteína globular que constituye los microtúbulos de las fibras del huso), se detiene la polimerización que en condiciones normales (en carencia de colchicina) da lugar a dicha proteína (Lehninger, 1976). Lo anterior, conduce a la imposibilidad de que se establezcan los enlaces del guanidín nucleótido (complejo formado por una base púrica -guanina-, una pentosa -D-ribosa- y un grupo fosfato) con una proteína no completamente estructurada.

Colchicina



Algunos aspectos del análisis cariotípico se deben tomar con cierta reserva, tales como la comparación intrapoblacional de las longitudes relativas de los cromosomas. En este aspecto, la colchicina tiene que ver en mucho, pues este alcaloide produce que la cromatina de los cromosomas se condense diferencialmente y por ello se produzcan cuerpos heteropicnóticos que puedan conducir a una clasificación y a un análisis erróneos de los cromosomas homólogos. Por ello en los últimos años, se ha optado por el empleo de otros inhibidores mitóticos de menor toxicidad, entre los cuales encontramos la colcemida (diacetilmetil-colchicina) y el velbán (sulfato de vinblastín) que, al igual que la colchicina, es un alcaloide extraído de otro vegetal (Vinca rosea) que según Denton, (1973) ha mostrado ser más potente que los dos compuestos anteriores, ya que provoca la precipitación de la tubulina en un arreglo polimérico tridimensional muy distinto de la estructura normal de los microtúbulos.

3. Dos horas después del suministro de colchicina, se sacrificó al pez y se le extirparon todos los arcos branquiales, los cuales fueron cortados en pedacitos con la ayuda de una navaja, eliminándose los pedazos gruesos de cartilago; esta fragmentación de los filamentos branquiales se llevó a cabo en presencia de cloruro de potasio (KCl) a una concentración de 0.075 M., para que se efectuara simultáneamente el choque hipotónico durante 30 minutos y a una temperatura casi constante de 37 grados centígrados.

Se pudo observar que representa una ventaja la fragmentación de los filamentos branquiales para someter a las células epiteliales a un choque hipotónico, pues de esta forma la descamación celular se facilita y las células adquieren una mayor superficie de contacto con la solución hipotónica. Con el choque hipotónico se induce el influjo de líquido al interior de la célula con el objeto de hincharla para después romperla con más facilidad al dejarla caer sobre un portaobjetos y de esta manera dejar desnudo el contenido nuclear y lograr así un buen esparcimiento de los cromosomas metafásicos.

4. Posteriormente, el material se centrifugó a una velocidad de 800 a 1000 rpm. durante 5 minutos, al cabo de ese tiempo se eliminó el sobrenadante y se fijó el material de interés ("botón") con una solución de Carnoy (mezcla de metanol y ácido acético glacial en una proporción de 3:1) dejándose reposar durante 10 minutos, esta operación se repitió dos veces más para lograr una óptima fijación de las células.

La fijación de las células es de capital importancia, pues sólo así se detiene el transporte pasivo y se evita que la célula estalle y los cromosomas se pierdan antes del goteo; por ello es indispensable hacer, por lo menos, tres cambios de fijador antes de gotear o de guardar el material bajo refrigeración y así, incrementar la eficiencia de la fijación, ya que se corre el riesgo de que las células no queden bien fijadas y su contenido no pueda ser observado al microscopio, pues

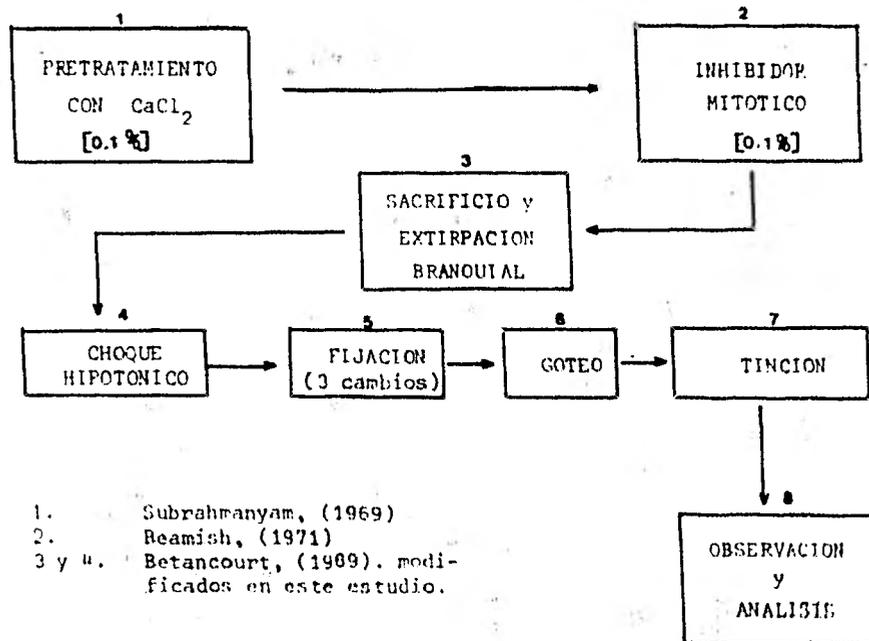
si se suprimen los cambios de fijador, el metanol se evapora y el remanente se transforma en metil-acetato y este compuesto es un pésimo fijador (Denton, 1973).

5. Después, el material ya fijado, se goteó sobre un portaobjetos a una distancia de un metro aproximadamente y se secó ligeramente a la flama, para después teñirse con acetorceína al 2 % y por último, las preparaciones se fijaron con bálsamo del Canadá para su posterior estudio.

Se observó que el goteo presenta ventajas sobre la técnica del squash ya que con el primero se obtienen campos más limpios y nítidos. El buen éxito del goteo depende de que se le dé la altura necesaria, que, por una parte permita que las células, previamente turgentes (a causa del choque hipotónico), se rompan en el momento de su colisión con la superficie del portaobjetos y, por otra, no se pierdan los cromosomas pertenecientes a un juego cromosómico, o que a uno completo se sumen otros provenientes de otro juego, por un exceso en la altura del goteo.

6. La observación de los diferentes campos mitóticos se hizo utilizando un fotomicroscopio Carl Zeiss de contraste de fases y se fotografiaron los campos metafásicos más nítidos, de los cuales se hicieron impresiones amplificadas, empleando éstas para el estudio, los cromosomas se recortaron y se acomodaron en grupos de pares de homó-

DIAGRAMA 1. Desarrollo de la técnica para la obtención de cromosomas a partir de epitelio branquial



logos en orden decreciente, en cuanto a tamaño se refiere. Se analizaron 10 cariotipos de cada especie, provenientes de 2 hembras y 3 machos de Dormitator maculatus y 3 hembras y 2 machos de Gobiomorus dormitor.

El análisis estadístico para la elaboración de cariotipos e idiogramas se hizo con base en los siguientes parámetros.

$$\begin{aligned} \text{I. C.} &= \text{Índice centromérico} \\ &= \frac{\text{longitud de cada cromosoma}}{\text{long. tot. del juego hapl.} + X} \times 1000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{L. R.} &= \text{Longitud relativa} \\ &= \frac{p + q}{\text{long. autosoman} + X} \times 1000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P. B.} &= \text{Proporción de brazos (r)} \\ &= \frac{q}{p} \end{aligned}$$

$$\text{D.} = \text{Diferencia} = \frac{(\text{P.B.} - 1) 10}{(\text{P.B.} + 1)}$$

$$p = \text{Longitud del brazo corto}$$

q = Longitud del brazo largo

p + q = Longitud total del cromosoma

Estas mediciones nos proporcionan parámetros que permiten determinar la posición del centrómero y poder clasificar cada par cromosómico de acuerdo a los valores contenidos en la tabla número 2, que se presenta a continuación (tomada de Levan, et. al., 1964)

TABLA 2. * M - mediocéntrico
 m - región media o metacéntrico
 sm - submetacéntrico
 st - subteloecéntrico
 t - telocéntrico
 T - posición estrictamente terminal.

D	I.C.	P.B.	CLASIF. *
0.0	50.0	1.00	M
0.5	47.5	1.05	
1.0	45.0	1.22	
1.5	42.5	1.35	m
2.0	40.0	1.50	
2.5	37.5	1.67	
3.0	35.0	1.86	
3.5	32.5	2.08	
4.0	30.0	2.33	sm
4.5	27.5	2.64	
5.0	25.0	3.00	
5.5	22.5	3.44	
6.0	20.0	4.00	
6.5	17.5	4.71	st
7.0	15.0	5.67	
7.5	12.5	7.00	
8.0	10.0	9.00	
8.5	7.5	12.33	
9.0	5.0	19.00	t
9.5	2.5	39.00	
10.0	0.0	∞	T

Gobiomorus dormitor, presenta un número diploide de 48 cromosomas, teniendo un par metacéntrico, 2 submetacéntricos y 21 acrocéntricos, por lo tanto el número fundamental para esta especie es de 54.

En la tabla número 3, se presentan los resultados del análisis estadístico que condujo a la clasificación de los cromosomas y en las figuras número 2 y número 3, se muestran el idiograma y el cariotipo, respectivamente.

Los resultados estadísticos para Dormitator maculatus se dan a conocer en la tabla número 4, siendo que esta especie posee un número diploide de 46 cromosomas, con un número fundamental de 90, tiene 6 pares de cromosomas metacéntricos, 11 pares submetacéntricos, 5 subtelo-céntricos y 1 acrocéntrico. El idiograma se presenta en la figura 4 y el cariotipo en la número 5.

TABLA 3.

Resultados del análisis estadístico y clasificación de los cromosomas de Gobiomorus dormitor

par crom.	p	q	p + q	I.C.	L.R.	P.B.	D	Clasif.
1	22.06	22.78	50.84	43.38	50.78	1.30	1.30	m
2	16.36	32.26	48.62	32.98	49.55	2.03	3.40	sm
3	12.55	33.85	46.40	27.05	46.34	2.70	4.59	sm
4	-	51.71	51.71	-	51.64	-	-	t
5	-	48.18	48.18	-	48.11	-	-	t
6	-	46.85	46.85	-	46.78	-	-	t
7	-	45.83	45.83	-	45.77	-	-	t
8	-	45.14	45.14	-	45.08	-	-	t
9	-	44.52	44.52	-	44.46	-	-	t
10	-	43.83	43.83	-	43.77	-	-	t
11	-	43.21	43.21	-	43.16	-	-	t
12	-	42.57	42.57	-	42.51	-	-	t
13	-	41.88	41.88	-	41.82	-	-	t
14	-	41.26	41.26	-	41.21	-	-	t
15	-	40.87	40.87	-	40.81	-	-	t
16	-	40.25	40.25	-	39.19	-	-	t
17	-	39.71	39.71	-	39.65	-	-	t
18	-	38.96	38.96	-	38.91	-	-	t
19	-	37.95	37.95	-	37.90	-	-	t
20	-	36.81	36.81	-	36.76	-	-	t
21	-	35.06	35.06	-	35.01	-	-	t
22	-	33.38	33.38	-	33.33	-	-	t
23	-	30.78	30.78	-	30.74	-	-	t
24	-	25.72	25.72	-	25.69	-	-	t

TABLA 3.

Resultados del análisis estadístico y clasificación de los cromosomas de
Gobiomorus dormitor

par crom.	p	q	p + q	I.C.	L.R.	P.8.	D	Clasif.
1	22.06	22.78	50.84	43.38	50.78	1.30	1.30	m
2	16.36	32.26	48.62	32.98	49.55	2.03	3.40	sm
3	12.55	33.85	46.40	27.05	46.34	2.70	4.59	sm
4	-	51.71	51.71	-	51.64	-	-	t
5	-	48.18	48.18	-	48.11	-	-	t
6	-	46.85	46.85	-	46.78	-	-	t
7	-	45.83	45.83	-	45.77	-	-	t
8	-	45.14	45.14	-	45.08	-	-	t
9	-	44.52	44.52	-	44.46	-	-	t
10	-	43.83	43.83	-	43.77	-	-	t
11	-	43.21	43.21	-	43.16	-	-	t
12	-	42.57	42.57	-	42.51	-	-	t
13	-	41.88	41.88	-	41.82	-	-	t
14	-	41.26	41.26	-	41.21	-	-	t
15	-	40.87	40.87	-	40.81	-	-	t
16	-	40.25	40.25	-	40.19	-	-	t
17	-	39.71	39.71	-	39.65	-	-	t
18	-	38.96	38.96	-	38.91	-	-	t
19	-	37.95	37.95	-	37.90	-	-	t
20	-	36.81	36.81	-	36.76	-	-	t
21	-	35.06	35.06	-	35.01	-	-	t
22	-	33.38	33.38	-	33.33	-	-	t
23	-	30.78	30.78	-	30.74	-	-	t
24	-	25.72	25.72	-	25.69	-	-	t

FIGURA 2.

Idiograma de Gobiomorus dormitor.

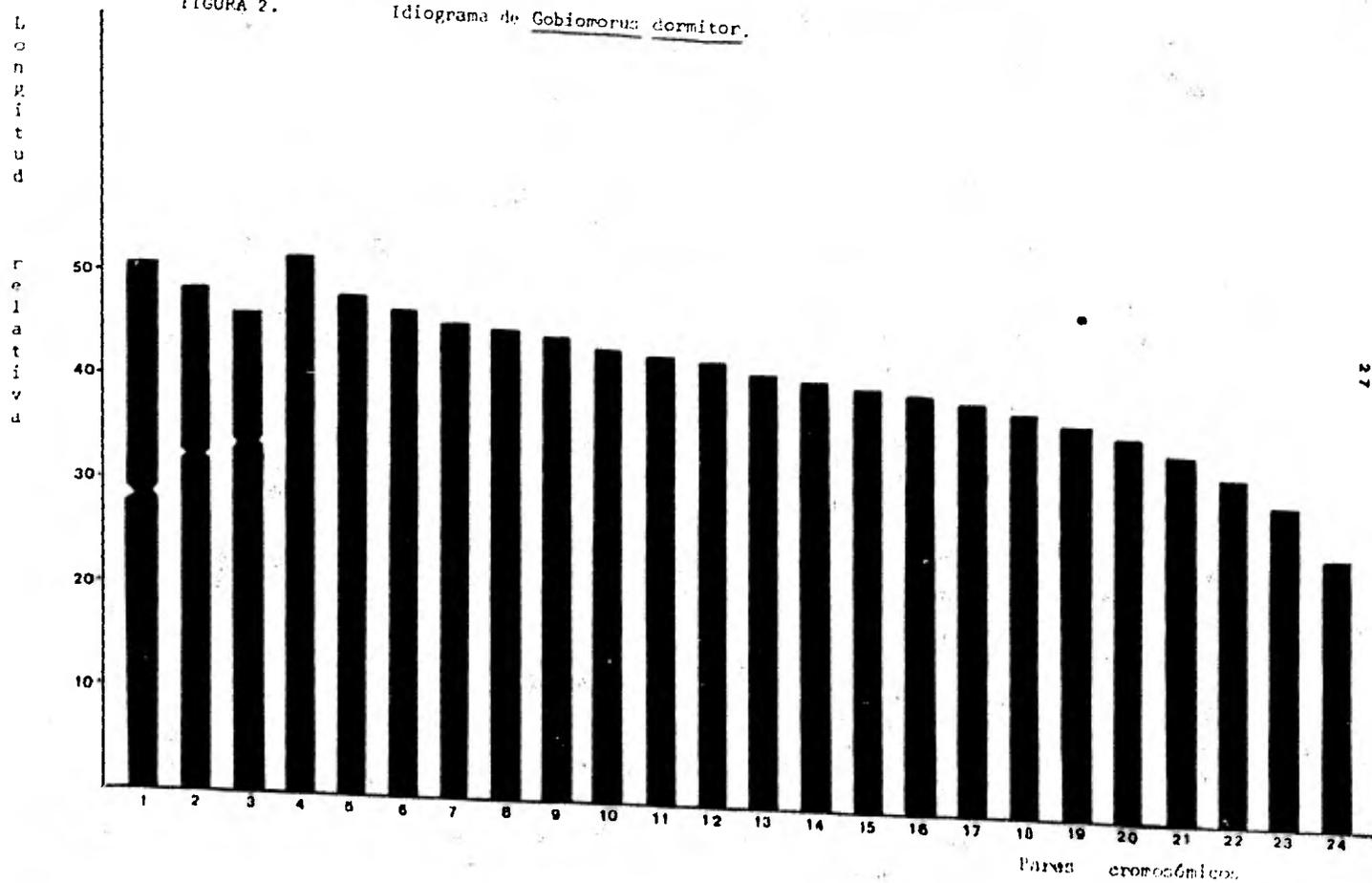
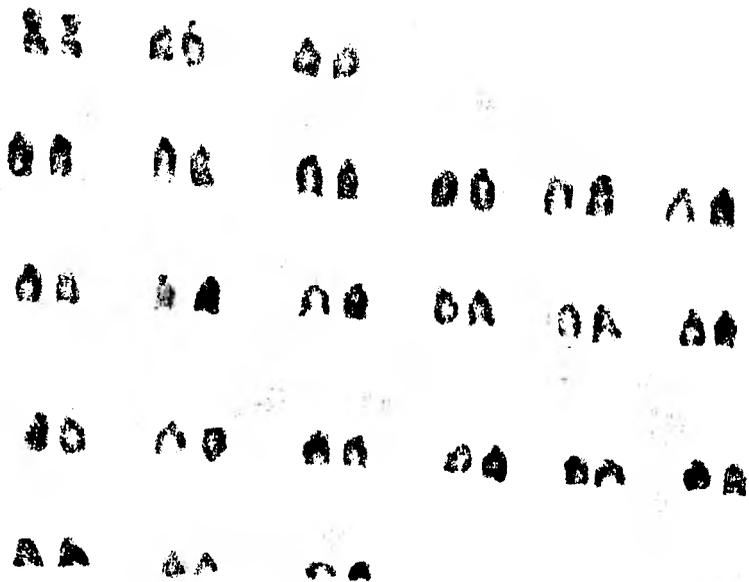


FIGURA 3.

Cariotipo de Gobiomrus dormitor.



4 μ

TABLA 4.

Resultados del análisis estadístico y clasificación de los cromosomas de
Dormitator maculatus

par crom.	p	q	p + q	I.C.	L.R.	P.B.	D	Clasif.
1	21.08	32.79	53.87	39.13	53.87	1.56	2.19	m
2	19.03	29.27	48.30	39.40	48.30	1.54	2.13	m
3	19.85	26.11	45.96	43.19	45.96	1.32	1.38	m
4	18.72	26.31	45.03	41.57	45.03	1.40	1.67	m
5	18.41	23.14	41.55	44.31	41.55	1.26	1.15	m
6	17.68	22.52	40.20	43.98	40.20	1.27	1.19	m
7	17.41	39.58	56.99	30.55	56.99	2.27	3.83	sm
8	16.35	32.30	48.65	33.61	48.65	1.98	3.29	sm
9	15.18	33.16	48.34	31.40	48.34	2.18	3.71	sm
10	17.14	30.41	47.55	36.05	47.55	1.77	2.78	sm
11	15.71	29.69	45.40	34.60	45.40	1.89	3.08	sm
12	16.46	28.01	44.47	37.01	44.47	1.70	2.59	sm
13	15.05	28.61	43.66	34.47	43.66	1.90	3.10	sm
14	14.72	27.00	41.72	35.28	41.73	1.83	2.93	sm
15	14.28	26.21	40.49	35.27	40.49	1.84	2.96	sm
16	12.81	24.76	37.57	34.10	37.57	1.93	3.17	sm
17	13.41	23.54	36.95	36.29	36.95	1.76	2.75	sm
18	11.22	34.93	46.15	24.31	46.15	3.11	5.13	st
19	10.54	32.71	43.25	24.37	43.25	3.05	5.06	st
20	10.08	32.88	42.96	23.46	42.96	3.26	5.31	st
21	9.39	29.05	39.04	24.05	39.04	3.16	5.19	st
22	4.66	23.29	27.95	16.67	27.95	5.00	6.67	st
23	-	33.95	33.95	-	33.95	-	-	t

FIGURA 4.

Idiograma de Dormitator faculatus.

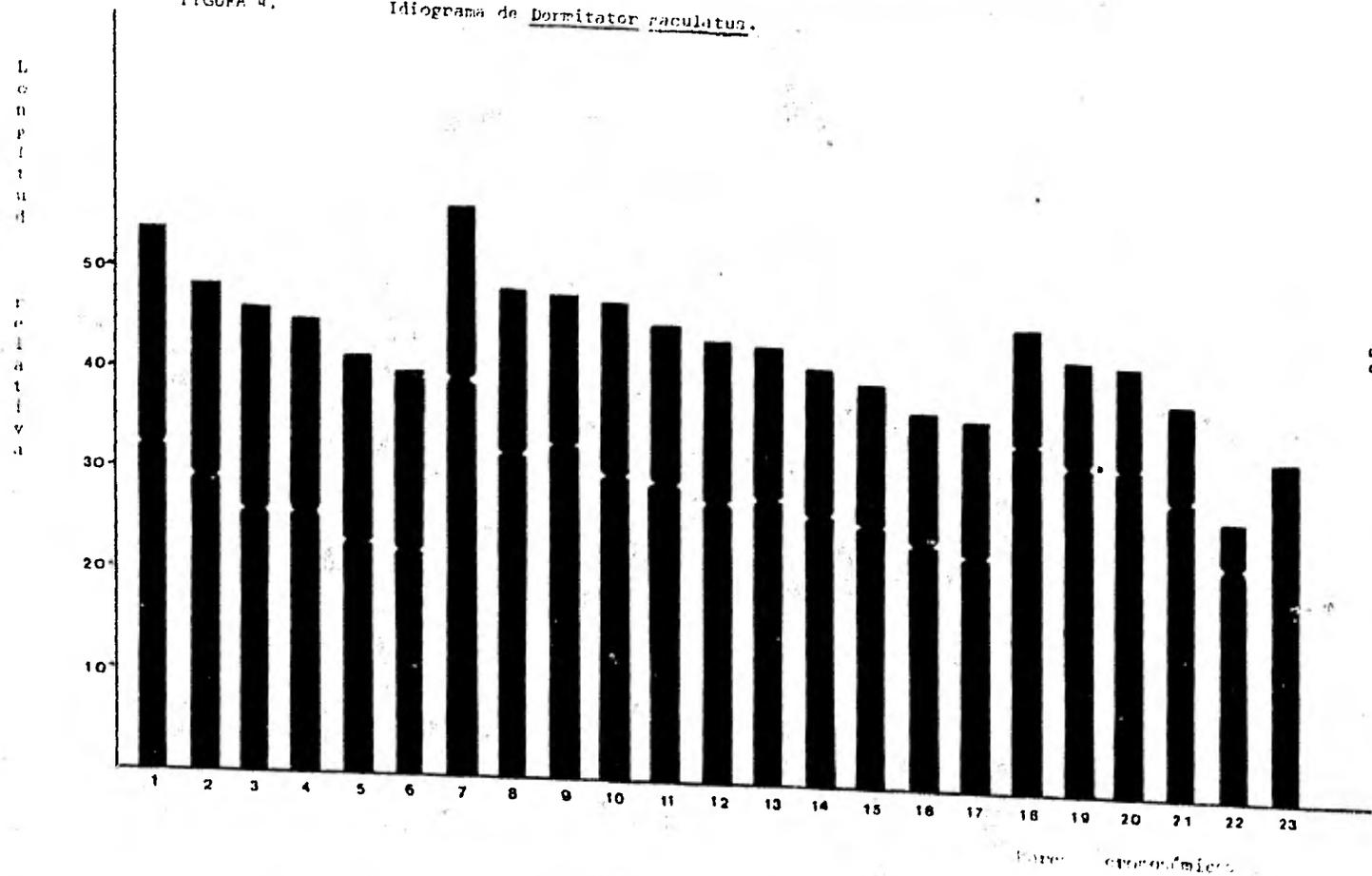
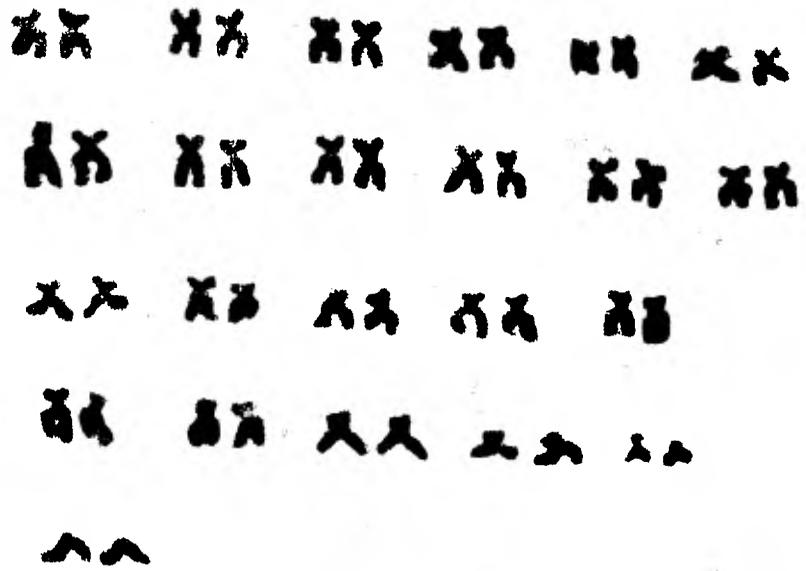


FIGURA 5. Cariotipo de Dormitator maculatus.



4 μ

La teoría de Ohno, (1970) y Ohno, et. al., (1968), ha considerado que la duplicación genética es el principal factor de la evolución y el papel más importante de este mecanismo es el de formar nuevos genes, ellos consideran que la duplicación genética es una alteración tanto en los procesos mitóticos como en los meióticos, este mecanismo puede involucrar un simple cromosoma o a un grupo de éstos. Dichos autores resumen su teoría en los siguientes puntos.

1. Posiblemente, el primer vertebrado que surgió en la tierra se componía de 48 acrocéntricos y tal vez su genoma se derivó de un cromosoma primitivo por tetraploidización, es decir, de un $2n$ de 24, se derivó un $4n$ de 48 cromosomas acrocéntricos.
2. Posteriormente, en algunos casos pudo llevarse a cabo una duplicación genética que dio como resultado diversos tipos de genomas con diferentes valores en la cantidad de DNA, esta primera duplicación se tuvo que complementar con los 4 mecanismos siguientes:
 - a. Intercambio desigual entre las cromátidas hermanas de un mismo cromosoma durante la mitosis.
 - b. Entrecruzamiento desigual entre dos homólogos durante la meiosis.
 - c. Duplicación redundante de moléculas de DNA sobre pequeños segmentos de cromosomas.
 - d. Poliploidización.
3. Los Percomorphi mantuvieron el complemento diploide original de 48

acrocéntricos con poca o sin modificación y un incremento de su contenido original de DNA.

4. Los salmónidos obtuvieron un contenido de DNA casi igual al de los mamíferos por una segunda tetraploidización y se sospecha que un antiguo crossopterigio sirvió como ancestro directo de los mamíferos.

En el presente estudio, se encontró que Dormitator maculatus y Gobiomorus dormitor, son semejantes en un rasgo citogenético de gran trascendencia, el número diploide. El primero tiene un $2n$ de 46, mientras que en el segundo el $2n$ es de 48. A este respecto, ambas especies se encuentran cerca del número diploide considerado como primitivo para los peces (Ohno, 1970) y para los mamíferos (Mathey, 1945, 1962 y 1973), sin embargo, la estructura de ambos cariotipos difiere en el número de brazos presentes, rasgo que se refleja en su número fundamental. Gobiomorus dormitor tiene un número fundamental de 54, presentando en contraste la mayoría de sus cromosomas monocómeos.

Con estos resultados se puede sostener que Gobiomorus dormitor corresponde a una forma menos evolucionada cariotípicamente y que se ha separado poco del $2n$ original de 48 acrocéntricos, y la formación de sus 3 pares de cromosomas birrúmeos, tal vez pudo haberse dado por rearrreglos cromosómicos tales como inversiones desiguales. Así, es

probable que durante la evolución de Dormitator maculatus, la reducción de su número diploide y el consiguiente aumento de birrámeos, el posible mecanismo involucrado fue el de las fusiones céntricas y por otros rearrreglos cromosómicos que se mencionan más adelante, aunque pudiera ser que la divergencia evolutiva que ha originado a estas especies se haya dado en tiempos primitivos y que se puedan encontrar en algunas poblaciones que sean las formas representantes actuales de pasos evolutivos intermedios.

Fredga, (1977), afirma que los principales rearrreglos cromosómicos son las inversiones pericéntricas y paracéntricas y las translocaciones. Denton, (1973), sostiene que los reacomodos cromosómicos más comunes en los peces son las translocaciones del tipo Robertsoniano (fusiones y fisiones), en las fusiones, los centrómeros de dos cromosomas no homólogos se unen produciendo un cromosoma birrámeo; las fusiones céntricas Robertsonianas son los mecanismos dominantes en la evolución de las formas especializadas, mientras que las disociaciones ocurren en sentido contrario donde un cromosoma birrámeo se fisiona para dar dos acrocéntricos. Es probable pensar por ello, que las poblaciones estudiadas difieren debido a alguno de estos mecanismos. Sin embargo, el número de rearrreglos que se debieron haber dado para originar el cariotipo de Dormitator maculatus a partir del 2n original de 48 acrocéntricos debe haber sido muy alto: 2 fusiones céntricas, 10 inversiones pericéntricas y 32 inversiones desiguales.

En el presente trabajo no se encontraron heterocromosomas ni cuerpos heteropicnóticos constantes en ningún locus; el sexo de estos peces probablemente está determinado más bien por algunos genes sexuales situados en autosomas. Dichos genes, pueden distribuirse en el locus sexual de un determinado cromosoma que, a la fecha, no ha podido ser detectado por los métodos citológicos hasta ahora establecidos; aunque Nogusa, (1955), detectó la ocurrencia de heterogamia sexual masculina en Mogrunda obscura, otro miembro de la familia de los gobiidos. Este autor afirma que el complejo X-Y puede ser trazado como elemento heteropicnótico a lo largo del período de la profase meiótica.

Por otro lado, si bien la comparación entre Dormitator maculatus y Gobiomorus dormitor, pese a que coexisten en estuarios y lagunas costeras del Golfo de México, demuestra diferencias notables entre ellas, si se analiza el cariotipo determinado por Uribe-Alcocer, et. al., (en prensa), de Dormitator latifrons (especie que se distribuye en la costa occidental de México) y se compara con el cariotipo de Dormitator maculatus, se observa que son muy semejantes, ya que los dos presentan el mismo número de cromosomas diploide de 46 y el mismo número fundamental que es de 90 para ambas especies.

D. latifrons, tiene 12 metacéntricas, 18 submetacéntricas, 14 subtelocéntricas y 2 acrocéntricas; en cambio, D. maculatus presenta 12, 22, 10 y 2, respectivamente. Se ve así que sus diferencias más grandes se basan en el número de cromosomas submetacéntricos y subtelocén

tricos. Para evitar errores de interpretación respecto a los cromosomas que se encuentran cerca del límite de los grupos de clasificación submetacéntricos y subtelocéntricos, se considerarán en un sólo grupo (los submetatelo-céntricos), de acuerdo al criterio seguido por Levan, et. al., (1964) y de esta manera resulta que tanto D. latifrons como D. maculatus agrupan 32 submetatelo-céntricos.

Pese a estas similitudes, aún no es posible incluir a dichas poblaciones de Dormitator del Pacífico y del Golfo de México en una sola especie, sino hasta llevar a cabo estudios más finos como por ejemplo, la determinación de bandas G, y si se requiere, efectuar estudios de electroforesis que proporcionan resultados más precisos, ya que permiten determinar variaciones en la composición de aminoácidos en una proteína determinada, siempre que esta variación modifique el punto isoeléctrico de la proteína; esta modificación puede ser detectada al someter a la proteína a un campo eléctrico, puesto que la variación de la carga eléctrica de dicha proteína, modificará asimismo su movilidad electroforética, por lo tanto, esta metodología puede proporcionar una mayor resolución en estudios de variabilidad genética ya sea intra o interpoblacionalmente (Uribe-Alcocer, comunicación personal). Aunque la evidencia encontrada al momento apunta cuando menos, a una cercana relación filogenética, la existencia de una sola especie, no es una posibilidad de la que se deba prescindir hasta en tanto, no se hayan agotado las alternativas de estudio referidas anteriormente.

- La metodología utilizada en la obtención de cromosomas a partir de epitelio branquial, resultó ser adecuada para la elaboración de los cariotipos de las dos especies de góbidos estudiadas.
- No se encontraron evidencias de heterocromosomas.
- No se puede decir que Gobiomorus dormitor y Dormitator maculatus sean dos especies que estén íntimamente relacionadas, debido a que se presentan grandes diferencias en sus cariotipos, teniendo que para la primera especie existe un número diploide igual a 46 y un número fundamental de 90 y para la segunda, un $2n$ de 48 y un número fundamental de 54.
- Debido a que Dormitator maculatus presenta un mayor número de birrámeos que Gobiomorus dormitor, se considera que cariotípicamente es una especie más evolucionada.
- Durante la evolución del cariotipo de Dormitator maculatus, la reducción de su número diploide y el consiguiente aumento de birrámeos, posiblemente se dio por el mecanismo de las fusiones céntricas y por otros rearrreglos cromosómicos que se podrán comprender hasta que los datos obtenidos puedan ser verificados en muestras de otras localidades y los estudios citogenéticos se extiendan a otras especies de góbidos a fin de obtener una visión más clara de sus relaciones filéticas.

- Se presenta una notable similitud entre los cariotipos de Dormitator maculatus y Dormitator latifrons, debido a que poseen los mismos números fundamental y diploide. Aún no es posible considerar a dichas poblaciones de Dormitator del Pacífico y del Golfo de México como una sola especie, sino hasta llevar a cabo estudios más precisos, como son la determinación de bandas G y, si se requiere, estudios de electroforésis. Por el momento, no puede sostenerse que entre dichas poblaciones existe una relación filogenética muy cercana.

- ATKIN, B.N., G. MATTINSON, W. BEÇAK y S. OHNO, 1965. The comparative DNA content of 19 species of placental mammals, reptiles and birds. Cromosoma, Berl. 17: 1-10.
- AVISE, J.C., 1977. Is evolution gradual or rectangular? evidence from living fishes. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 74, (11): 5083-5087.
- _____, y J.R., GOLD, 1977. Chromosomal divergence and speciation in two families of north american fishes. Evolution, 31: 1-13.
- BEAMISH, R.J., M.J., MERRILEES y E.J., CROSSMAN, 1971. Karyotypes and DNA values for members of the Suborder Esocoidei (Osteichthyes : Salmoniformes). Chromosoma. (34): 436-447.
- _____, y R.R., MILLER, 1977. Citotaxonomic study of Gila trout, Salmo gilae. J. Fish. Res. Board. Can., 34: 1041-1045.
- BENGTSSO, B.O. y W.F., BODMER, 1976. The rate of chromosome evolution Zool. Scr. 5, (3-4): 185 p.
- BERPIDGE, M.J., 1975. Control of cell division : A unifying hypothesis. Jour. Cyclic Nucleotid Res. (1): 305-320.
- BETANCOUFT, R., J.M., 1969. Estudio del polimorfismo cromosómico en Carassius auratus Lineo. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM.
- _____, y LEON-CAZARES, J.M., 1970. Probable mecanismo de variación del número cromosómico de la especie Carassius auratus L. Mem. I Simposio Mexicano Sobre Mutaciones,

Chapingo, Méx., 79-85 pp.

BIKHAM, J.W., y R.J., BAKER, 1978. Canalization model of chromosome evolution. Am. Zool. 18 (3): 600 p.

BLACK, A. y N.H., HOWELL, 1978. A distinctive chromosomal races of the cyprinodontid Fundulus notatus, from upper Tombigbee river system of Alabama and Mississippi. Copeia. (2): 280-288.

BOND, C.E., 1979. Biology of Fishes. Saunders College Publishing, - Philadelphia. 514 pp.

CASTRO-PEREZ, A., 1980. Patrón de bandas G de Spermophilus spilosoma cabrerai (Dalquest, 1951) (Sciuridae-Rodentia). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM.

CHAPMAN, M.H. y A.N. BRUERE, 1977. Chromosome morphology during meiosis of normal and Robertsonian translocation-carrying rams (Ovis aries). Can. J. Genet. Cytol. 19: 93-102.

CHEN, T.R. y A.W., EBELING, 1971. Chromosomes of the goby fishes in the genus Gillichthys. Copeia, (1): 171-173.

COOK, P.C., 1977. Karyotypic analysis of the gobiid fish genus Quietula Jordan and Everman. Department of Ecology and Evolutionary Biology, The University of Arizona, 173-179.

DENTON, T.E., 1973. Fish Chromosome Methodology. Published by Charles C. Thomas; Illinois, U.S.A., 166 pp.

ELORZA, J.A., 1968. Estudios preliminares sobre citogenética de las especies de truchas (Salmo gairdnerii R. y Salvelinus

- fontinalis M). Pisces, Salmonidae. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.
- FERRIS, S.D. y G.S., WHITT., 1977a. Loss of duplicate gene expression after polyploidisation. Nature, 265 (5591): 258-260.
- _____, y G.S. WHITT., 1977b. The evolution of duplicate gene expression in the carp (Cyprinus carpio). Specialia, 15 (10): 1299-1300.
- FREDGA, K., 1977. Chromosomal changes in vertebrate evolution. Proc. R. Soc. Lond. B. 199, 377-397.
- FRIAS, V.S., 1975. Estudio de la variación en el número cromosómico en Carassius auratus L. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.
- GOLD, J.R. y J.C. AVISE., 1977. Cytogenetic studies in North American minnows (Cyprinidae). 1. karyology of nine California genera. Copeia, (3): 541-549.
- GOSLINE, W.A., 1971. Functional Morphology and Classification of Teleostean Fishes. The University Press of Hawaii, Honolulu, 208 pp.
- GREENFIELD, D.W. (Ed.), 1971. Systematic Ichthyology : A Collection of Readings. MSS. Educational Publishing Co., Inc., - 297 pp.
- HALLAM, A. 1972. La deriva continental y el registro fósil. In: Ecología, Evolución y Biología de Poblaciones. Ed. Omega, S.A., Barcelona, España, (9): 81-90.

- HECKMAN, J.R., F.W. ALLENDORF, y J.E. WRIGHT., 1971. Trout leukocytes: Growth in oxygenated cultures. Science, 173: 246-247.
- _____, y P.E. BRUBAKER., 1970. Chromosome preparation from fish blood leukocytes. Progres. Fish. Culture. (32): 206-208.
- IORDANSKY, A.B., G.V. DERYAGUIN, N.S. BADAIEV, S.A. PAVULSONE y A.R. KRUMIN., 1975. Influence of differential chromosome spⁱralisation on karyotype morphology. Nature, 253 (5494): 734-735.
- KHUDA-BUKHSH, A.R., 1978. Somatic chromosomes of an estuarine fish, Trypauchen vagina (Fam: Gobiidae) from Sagar Island, West Bengal, India. Current Science, 47, (4): 137-138.
- KORNFIELD, L., 1978. Evidence for rapid speciation in African cichlid fishes. Experientia. 34, (3): 335-336.
- LEGRANDI, W.H., 1975. Karyology of six species of Louisiana flat-fishes. (Pleuronectiformes : Osteichthyes). Copeia, (3): 516-522.
- _____, y J.M. FITZIMONS, 1976. Karyology of the mullets Mugil curema and M. cephalus (Perciformes : Mugilidae) from Louisiana. Copeia, (2): 388-391.
- _____, 1981. Chromosomal evolution in North American catfishes (Siluriformes : Ictaluridae) with particular emphasis on the madtoms, Noturus. Copeia, (1): 33-52.
- LEHNIBCEP, L.A., 1976. Biochemistry. 2nd. Ed. Worth Publishers, Inc;

N.Y., 1104 pp.

LEVAN, A., K. FREDGA y A.A. SANDBERG, 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas, 52: 201-220.

MANNA, G.K. y R. PRASAD, 1974. Chromosome analysis in three species of fishes belonging to family Gobiidae. Cytologia. (39): 609-618.

MATHEY, R., 1945. L'Evolution de la formule chromosomiale chez les vertebres. Experimentia. 1: 50-75.

_____, 1962. Les nombres diploides Mammifères eutheriens. Liste Critique. Mammal. Chrom. Newsl. 8: 17.

_____, 1973. The chromosome of Eutherian Mammals. In: Cytotaxonomy and Vertebrate Evolution. Chiarelli, A.B. & Capanna E., Eds., Academic Press. London.

McPHAIL, J.D. y R.L. JONES., 1966. A simple technique for obtaining chromosomes from teleost fishes. J. Fish. Res. Bd. Canada, 23 (5): 767-769.

METLER, L.E. y T.G. GREGG., 1972. Genética de las Poblaciones y Evolución. Ed. U.T.H.E.A., México. 210-238 pp.

MONTES, P., R.C., 1981. Estudios citogenéticos en Electris pisonis (Gobiidae, Perciformes). Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.

NOGUSA, S., 1955. Chromosome studies in Pisces, IV. The chromosomes of Mogrunda obscura (Gobiidae), with evidence of male heterogamety. Cytologia, 20: 11-18.

- OHNO, C.S., E. FAISST y M.T. ZENZES., 1965. Post-zygotic chromosomal rearrangements in rainbow trout (Salmo irideus Gibbons). Cytogenetics, 4: 117-129.
- _____, y N.B. ATKIN., 1966. Comparative DNA values and chromosome complements of eight species of fishes. Chromosoma, 18: 455-466.
- _____, J. MURAMOTO, L. CHRISTIAN y N.B. ATKIN., 1967. - - Diploid-tetraploid relationship among Old-World members of the fish family Cyprinidae. Chromosoma, (Berl.). 23: 1-9.
- _____, 1970. Evolution by Gene Duplication. Ed. Springer-Verlag, N.Y., 160 pp.
- _____, U. WOLF y N.B. ATKIN., 1968. Evolution from fish to mammals by gene duplication. Hereditas (Lund). 59: 169-187.
- OJIMA, Y., S. HITOTSUMACHI y S. MAKINO., 1966. Cytogenetic studies in lower vertebrates. I. A preliminary report on the funa (Carassius auratus) and Gold-fish (A revised study). Proceedings of the Japan Academy, 42 (1): 62-66.
- _____, y S. HITOTSUMACHI., 1967. Cytogenetic studies in lower vertebrates. IV. A note on the chromosomes of the carp (Cyprinus carpio) in comparison with those of the funa and the goldfish (Carassius auratus). Japan. J. Genetics, 42 (3): 163-167.
- _____, M. HAYASHI y K. UENO., 1972a. Cytogenetic studies in lower vertebrates. X. Karyotype and DNA studies in 15

- species of Japanese Cyprinidae. Japan. J. Genetics, 47 (6): 431-440.
- _____, y S. MAKINO., 1978. Triploidy induced by cold shock in fertilized eggs of the carp. A preliminary study. Proc. Japan Acad., 54, Ser. B., (7): 359-362.
- _____, S. TAKAYAMA y K. YAMAMOTO., 1972b. Chromosome preparation from cultured scale epithelium of teleost fish. Short Communication. Japan. J. Genetics, 47, (6): 445-446.
- _____, y T. UEDA., 1978. New C-Banded marker chromosomes found in carp-funa hybrids. Proc. Japan Acad., 54, Ser. B (1): 15-19.
- _____, y A. TAKAI., 1979. The occurrence of spontaneous polyploid in the Japanese common loach, Misgurnus anguillicaudatus. Proc. Japan Acad., 55, Ser. B (10): 487-491.
- _____, K. UENO y M. HAYASHI., 1976. A review of the chromosome numbers in fishes. La Kromosomo, 11 (1): 19-47.
- PALVA, T.K., 1979. Banding techniques as applied to the chromosomes of salmonid fish. Hereditas, 91, (2): 310-311.
- REGAN, J.D., M.M. SIGEL, W.H. LEE, K.A. LLAMAS y A.P. BEASLEY., 1968. Chromosomal alterations in marine fish cells in vitro. Can. J. Genet. Cytol., 10: 448-453.
- RESENDEZ, M.A., 1973. Estudio de los peces de la laguna de Alvarado, Veracruz, México. Revista Soc. Mex. Hist. Nat. 34: 183-281.

- SALAMANCA-GOMEZ, F., y S. ARMENDARES., 1976. Contribución de las nuevas técnicas citogenéticas al conocimiento de las anomalías cromosómicas. Rev. Inv. Cli. 28, (4): 371-378. Centro Méd. Nac., Inst. Mexicano del Seguro Social.
- SMITH, A.L., P.S. WEATHERSBEE y J.R. LODGE., 1976. Technical notes. Whole blood leukocyte culture technique for mammalian cytogenetic analysis. Laboratory Animal Science, 26, (6). 3 pp.
- SUBRAHMANYAM, K., 1969. A karyotypic study of the estuarine fish Boleophthalmus boddarti (Pallas) with calcium treatment. Current Science, (18): 437-439.
- THORGAARD, G.H., 1976. Robertsonian polymorphism and constitutive heterochromatin distribution in chromosomes of the rainbow trout (Salmo gairdneri). Cytogenet. Cell. Genet. 17: 174-184.
- _____, 1977. Heteromorphic sex chromosomes in male rainbow trout. Science, 196 (4292): 900-902.
- URUSHIDO, T., E. TAKAHASHI, Y. TAKI y N. YONDO., 1977. A Karyotype study of polypterid fishes, with notes on their phyletic relationship. Proc. Japan Academy, 53, Ser. B, (3): 94-98.
- UYENO, T. y R.R. MILLER., 1972. Second discovery of multiple sex chromosomes among fishes. Experientia, 28 (2): 223-225.
- WALLS, J.G., 1975. Fishes of the Northern Gulf of Mexico. T.F.H. Publications, Inc., U.S.A., 432 pp.

- WHITE, J.J.D., 1968. Models of speciation. Science, 159: 1065-1070.
- WHITT, G.W., D.P. PHILIPP y F. CHILDERS., 1977. Aberrant gene expression during the development of hybrid sunfishes (Perciformes, Teleostei). Differentiation, 9: 97-109.
- WOLF, U., H. RITTER, H.B. ATKIN y S. OHNO, 1969. Polyploidization in the fish family Cyprinidae, Order Cypriniformes. I. DNA-Content and chromosome sets in various species of Cyprinidae. Humangenetik, 7: 240-244.