
MITOSIS y MEIOSIS

1. OBJETIVO

La realización de esta práctica tiene como objetivo conocer las particularidades citogenéticas que determinan el significado biológico de los procesos de división celular de mitosis y meiosis y aprender las diferencias entre ellas. Al estudiarlos comparativamente veremos como el resultado final de ambos procesos es distinto por lo que los cromosomas tienen que comportarse de modo diferente. Mediante la visualización al microscopio de las características de las distintas fases del proceso mitótico y meiótico iremos comprendiendo la base física de la herencia de los caracteres (los genes se transmiten con los cromosomas) y cómo se mantiene el número cromosómico durante el desarrollo de un individuo, la regeneración de los tejidos o en los procesos reproductivos. Al observar el comportamiento cromosómico durante la meiosis podremos relacionar el apareamiento y la segregación de cromosomas homólogos que ocurren durante la misma, con la constancia del número cromosómico de una especie a lo largo de las generaciones, y la combinación de caracteres paternos y maternos que se da en cualquier individuo.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. MITOSIS

La división celular consta de dos procesos fundamentales: la mitosis o división del núcleo y la citocinesis o división del citoplasma. Ambos procesos son independientes pero deben ocurrir de forma sincronizada. El resultado son dos células hijas con una dotación cromosómica idéntica entre sí y a la de la célula madre.

La mitosis es el mecanismo estable que tienen las células para distribuir de forma exacta la información genética entre las células hijas durante las divisiones celulares. Durante la mitosis los cromosomas se reparten equitativamente, incluyéndose una dotación cromosómica completa en cada célula hija. Para facilitar este reparto, los cromosomas se condensan haciendo patente su morfología. Esto hace que podamos conocer en ese momento cuántos cromosomas tiene una especie, dónde se localiza el centrómero (o constricción primaria), el número de brazos cromosómicos que presentan o la existencia de constricciones secundarias y satélites cromosómicos.

Cuando una célula no está dividiéndose se dice que está en interfase, lo que corresponde al lapso de tiempo que transcurre entre dos mitosis sucesivas. Durante este periodo la cromatina está descondensada y hay una gran actividad metabólica porque es cuando la mayor parte de los genes se expresan, aunque en cada tipo celular lo harán solo los necesarios para que desarrolle su función específica.

Un suceso importante de la interfase es la replicación del ADN, que ocurre en el periodo denominado S, tras la cual los cromosomas ya tienen dos réplicas idénticas denominadas cromátidas hermanas. Esta fase S va precedida por el periodo G1 y seguida del periodo G2 en los que hay crecimiento celular, actividad transcripcional y la célula se prepara para dividirse. A continuación se iniciaría la mitosis.

Si después de una mitosis la célula no va a dividirse de nuevo, se queda en lo que llamamos fase G0.

Si anotamos como M a la mitosis, el ciclo celular es una sucesión cíclica de los distintos periodos según esta secuencia (Figura 1):

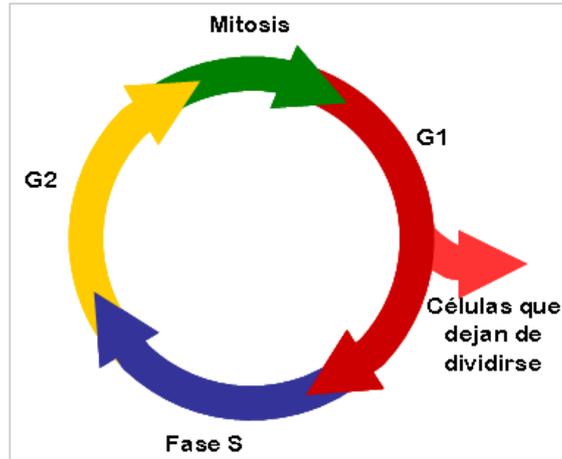


Figura 1: Ciclo celular

Una vez que se inicia, el proceso mitótico transcurre de forma continua sin que haya interrupciones, pero ocurren una serie de sucesos destacados que son clave para que el reparto de la información genética sea correcto y en los que nos basamos para distinguir de forma arbitraria cuatro etapas:

1. Profase
2. Metafase
3. Anafase
4. Telofase

La cronología y características de los sucesos clave mitóticos que describiremos a continuación son comunes a la mayoría de los organismos donde se ha estudiado. No obstante, se han descrito excepciones en algunas especies afectando al momento en que se inicia la condensación cromosómica (hay especies en las que los cromosomas no se condensan nunca), a la desaparición de la membrana nuclear o, por ejemplo, al establecimiento de la placa metafásica. La anafase parece ser la etapa más conservada en los diferentes organismos.

Profase

Durante este periodo la fibra de cromatina, que ha ido organizándose en plegamientos cada vez más complejos, aparece como cromosomas visibles que van condensándose gradualmente. Hay $2n$ cromosomas en la célula y cada cromosoma consta de dos cromátidas hermanas con igual información y morfología. Éstas aparecen unidas a nivel del centrómero y a lo largo de los brazos cromosómicos gracias a complejos proteicos. Al final de la profase se desorganizan los nucleolos y desaparece la membrana nuclear cuyos componentes quedan dispersos en el núcleo.

Metafase

Los cromosomas se encuentran ahora libres en el citoplasma y los centrómeros de cada cromosoma contactan con las fibras del huso, que se organizan en el centro organizador de microtúbulos (MTOC), formado por los centriolos, que actúan como centro de atracción de los cromosomas hacia los polos, y la masa amorfa pericentriolar. La intervención de las fibras del huso y de otras proteínas de movimiento cromosómico permite a los cromosomas organizarse en la llamada placa metafásica. Cada cromátida hermana se orienta hacia un polo distinto lo que garantiza el reparto de la información genética de cada cromosoma a las dos células hijas.

Ahora los cromosomas alcanzan su máximo grado de condensación y su morfología se hace patente (Figura 2). Por eso en esta fase es donde mejor se pueden estudiar todas las características morfológicas de los cromosomas, lo que será de utilidad para, por ejemplo, identificar homólogos y confeccionar un cariotipo o realizar estudios comparativos entre especies y conocer la evolución cariotípica ocurrida dentro de un taxón.

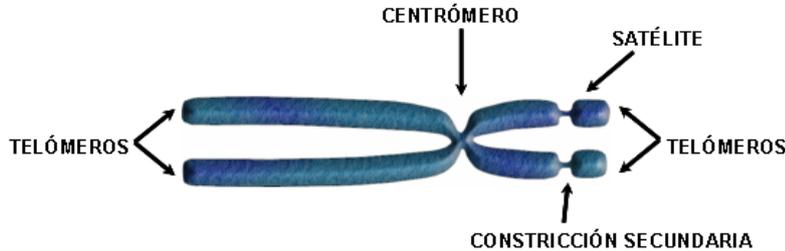


Figura 2: Morfología de los cromosomas

El centrómero es la constricción primaria que aparece en todos los cromosomas y donde se asocian los cinetocoros o estructura proteica a la que se unen las fibras de huso mitótico. Su posición define el número de brazos de un cromosoma. Si está situado en un extremo del cromosoma, éste tendrá un solo brazo y si está en otra posición veremos cromosomas con dos brazos. El cinetocoro funciona a modo de un “interfaz” entre el centrómero y las fibras del huso.

En algunos cromosomas aparecen constricciones secundarias, normalmente asociadas a la región organizadora nucleolar (NOR), donde se encuentran los genes para ARN ribosómico. El fragmento de cromosoma que va desde la constricción secundaria al telómero se denomina satélite cromosómico. El telómero constituye el extremo cromosómico, por lo que hay uno en cada brazo cromosómico y juega un papel fundamental en el mantenimiento de la integridad del cromosoma.

Anafase

La anafase es, en general, la etapa más corta de la mitosis. Cada centrómero se divide en dos y se desorganizan las proteínas que mantenían unidas a las cromátidas hermanas, lo que les permite segregarse (migrar) a polos opuestos. En cada polo celular veremos un grupo de cromosomas ($2n$) con una sola cromátida orientados hacia el polo correspondiente.

Telofase

Los cromosomas agrupados en cada polo comienzan a descondensarse y los nucleolos y la membrana nuclear vuelven a organizarse a partir de material preexistente y de nueva síntesis.

La división celular se completa al final de esta etapa con la citocinesis, donde hay también un reparto de los orgánulos y componentes citoplásmicos a las dos células hijas, aunque no se realiza de forma tan precisa como durante la mitosis. El resultado final del proceso mitótico son dos células con $2n$ cromosomas.

Con esta práctica vamos a poder observar con técnicas citogenéticas evidencias de los siguientes fenómenos genéticos:

- Replicación del ADN y la cromatina: cromosomas con dos cromátidas.
- Conservación del material hereditario y constancia del número cromosómico:

segregación de las cromátidas hermanas de cada cromosoma durante la anafase.

2.2. MEIOSIS

La meiosis es un proceso que consta de dos divisiones celulares consecutivas sin que haya replicación del ADN entre ellas. Su función es diferente a la de la mitosis ya que al final del proceso lo que se consigue es reducir el número cromosómico a la mitad, obteniendo gametos haploides en los organismos con reproducción sexual. La forma para conseguir esa reducción es que los cromosomas con el mismo tipo de información genética u homólogos se apareen primero para después segregarse a distintos polos celulares. Durante el apareamiento cromosómico y la sinapsis ambos homólogos pueden recombinarse, es decir, intercambiar segmentos cromosómicos, generando nuevas combinaciones alélicas en los cromosomas resultantes. Las diferentes combinaciones posibles de cromosomas paternos y maternos que puedan quedar incluidas en un gameto, como consecuencia de la segregación de homólogos, es otra fuente adicional de variabilidad genética.

Las dos divisiones celulares de la que consta la meiosis se denominan meiosis I (reduccional) y meiosis II (ecuatorial). Como decíamos, la meiosis I separa cromosomas homólogos y combina información genética y la segunda división reparte equitativamente las cromátidas que se habían replicado en la interfase premeiótica.

En la meiosis también distinguimos cuatro etapas en cada una de las dos divisiones: profase, metafase, anafase y telofase.

Las características de cada etapa son las siguientes:

MEIOSIS I

Profase I. Es una etapa larga y compleja donde suceden uno de los aspectos más destacados del proceso meiótico: el sobrecruzamiento y la recombinación. Se divide en cinco subetapas: leptotene, cigotene, paquitene, diplotene y diacinesis.

Leptotene. Se caracteriza por el inicio de la condensación de los cromosomas que aparecen como una maraña dentro del núcleo. En este momento los cromosomas tienen dos cromátidas pero aún no son visibles al microscopio.

Cigotene. Esta es la etapa donde ocurre el fenómeno de sinapsis o apareamiento cromosómico en el que los cromosomas homólogos se asocian a lo largo de toda su longitud, lo que permite que más tarde puedan intercambiar segmentos cromosómicos (sobrecruzamiento) y recombinarse. Cada pareja de homólogos apareados constituye lo que se llama un bivalente, que consta de cuatro cromátidas.

Paquitene. El grado de condensación cromosómica es mayor y los bivalentes aparecen más cortos y gruesos, permaneciendo los homólogos unidos a lo largo de toda su longitud. En esta etapa ocurre el sobrecruzamiento y la recombinación.

Diplotene. Sigue aumentando la condensación de los bivalentes. Los cromosomas homólogos comienzan a separarse a nivel del centrómero, quedando unidos por unos puntos de contacto denominados quiasmas que son la manifestación citogenética del sobrecruzamiento. Sin embargo, las cromátidas hermanas de cada homólogo aún permanecen unidas. El número de quiasmas que se establece varía entre especies, poblaciones, individuos y tipo celular de que se trate. El tamaño del bivalente también determina el número de quiasmas que en él se organizan. En la meiosis femenina de la especie humana, por ejemplo, se observan una media de dos a tres quiasmas por bivalente siendo los cromosomas grandes los que muestran un mayor número de

quiasmas.

Diacinesis. Los bivalentes muestran ya un nivel muy alto de condensación, apareciendo como cuerpos gruesos. Los centrómeros de cada pareja de homólogos inician la coorientación hacia polos opuestos. Al final de la diacinesis, y por tanto, de la profase I, se desorganizan los nucleolos y la membrana nuclear, al igual que ocurría en la profase mitótica.

Metafase I. Los bivalentes exhiben su máximo grado de condensación. Los centrómeros de cada homólogo se unen a las fibras del huso reorganizándose en la placa metafásica. A diferencia de la metafase mitótica, sobre la placa ecuatorial se disponen parejas de cromosomas apareados o bivalentes (n bivalentes) en lugar de cromosomas aislados ($2n$).

Anafase I. Se produce la migración o segregación de los cromosomas homólogos de cada bivalente a polos opuestos. Este acontecimiento es de suma importancia ya que tiene como consecuencia la reducción del número cromosómico (n cromosomas en cada polo). Las cromátidas hermanas de cada cromosoma permanecen todavía unidas pero solo a nivel del centrómero, a diferencia de la mitosis, donde los centrómeros se dividen y ambas cromátidas se separan completamente y segregan en la anafase mitótica.

Telofase I. Cuando finaliza la segregación anafásica de los homólogos, éstos se agrupan en ambos polos celulares. Los cromosomas se descondensan y reaparecen los nucleolos y la membrana nuclear.

Finalmente se produce la citocinesis dando lugar a dos células hijas.

MEIOSIS II

La segunda división meiótica es muy similar al proceso mitótico pero hay una serie de diferencias fundamentales. Cuando se inicia la meiosis II, los cromosomas ya están replicados y muestran dos cromátidas, por lo que en la interfase previa (o intercinesis) no hay replicación del ADN. Esta segunda división consta igualmente de cuatro etapas: profase II, metafase II, anafase II y telofase II.

Profase II. Es una etapa de corta duración donde aparecen n cromosomas con ambas cromátidas divergentes, como si se repelieran y unidas únicamente por su centrómero, lo que les da un aspecto de aspa.

Metafase II. Los n cromosomas se unen a las fibras del huso y se organizan en la placa metafásica.

Anafase II. Cada centrómero se divide y las cromátidas hermanas segregan hacia polos opuestos. En cada polo celular observaremos n cromosomas con una sola cromátida.

Telofase II. Finaliza la migración de los n cromosomas con una sola cromátida y empiezan a descondensarse. Aparecen de nuevo el nucleolo y la membrana nuclear. Se lleva a cabo la citocinesis

Al final de todo el proceso meiótico se obtienen cuatro células haploides, con n cromosomas.

La observación de la meiosis que se realiza en esta práctica va a permitir observar fenómenos genéticos importantes:

- Reducción del número cromosómico durante la formación de gametos haploides: observación de la segregación de cromosomas homólogos en anafase I y cromátidas hermanas en anafase II.
- Generación de variabilidad genética durante la meiosis:
 - a) Combinación al azar de cromosomas paternos y maternos: observación de la segregación de cromosomas paternos y maternos para cada tipo cromosómico durante la anafase I.
 - b) Recombinación genética entre cromosomas homólogos: observación de apareamiento y los quiasmas entre cromosomas homólogos.

Resumen de los números de cromosomas y de la cantidad de ADN que hay en cada etapa:

Nº de cromosomas	Tipo de célula	Cantidad de ADN
2n	Espermatogonia (mitosis)	4C
2n	Espermatocito primario (1) desde leptotene hasta telofase I	4C
n	Espermatocitos secundarios (2) desde intercinesis hasta telofase II	2C
n	Espermátidas (4)	C
n	Espermatozoides (4)	C

3. METODOLOGÍA

3.1. OBSERVACIÓN DE LA MITOSIS

El material que necesitamos para poder estudiar la mitosis debe ser un tejido en división celular activa. En animales se usa médula ósea de huesos largos, bazo, ciegos gástricos y cultivos celulares como, por ejemplo, de linfocitos.

En plantas se utiliza muy frecuentemente el extremo apical de la raíz (meristemo apical), pero pueden utilizarse otros materiales como ápices de hojas u ovarios de las flores. En esta práctica vamos a utilizar raíces de la especie *Scilla autumnalis*.

Los bulbos de esta especie se han mantenido en cultivo hidropónico con el fin de que desarrollen raíces. Una vez obtenidas, se han cortado los extremos de las raíces y han sido tratadas con colchicina al 0.05% durante 4h para impedir la formación del huso mitótico y provocar así la acumulación de células en metafase, donde veremos mejor la morfología cromosómica. La colchicina tiene el efecto añadido de condensar algo más los cromosomas y al no existir huso mitótico es más fácil visualizar células con los cromosomas bien separados. Después hay que fijar las raíces tratándolas con un fijador compuesto por una mezcla de etanol y ácido acético glacial en proporción 3:1. Esto consigue coagular los contenidos celulares para que retengan la forma, estructura y posición. A las raíces de ajo se las somete también a una hidrólisis en CIH 1N a 60°C durante 5 min, para relajar la estructura del ADN y facilitar la posterior tinción de los cromosomas con los colorantes básicos (orceína, por ejemplo) que reaccionan con los grupos aldehídos de los nucleótidos, tiñendo así los cromosomas.

Obtención de las preparaciones

1. Colorear las raíces con orceína acética al 1% durante 30 min.
2. En un portaobjetos limpio, colocado sobre un papel de filtro, depositar una gota de orceína del diámetro de un cigarrillo y sobre ésta colocar una raíz.
3. Con la aguja enmangada y la lanceta se corta el extremo del ápice, que se reconoce por colorearse más oscuro que el resto de la raíz y acabar en punta. El meristemo se desprende fácilmente de la raíz, por lo que si hubiera dificultad en realizar esta operación, significaría que no se trata del ápice meristemático.
4. Retirar el resto de la raíz, dejando únicamente el ápice sobre la gota de orceína. Con la base de la aguja enmangada, se macerará hasta conseguir que se divida en varios trozos más pequeños.
5. Colocar sobre la gota de orceína un cubreobjetos limpio y desengrasado y proceder al aplastamiento del material. Para ello, sujetar por un borde con un trozo de papel de filtro y golpear suavemente con la punta de la aguja enmangada, haciendo que desaparezcan las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas y el exceso de colorante. Colocar un papel de filtro sobre el cubreobjetos y con el dedo pulgar presionarlo, evitando que el cubreobjetos se deslice respecto al portaobjetos.

Observación cromosómica

Una vez que hemos obtenido la preparación cromosómica la observamos al microscopio para su estudio.

Las características propias de los tipos celulares que podréis observar son las siguientes (Figura 3):

- Interfase (no es una fase de la mitosis):

Cromatina descondensada.
Número y tamaño de los nucleolos.

- Profase:

Inicio de condensación cromosómica.
Los nucleolos.

- Metafase:

Disposición de los cromosomas en la placa metafásica.
Número de cromosomas y todos los detalles que se puedan identificar de la morfología cromosómica: centrómero, brazos cromosómicos, número de cromátidas, constricciones secundarias y satélites.
A partir de una microfotografía de esta fase se puede estudiar el cariotipo de una especie (ver más adelante).

- Anafase:

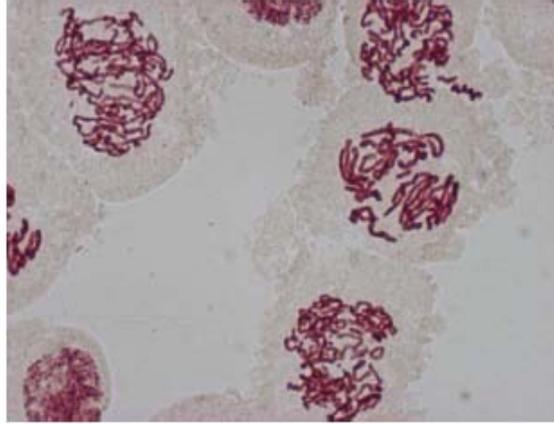
Orientación de los centrómeros y los cromosomas hacia los polos celulares.
Migración y segregación de cromátidas hermanas.
Estructura simple (una sola cromátida) de los cromosomas.

- Telofase:

Agrupación compacta de los cromosomas en ambos polos celulares.
Inicio de descondensación de los cromosomas.
Aparición del tabique entre los dos núcleos recién formados.



Interfase



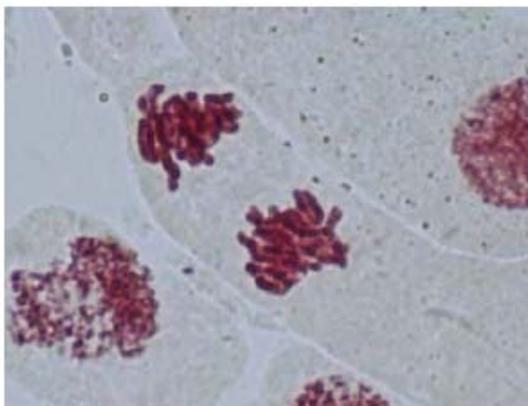
Profase



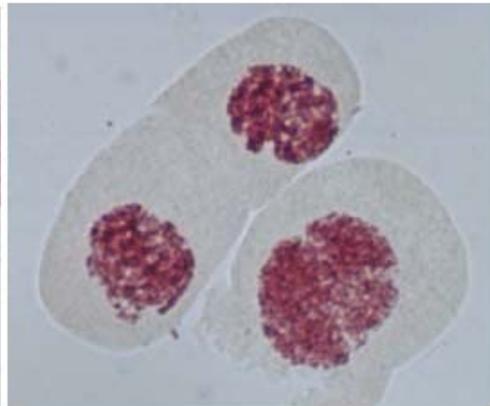
Metafase



Anafase



Telofase



Células hijas

Figura 3: Fases de la mitosis

Realización de un cariotipo

El conjunto de rasgos de los cromosomas en metafase, referidos a su número, tamaño, posición del centrómero, número y posición de parejas con constricción secundaria es un dato constante para todas las células normales de un individuo y de todos los individuos normales de una especie.

A partir de una microfotografía donde los cromosomas aparezcan bien separados, se recortan éstos, emparejándolos por el tamaño (en milímetros), por la posición de los centrómeros y constricciones secundarias. Sobre una cartulina se pegan los cromosomas de modo similar a la observada en la Figura 4b, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

1. Los centrómeros irán colocados sobre una línea horizontal.
2. Los brazos largos irán situados hacia la parte inferior de dicha línea.
3. Las parejas cromosómicas serán ordenadas de mayor a menor tamaño.

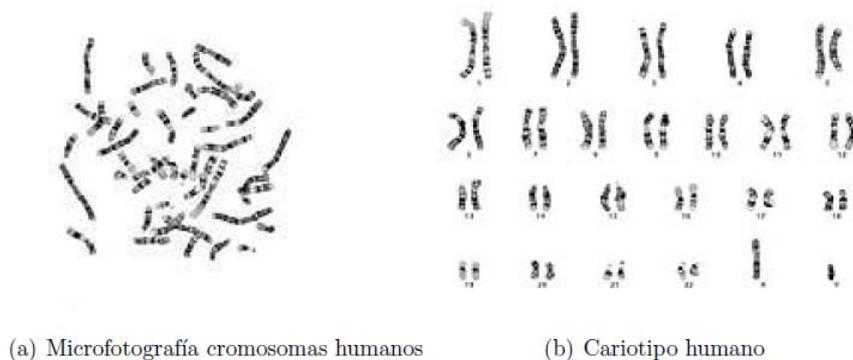


Figura 4: Microfotografía de los cromosomas humanos y su cariotipo

Con las medidas efectuadas en las parejas se construye la siguiente tabla:

PAREJAS	1		2		3...	
MEDIDAS	A	B	A	B	A	B
Long. Brazo Largo						
Long. Brazo Corto						
Longitud Total						
Media de los dos homólogos						
% contribución al cariotipo						
$r = \text{brazo largo} / \text{brazo corto}$						

Y se estiman los siguientes parámetros:

% contribución al cariotipo: Sumando la longitud media de todas las parejas se obtendría la longitud media total del cariotipo. Referido a este valor se hallaría el porcentaje relativo de cada pareja.

$r =$ proporción de brazos: Este dato nos indica la longitud relativa entre los brazos de cada cromosoma, sirviéndonos para poder clasificar, de acuerdo con su valor, a los cromosomas de la siguiente forma (Figura 5):

$1 < r < 1,7$: cromosoma metacéntrico. Los dos brazos son aproximadamente iguales.

$1,7 < r < 3$: cromosoma submetacéntrico. Existe una diferencia de longitud entre los brazos, pero no es excesiva.

$3 < r < 7$: cromosoma acrocéntrico o subtelocéntrico. Uno de los brazos es mucho más corto que el otro.

$7 < r$: cromosoma telocéntrico. El centrómero está en un extremo del cromosoma, de manera que éste tiene un solo brazo.

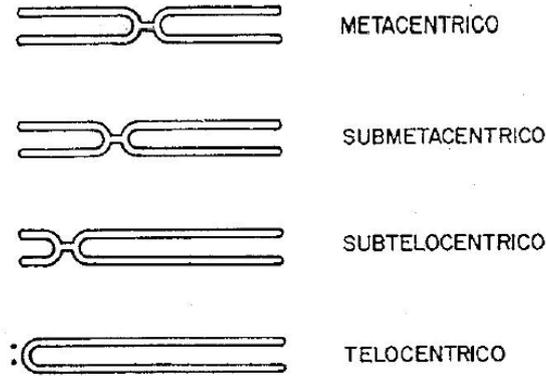


Figura 5: Tipos de cromosomas

Idiograma

Con los datos de la tabla se procede a realizar una representación gráfica haploide del cariotipo, mediante un diagrama de barras (Figura 6). La longitud de las barras viene determinada por la longitud media de los homólogos.

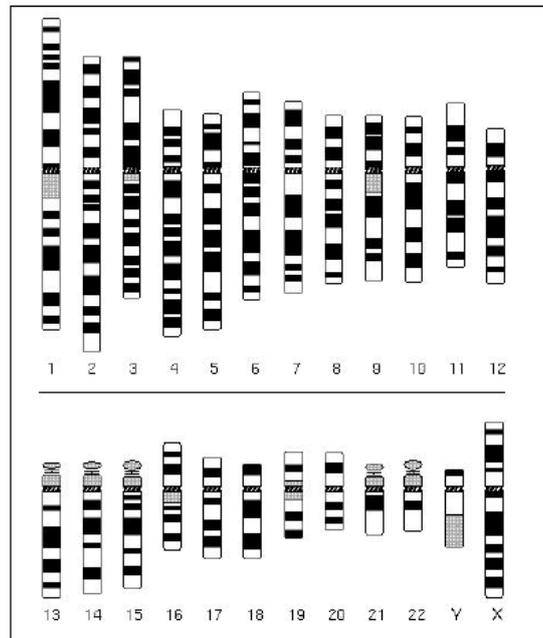


Figura 6: Idiograma del cariotipo humano

3.2. OBSERVACIÓN DE LA MEIOSIS

Obtención de las preparaciones meióticas

El material necesario para el estudio de la meiosis son los tejidos donde tiene lugar la producción de los gametos masculinos y femeninos, que en animales son los testículos y los ovarios, respectivamente. La producción de óvulos se realiza mediante el proceso de ovogénesis y la de espermatozoides a través de la espermatogénesis.

En plantas superiores el órgano reproductor es la flor, que puede contener tanto órganos reproductores femeninos (gineceo) como masculinos (androceo) o existir flores exclusivamente femeninas o masculinas, en pies de plantas diferentes (dioicas) o en el mismo pie de planta (monoica). Los gametos masculinos o granos de polen (microsporas) se generan en las anteras y los gametos femeninos u óvulos (megasporas) en el ovario.

En esta práctica vamos a estudiar la espermatogénesis en saltamontes ya que en éstos los núcleos muestran pocos cromosomas y de gran tamaño, facilitando su estudio.

Las preparaciones cromosómicas se van hacer con testículos foliculares fijados de machos de saltamontes.

La obtención del material necesario para las preparaciones requiere que previamente hayamos anestesiado un macho con acetato de etilo y procedido a su disección para la extracción de la masa testicular donde se encuentran los folículos testiculares. Posteriormente se fijan los testículos en etanol:ácido acético en proporción 3:1. Después de transcurrido un tiempo mínimo de una hora, el material esta listo para su estudio.

La metodología para la obtención de preparaciones cromosómicas varía en función de las características del material utilizado. Las preparaciones cromosómicas de folículos testiculares se hacen por aplastamiento, siguiendo un procedimiento algo diferente al que hemos utilizado para el estudio de la mitosis en plantas. En este caso el procedimiento que debemos seguir es el siguiente:

1. Limpiar un portaobjetos desengrasado y colocar sobre papel de filtro.
2. Depositar en el centro del portaobjetos una gota pequeña de orceína lactopropiónica y poner un folículo en ella.
3. Macerar el folículo golpeándolo directamente con el extremo plano de un objeto metálico o de plástico (un bolígrafo, una aguja enmangada, etc.).
4. Dejar caer un cubreobjetos sobre esa suspensión celular en orceína.
5. Eliminar las burbujas del aire que hayan podido quedar atrapadas sujetando el cubreobjetos con papel de filtro, por uno de sus ángulos y ejerciendo una leve presión con la punta de la aguja enmangada.
6. Realizar el aplastamiento del material colocando un papel de filtro sobre el cubreobjetos y sujetando el portaobjetos con una mano y ejerciendo con el dedo pulgar de la otra mano una fuerte presión sobre el cubreobjetos. Hay que procurar que el cubreobjetos no se deslice.

Observación cromosómica

El alumno deberá localizar, estudiar y realizar un dibujo interpretativo de las principales etapas de la meiosis.

Los hechos más significativos a observar en cada etapa son (Figuras 7 y 8):

- **Leptotene:**

Aspecto enmarañado de los cromosomas
Los filamentos son simples.
Se observa un cuerpo intensamente teñido: cromosoma X. Los machos son XO y las hembras XX.
- **Cigotene:**

Fibras más cortas y menos enmarañadas.
Aspecto doble de los filamentos como consecuencia del apareamiento y la sinapsis de cromosomas homólogos (bivalentes).
El cromosoma X (univalente) continúa viéndose más teñido y sin forma definida.
- **Paquitene:**

Se puede contar el número de bivalentes.
Los filamentos son bastante más gruesos.
El cromosoma X sigue muy contraído y suele estar doblado sobre sí mismo.
- **Diplotene:**

Los bivalentes son aún más cortos y más gruesos.
Se observan los quiasmas o puntos de contacto entre homólogos.
El cromosoma X se estira durante esta etapa, pero sigue estando más condensado que el resto.
- **Diacinesis:**

Los bivalentes son ahora bastante más cortos y más gruesos, presentando una forma más redondeada
- **Metafase I:**

Los bivalentes están condensados al máximo y por ello sus bordes o contorno es nítido.
El cromosoma X suele aparecer algo más descondensado en esta etapa y se tiñe algo menos que el resto de bivalentes.
- **Anafase I:**

Los cromosomas homólogos de cada bivalente se ven migrando orientados hacia polos opuestos.
El cromosoma X, al ser un univalente irá a uno de los polos.
- **Telofase I:**

Los cromosomas se agrupan en los polos.
Los cromosomas están más descondensados.
- **Intercinesis**
- **Profase II:**

Número haploide de cromosomas.
Cromátidas divergentes con aspecto de aspa.

- **Metafase II:**

Cromosomas más condensados, más cortos y mayor grosor. Cromátidas hermanas separadas salvo en el centrómero.

- **Anafase II:**

Separación/migración de cromátidas hermanas hacia cada polo.

- **Telofase II:**

Se agrupan los cromosomas en los polos celulares y se empiezan a descondensar.

Para poder observar las distintas etapas de la meiosis en saltamontes hay que estudiar más de una preparación cromosómica ya que dentro de los folículos testiculares existen unas subunidades funcionales que son los *cistos* o conjunto de células que se encuentran en una misma etapa meiótica. Por esta razón, en una sola preparación cromosómica podremos observar únicamente 3 ó 4 etapas diferentes.

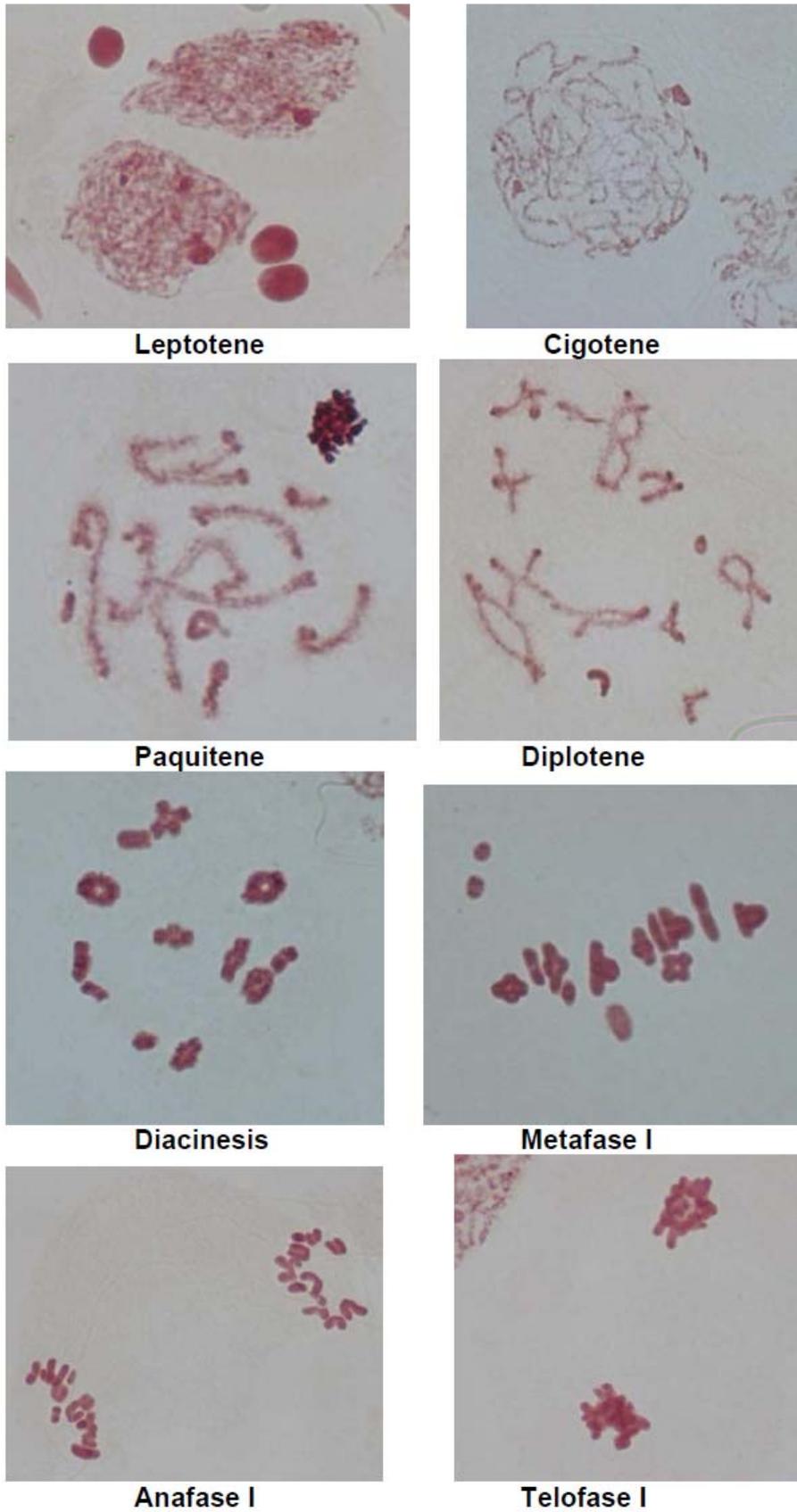


Figura 7: Fases de la meiosis I

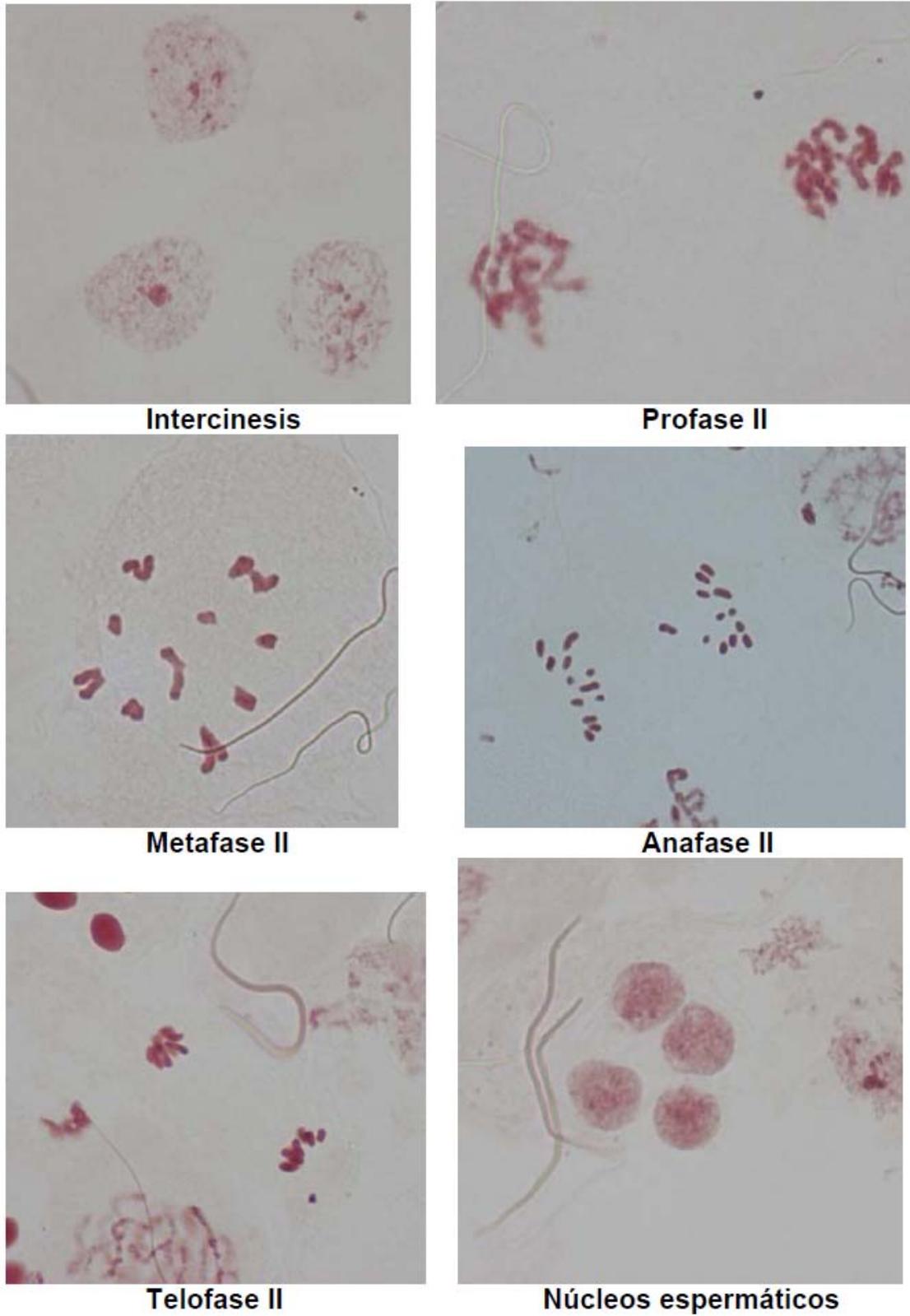


Figura 8: Fases de la meiosis II

4. CUESTIONES

Mitosis

1. ¿Cuántas células has visto de cada tipo?
2. ¿Cómo conseguimos acumular metafases en las preparaciones?
3. El fijador se utiliza para relajar la estructura del ADN. ¿Verdadero o falso?
4. Indica el número cromosómico de la especie estudiada
5. Cuantos tipos cromosómicos hay en el cariotipo de *A. sativum* en función de la posición de su centrómero?

Meiosis

6. Describir las diferencias entre la meiosis I y la meiosis II
7. ¿Tienen los dos polos de la anafase I observadas el mismo número cromosómico?
¿Y los polos de la anafase II observadas?
8. Indicar el número de bivalentes que se pueden contar en una célula
9. Indicar el número de quiasmas que se observan en diplotene
10. ¿Cómo distinguimos el cromosoma X de los autosomas?