

Reg  
4



**Universidad Nacional Autónoma  
de México**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL ISOPROPANOL  
EN LOS CROMOSOMAS DE LAS CELULAS  
MERISTEMATICAS DE LA RAIZ DE HABA  
( Vicia faba )**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**B I O L O G O**

P r e s e n t a :

**BEATRIZ ALCALA LARA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

## C O N T E N I D O .

RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	2
MATERIAL Y METODOS .....	8
RESULTADOS .....	12
DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	15
REFERENCIAS .....	23
TABLAS .....	31
FIGURAS .....	38

## RESUMEN

Se realizaron tratamientos con isopropanol sobre los meristemas de la raíz de Vicia faba, empleando diferentes concentraciones (0.75, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0%) y tiempos de tratamiento (1, 2, 3 y 4 horas). Los resultados obtenidos indican que este alcohol produjo daño a nivel genético, provocando alteraciones cromosómicas que se observaron en anafase como aberraciones (fragmentos sencillos y dobles, puentes subcromatídicos, puentes sencillos y dobles), cromosomas con el centrómero inactivado e isocromosomas y disturbios en el huso acromático (anafases multipolares); así como efecto c-mitótico. Además en células en interfase se registraron micronúcleos.

La evaluación del índice mitótico mostró que en 1.5% hubo efecto estimulante, en tanto que en las otras concentraciones fue inhibidor.

## INTRODUCCION.

Los solventes industriales son utilizados profusamente en la elaboración de numerosas sustancias que posteriormente se emplean en procesos específicos, como son disolver materiales resinosos en las industrias de los adhesivos, recubrimientos orgánicos y tintas de impresión (Gutiérrez-Flores, - 1975).

Dentro de las sustancias empleadas como solventes industriales se encuentran los alcoholes que son compuestos de la industria petroquímica, aunque el etanol se obtiene también por fermentaciones; son compuestos polares cuya propiedad de solventes latentes les da especial importancia en la industria de los recubrimientos orgánicos (Gutiérrez-Flores, 1975).

En un grado mayor o menor, todos estos disolventes son tóxicos; y las personas que los inhalan involuntaria o voluntariamente, se ven dañadas en su salud (Gutiérrez-Flores, - 1975).

El isopropanol denominado también alcohol isopropílico o 2-propanol ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$ ), es un solvente de evaporación mediana usado en la fabricación de recubrimientos orgánicos, corresponde a los alcoholes secundarios cuyos productos de oxidación son las cetonas.

El isopropanol también se encuentra formando parte del tiner, ya que este es una mezcla balanceada de solventes activos, latentes y diluyentes. Se parece al alcohol etílico en sus propiedades físicas y poder disolvente, compitiendo con él en sus aplicaciones. Como antiséptico es más eficaz a una concentración de 30 a 50%, mientras que el alcohol etílico lo es a una concentración de 70%.

En la industria farmacéutica se usa como un sustituto del alcohol etílico en la elaboración de cosméticos, lociones y tónicos para el cabello (Riemele, 1948).

Fairhall (1957) menciona que también se emplea en la manufactura de acetona.

Así mismo el isopropanol es importante como solvente de resinas y plásticos, como deshielante y anticongelante, en la industria de lacas y nitrocelulosa, en la manufactura de vidrios de seguridad, como preservativo y deshidratante (Elkins, 1959).

Se considera que una vez ingerido el isopropanol tiene acción sobre el sistema nervioso central similar al efecto producido por otros alcoholes, causando somnolencia, dolor de cabeza de varias intensidades, narcosis y en algunos casos coma. (Elkins, 1959).

Se ha observado en células de ratas que los alcoholes secundarios como el isopropanol son oxidados en las mitocondrias (Ploc y Starka, 1978).

El isopropanol es metabolizado más lentamente que el etanol. Wax et al., (1949) observan que en perros es absorbido rápidamente por el intestino y lentamente por el estómago; Lehman et al., (1945) encuentran que el isopropanol desaparece de la sangre más rápidamente que el etanol en altas concentraciones, pero más lentamente cuando la concentración es baja.

El metanol, etanol e isopropanol provocan alteraciones bioquímicas, ya que in vitro son inhibidores de las reacciones de oxidación de esteroides mediadas por isocorticoesteroides y determinadas por la enzima alcohol deshidrogenasa (AD) (Martin y Monder, 1978).

El alcohol isopropílico se ha considerado más tóxico que el etílico en 1.5 o más veces, notándose que la dosis letal cambia de acuerdo con la vía de administración y las especies de animales.

Las intoxicaciones con alcoholes ocurren principalmente de dos maneras: por ingestión y por inhalación, obteniéndose diferentes dosis letales. Por ejemplo con inyección intravenosa para gatos 2.5 ml/Kg (Macht, 1920), para ratones y ratas 3.2 g/Kg (Vollmer, 1931) para conejos 5 ml/Kg (Lehman y Newman, 1937). También se han encontrado dosis narcóticas por tubo estomacal para conejos 2.85 ml/Kg comparado con 5.5 ml/Kg para alcohol etílico (Munch y Schwartz, 1925). Por inhalación Starrek (1938) obtiene narcosis en ratones con concentraciones de 3000 ppm, incrementándose los efectos con

la duración de la exposición, encontrando después de 8 horas narcosis profunda con pérdida de reflejos.

Traiger y Plaa (1971) observan que la combinación del metanol o isopropanol con el tetracloruro de carbono ( $CCl_4$ ) aumenta la toxicidad de este último cuando se prueba en ratones, siendo más marcada la acción del isopropanol, el cuál además produce hiperbilirubinemia y mayor actividad de las enzimas hepáticas.

Comparando los efectos de dos alcoholes, etanol e isopropanol al 1% agregados al medio de cultivo de dos especies de Drosophila, se observa que el etanol causa ligeros y tolerables cambios en ambas especies, mientras que el isopropanol es letal en D. funebris y causa cambios drásticos en D. melanogaster (Vilagelieu y González Duarte, 1979).

Los efectos fisiológicos y citológicos inducidos por el isopropanol han sido poco estudiados, sin embargo otros alcoholes se han investigado extensivamente.

Harsanyi et al., (1977) describen en Aspergillus nidulans que el etanol produce alteraciones cromosómicas y en ratones se observa que induce la aparición de genes mutantes letales dominantes (Badr y Badr, 1973).

También se ha reportado la inducción de alteraciones cromosómicas por etanol en células meristemáticas de la raíz de Vicia faba (Michaelis et al., 1959, 1962; Michaelis y Rieger 1968; Rosas, 1980).



El metanol muestra ser inductor de alteraciones cromosómicas en células somáticas de Vicia faba (López, 1980).

Se ha observado que los vapores de etanol producen anormalidades morfológicas y abortición en los granos de polen de Aneilema pulchella (Balderas, 1977) y que los del metanol -- provocan mutaciones somáticas en Tradescantia (Hernández, -- 1977).

Debido a que es difícil desarrollar la investigación directa sobre el hombre se emplean sistemas de prueba más sencillos para conocer los efectos de las diversas sustancias, uno de estos lo constituyen los cromosomas de la raíz de Vicia faba ya que presentan características tales como, número cromosómico pequeño ( $2n = 12$ ) y cromosomas de gran tamaño -- que son fácilmente observables.

El cariotipo normal de Vicia faba está formado por un par de cromosomas metacéntricos, los cuales en uno de sus brazos presentan una constricción secundaria en la región del organizador nucleolar, y 5 pares de cromosomas submetacéntricos que muestran pocas diferencias entre sí (Fig. 1).

El ciclo celular en las células del meristemo radicular de Vicia faba dura 19.3 horas a 19°C (Evans y Scott, 1964) -- (Fig. 2).

En vista de que el isopropanol es ampliamente usado como disolvente, tanto solo como en las formulaciones de tinner y debido al escaso número de estudios sobre su acción --

en el material hereditario, en este trabajo se pretende establecer el daño citogenético que causa este alcohol, usando como sistema de prueba los cromosomas de las células meristémicas de la raíz de Vicia faba, así como establecer la curva de concentración-efecto en la inducción de alteraciones cromosómicas.

## MATERIALES Y METODOS.

Las semillas de haba (Vicia faba var. mayor serie C-69-12), fueron lavadas durante 2 horas en agua corriente con el fin de acelerar la germinación, posteriormente se dejaron 24 horas en remojo. A continuación se pusieron a germinar entre dos capas de algodón humedecido con agua corriente y se mantuvieron a temperatura constante (20 - 1°C) en la oscuridad.

Al aparecer la radícula (entre el 4º y 5º día) se removió la testa para evitar la contaminación por hongos.

Cuando las raíces alcanzaron 4 cm de longitud (establecido en experiencias previas) se formaron lotes de 5 plántulas que fueron expuestas a las siguientes concentraciones de isopropanol (con base en la mínima que produjo alteraciones y la mayor que causó la muerte celular).

M	%
0.1	0.75
0.2	1.5
0.4	3.0
0.6	4.5
0.8	6.0

Las soluciones de isopropanol se colocaron en cristalizadores tapados con papel aluminio a los cuales se les hicie

ron perforaciones, de tal manera que las raíces quedaron sumergidas en la solución. Las raíces testigo estuvieron bajo las mismas condiciones, sólo que introducidas en agua destilada.

Los tratamientos fueron de 1, 2 y 3 horas sin recuperación y de 4 horas con 2, 14, 18, 42 y 44 horas de recuperación (Gómez-Arroyo, 1980).

Al término del tratamiento todos los lotes incluyendo al testigo, fueron colocados en un baño de agua corriente a temperatura de 19°C y aereación constante durante los tiempos de recuperación antes mencionados y en la obscuridad.

Las preparaciones se hicieron aplicando la técnica de acetorceína (Villalobos-Pietrini, 1965) modificada de la siguiente manera:

1. Se cortaron 2 mm de la punta de la raíz y se colocaron en portaobjetos excavados.
2. Se trataron en ácido clorhídrico (Sigma) 5N durante 10 minutos y posteriormente se eliminó el exceso de ácido con papel absorbente.
3. Las raíces se cubrieron con unas gotas de acetorceína\* durante 20 minutos.

---

\* Se elaboró mezclando 3 g de orceína sintética (Sigma) y -- 100 ml de ácido acético (Merck) al 70%, se calentó a ebullición y a reflujo durante 2 horas; se dejó enfriar y se filtró.

4. Se trasladaron a portaobjetos planos agregando unas gotas de ácido acético (Merck) al 45% y se aplicó - rápidamente un cubreobjetos sobre ellas haciendo -- presión con la goma de un lápiz ("squash").

Las preparaciones se hicieron permanentes por medio de la técnica de Conger y Fairchild (1953) colocándolos sobre - hielo seco durante algunos minutos, separando después los - cubreobjetos con un bisturí, posteriormente se deshidrataron con dos cambios de butanol absoluto (Merck) y se montaron en bálsamo de Canadá (Merck).

El análisis cromosómico se efectuó en todas las anafa-- ses de cada preparación, tanto en el material tratado como - en el testigo.

También se revisaron al azar 1000 células en interfase para cada tiempo de recuperación, cuantificando los micronú- cleos; y 1000 células al azar para determinar el índice mitó- tico (I.M.) como se indica a continuación:

$$I.M. = \frac{\text{Número de células en división}}{\text{Número total de células}}$$

Para todas las concentraciones y tiempos de recuperación, se observaron los testigos correspondientes.

En cada concentración los I.M. fueron comparados con su testigo respectivo aplicando la prueba de diferencia de pro- porciones (Spiegel, 1970) cuya fórmula es la siguiente:

$$p = \frac{N_1 P_1 - N_2 P_2}{N_1 - N_2}$$

$$q = 1 - p$$

$$\sqrt{P_1 - P_2} = pq \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)$$

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{P_1 - P_2}}$$

donde:

$N_1$  = Total de células analizadas en el testigo

$N_2$  = Total de células analizadas en cada concentración

$P_1$  = Índice mitótico del testigo (expresado en %)

$P_2$  = Índice mitótico de cada concentración (expresado en %)

$\sqrt{P_1 - P_2}$  = Desviación estándar de los índices mitóticos

$z$  = Valor crítico

$p$  = Probabilidad de encontrar células en mitosis

$q$  = Probabilidad de encontrar células en interfase

Los datos presentados corresponden a un experimento y -  
su repetición.

## RESULTADOS.

Los efectos provocados por el isopropanol en los cromosomas de Vicia faba se cuantifican en células en anafase, registrándose la presencia de fragmentos sencillos y dobles (Fig. 3B,C), puentes subcromatídicos (Fig.3D) y puentes sencillos y dobles (Fig. 3E,F), cromosomas con el centrómero inactivado (Fig. 3G), isocromosomas (Fig. 3H), anafases multipolares (Fig. 3 J,K) y en células en interfase, los micronúcleos (Fig. 3L). En general se encuentra una alteración por anafase, pero en ocasiones hay mas de una (Fig. 3I).

Las frecuencias de alteraciones inducidas por las diferentes concentraciones de isopropanol se muestran en la tabla I a V, en ellas se nota que las aberraciones de tipo subcromatídico (puentes subcromatídicos) se observan únicamente en 4.5% a la segunda hora de tratamiento y en 6.0% en las dos primeras horas (tablas IV y V). Las aberraciones de tipo cromatídico (fragmentos y puentes sencillos) en todos los casos se manifiestan a partir de la primera hora de tratamiento y se presentan en casi todos los tiempos (tablas I a V). Las aberraciones de tipo cromosómico (fragmentos y puentes dobles) en la concentración de 0.75% no aparecen (tabla I), en 1.5% se evidencian solamente puentes dobles en los tratamientos de 4 horas con 14, 18 y 44 horas de recuperación, en

3.0% los fragmentos dobles en las 44 horas de recuperación y los puentes dobles solo se registran en 18 horas de recuperación (tabla III), en 4.5% los fragmentos dobles en 18, 42 y 44 horas de recuperación en tanto que los puentes dobles sólo en 42 (tabla IV) en 6.0% los fragmentos dobles únicamente surgen en las 18 horas de recuperación, mientras que los puentes dobles en las 42 horas de recuperación (tabla V).

Los cromosomas con el centrómero inactivado, los isocromosomas, las anafases multipolares y los micronúcleos se presentan, con algunas excepciones, en todos los tiempos de tratamientos y recuperación de las diferentes concentraciones - (tabla I a V).

En la tabla VI se muestran los promedios de las alteraciones inducidas con las diversas concentraciones de isopropanol, notándose que tanto para anafases anormales, aberraciones totales, cromosomas con el centrómero inactivado, isocromosomas y anafases multipolares se incrementan las frecuencias a medida que aumenta la concentración, alcanzándose el valor mayor con 4.5% para posteriormente disminuir con 6.0%. En el caso de los micronúcleos no se observa respuesta concentración-efecto.

Además de las alteraciones antes mencionadas, el isopropanol provocó efecto c-mitótico (semejante al producido por la colchicina), este fenómeno aparece en todas las concentraciones en las tres primeras horas de tratamiento, disminuyendo posteriormente.



Otro criterio empleado para evaluar el efecto citotóxico, lo constituye la determinación del índice mitótico (I.M.), la tabla VII muestra los valores del I.M. obtenidos con las diversas concentraciones, promediándose los diferentes tiempos de tratamiento y de recuperación. Se nota que a la concentración de 1.5% hay efecto estimulante, en tanto que en las otras concentraciones la acción del isopropanol es inhibidora, haciéndose más evidente a medida que aumenta la concentración.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES.

La evaluación del efecto producido tanto por agentes físicos como químicos se puede realizar en células en metafase y/o anafase, debido a que son los estados de la mitosis en los cuales los cromosomas presentan mayor contracción (Kihlman, 1975; Savage, 1975).

En este trabajo los registros se efectúan en anafase ya que se desea conocer además del daño cromosómico, las alteraciones que provoca el isopropanol a nivel centromérico y en el huso mitótico, lo cual es posible solo en esta etapa.

Con el objeto de establecer la sensibilidad de las diversas etapas del ciclo celular y determinar si el agente utilizado causa retardo en la duración del mismo, los tiempos de tratamiento y recuperación son factores importantes que se deben tomar en cuenta; también la rapidez con la que actúan los agentes es otro aspecto que suele considerarse al ser aplicados tratamientos de 1, 2 y 3 horas (Gómez-Arroyo, 1980).

Las aberraciones de tipo subcromatídico, que son inducidas en profase (Kihlman, 1966), se presentan solamente en las concentraciones mayores (4.5% y 6.0%) de isopropanol, en las dos primeras horas de tratamiento (tablas IV y V), estos resultados coinciden con los obtenidos por Kihlman (1963), ya que este tipo de daño debe observarse en metafase o en ana

fase en las dos primeras horas de que se aplica el tratamiento.

Las aberraciones de tipo cromatídico que se inducen durante profase, S y G<sub>2</sub> (Kihlman, 1963, 1966), aparecen en todas las concentraciones a partir de la primera hora de tratamiento, lo cual sugiere que el isopropanol se comporta, de acuerdo con Kihlman (1966), como un agente de efecto no-retardado.

Las aberraciones cromosómicas, que se producen en G<sub>1</sub>, - según Kihlman (1966) deben manifestarse con este tipo de susceptancias a las 14 horas de recuperación, lo cual ocurre casi en todas las concentraciones probadas (tabla I a V), sin embargo, su presencia a las 18, 42 y 44 horas de recuperación, posiblemente se debe al alargamiento en la duración del ciclo celular. Previamente se han descrito que al actuar los agentes sobre el ciclo celular pueden alterar la duración -- del mismo (Macleod, 1969; Heiner, 1971) provocando el retardo mitótico ya que puede inhibir la síntesis de proteínas - (Evans et al., 1959; Van't Hof y Kovacs, 1970; Kovacs y Van't Hof, 1971) necesaria para que se efectúe la replicación del ADN (Van't Hof, 1963; Baserga, 1968; Mueller, 1969).

Los agentes físicos y químicos producen dos tipos de - efectos, uno de ellos de acuerdo al periodo del ciclo celular alterado, induciendo aberraciones subcromatídicas, cromatídicas y cromosómicas y el otro sólo cromatídicas no importando el estado del ciclo en el cual la célula es dañada. El pri-

mer grupo es considerado como agentes S-independientes y el segundo como S-dependientes (Bender et al., 1974; Kihlman et al., 1978; Natarajan y Obe, 1978).

La aparición de las aberraciones, para los agentes S-independientes es no-retardada, mientras que para los S-dependientes es retardada (Kihlman et al., 1978).

En los primeros el daño al ADN es principalmente sobre las dos hebras en tanto que en los segundos es por daño a las bases y por rompimientos de una hebra (Kihlman et al., 1978).

Debido a que el isopropanol no produce retardo en la aparición de las aberraciones y a que induce los tres tipos de aberraciones antes mencionadas, esta substancia puede ser considerada dentro del grupo de agentes S-independientes, este comportamiento coincide con el observado con metanol en Vicia faba (López, 1980).

Sin embargo discrepa con lo encontrado para el etanol que tiene efecto S-dependiente (Michaelis et al., 1962; Michaelis y Rieger, 1968).

Por otro lado se ha descrito que el isopropanol provoca rompimientos de hebra sencilla por alquilación de purinas en el ADN (Salomon y Elad, 1974).

Lo cual sugiere que este alcohol debe tener un comportamiento S-dependiente, sin embargo los resultados obtenidos -

no lo apoyan.

Esta conducta probablemente implica que este alcohol no tiene un efecto directo sobre el ADN ya que puede interactuar sobre la membrana de los lisosomas, liberando enzimas como la DNasa las cuales pueden romper el ADN (Allison y Paton, 1965), las DNasas se han caracterizado por romper al mismo tiempo, ambas cadenas del ADN (Bernardi y Sadron, 1964).

Comportamiento similar se ha descrito para el efecto de disolventes orgánicos en Vicia faba (Gómez Arroyo et al., 1985a) debido a que por su caracter liposoluble pueden alterar la membrana de los lisosomas así como para el caso de insecticidas organofosforados en el mismo sistema vegetal (Gómez-Arroyo et al., 1985b) y para el insecticida organoclorado DDT el cual de acuerdo con Gray (1970) causa rompimiento de los lisosomas.

Posiblemente el isopropanol al actuar sobre los lisosomas pudo provocar la liberación de DNasas causando rompimientos de doble hebra al ADN y de esta manera enmascarando la acción directa presentándose un comportamiento S-independiente.

El isopropanol también induce anormalidades centroméricas, produciendo cromosomas con el centrómero inactivado cuando la región centromérica es afectada (Gómez-Arroyo y Villalobos-Pietrini, 1983) e isocromosomas los cuales se originan por la ruptura transversal del centrómero (Ramanna y Nata

rajan, 1966; Nicoloff y Gecheff, 1976), la presencia de este tipo de daño desde las primeras horas de tratamiento implica que el efecto de este alcohol es directo e inmediato sobre el centrómero. Este mismo comportamiento ha sido descrito para el metanol (López, 1980) y el etanol (Rosas, 1980).

El isopropanol induce daño sobre el huso mitótico causando anafases multipolares, las cuales aparecen a partir de las primeras horas de tratamiento (tabla I a V).

Con otros alcoholes se han descrito también alteraciones sobre el huso mitótico, Harsanyi et al., (1977) observan desorden en la segregación cromosómica de las células de Aspergillus nidulans tratadas con esta sustancia. También Manna y Mazumder (1964) en Phloeoba antennata reportan que el etanol afecta la estructura del huso provocando su destrucción y Barthelmess (1957) describe en cebolla anafases multipolares.

Considerando la reacción que tienen los alcoholes sobre las proteínas, posiblemente estas alteraciones estén relacionadas con daño sobre la tubulina, la cual es sintetizada en la etapa G<sub>2</sub> de la interfase.

Otro criterio del daño cromosómico del isopropanol, lo constituye el análisis de micronúcleos en interfase, este método se ha considerado útil ya que resulta fácil y rápido (Von Ledebur y Schmid, 1973; Jenssen et al., 1974; Matter y

Grauwiler, 1974; Gómez-Arroyo, 1980).

Los micronúcleos son la expresión en interfase de los fragmentos acéticos (Revell, 1953); Heddle, 1973) y de los cromosomas retardados (Schmid, 1975, 1976) que son excluidos de los núcleos hijos al final de la mitosis.

Con el isopropanol no se tiene respuesta con la concentración aplicada lo cual coincide con otros trabajos empleando Vicia faba (Gómez-Arroyo et al., 1985a,b).

El índice mitótico (I.M.) es un criterio adecuado para evaluar el daño que causan agentes químicos (Kihlman, 1966; Kovacs y Van't Hof, 1971) o físicos (Davidson, 1959, 1960; Evans et al., 1959) inhibiendo la división celular.

Generalmente, los agentes que inhiben la división celular afectan a la célula en interfase y actúan en G<sub>1</sub>, S o G<sub>2</sub> y en ocasiones en profase temprana. Los que afectan G<sub>1</sub> o S pueden suprimir la replicación cromosómica y la división de los cromosomas, en tanto que los que alteran en G<sub>2</sub>, únicamente afectan la separación de las cromátidas (Kihlman, 1966).

La supresión de los procesos requeridos para que se efectúe el ciclo celular, como son las síntesis de ADN, ARN y proteínas y la formación del huso mitótico, puede interferir en la proliferación celular (Mueller, 1969).

Edmunds (1964) ha mostrado que al impedirse la síntesis de ADN no se realiza la división celular. Entre los -

agentes que afectan al ADN y su metabolismo, se encuentran los inhibidores de la síntesis y de los precursores del ADN y aquellos que modifican su estructura (Kihlman, 1966).

Por otro lado, se ha demostrado que cuando se bloquean las síntesis de ARN y de proteínas, las subsecuentes síntesis de ADN y la mitosis se reprimen totalmente (Donnelly y Sisken, 1967; Webster y Van't Hof, 1970).

También la inhibición de la función del huso mitótico puede impedir las divisiones celulares (Kihlman, 1966; George et al., 1970) y nucleares (Kihlman, 1966).

Otro factor que puede influir en la disminución de divisiones celulares es la producción de aberraciones cromosómicas, ya que algunas producen muerte celular (Davidson, - 1959, 1960).

Todas las concentraciones de isopropanol empleadas (excepto 1.5%) muestran efecto inhibitor (tabla VII).

Por otra parte, se ha descrito que sustancias tales como la fitohemaglutinina estimulan la división celular. Se ha encontrado efecto estimulante de este compuesto en células de bazo de ratón en división, así como en cultivo de linfocitos humanos estimula la síntesis de ADN (LindahI-Kiessling y Petersen, 1969).

También se ha indicado que las radiaciones ionizantes - pueden tener efecto estimulante en el crecimiento de plantas,



debido principalmente a la elongación celular (Skok et al., 1965) de acuerdo con Timofeen-Resovskii y Luchnik (1959) - el crecimiento excesivo se verifica por el incremento en la tasa de división celular y esta aceleración es debida al - acortamiento de la interfase (Bogdanov y Boroukova, 1964).

El isopropanol al 1.5% provoca un efecto estimulante - ya que incrementó la división celular con respecto al testigo. Sin embargo los mecanismos involucrados en este fenómeno aún no se conocen.

## REFERENCIAS.

- ALLISON, A.C. y Paton, R.G. (1965). Chromosome damage in - human diploid cells following activation of lysosomal enzymes. *Nature* 207, 1170-1173.
- BADR, F.M. y Badr, R.S. (1973). Induction of dominant lethal mutation in male mice by ethyl alcohol. *Mutation Res.* 21, 345.
- BALDERAS, R.M. (1977). Aborción de polen inducida por rayos gamma y etanol en Aneilema pulchella. Tesis, Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- BARTHELMESS, A. (1957). Chemisch induzierte multipolare -- Mitosen. *Protoplasma* 48, 546-561.
- BASERGA, R. (1968). Biochemistry of the cell cycle; a review. *Cell Tissue Kinet.* 1, 167-191.
- BENDER, M.A., Griggs, H.G. y Bedford, J.S. (1974). Mechanism of chromosomal aberration production. *Mutation Res.* 23, 197 - 212.
- BERNARDI, G. y Sadron, C. (1964). Studies on acid deoxyribo nuclease. I. Kinetics of the initial degradation of - deoxyribonucleic acid by acid deoxyribonuclease. *Biochemistry* 3, 1411-1418.
- BOGDANOV, Y.F. y Borovkova, T.V. (1964). The question of - the radiostimulation of cell divisions. I. Changes in the mitotic index in the radicles of the seeds with relatively small doses. *Radiobioloiya* 42, 306-312.
- CONGER, A.D. y Fairchild, L.M. (1953), A quick-freeze method

- for making smear slides. Stain Technol. 28, 281-283.
- DAVIDSON, D. (1959). A method for estimating mitotic rates in Vicia roots after X irradiation. Brit. J. Radiol. - 32, 612-614.
- DAVIDSON, D. (1960). Meristem initial cells in irradiated - roots of Vicia faba. Ann. Bot. 24, 287-295.
- DONNELLY, G.M. y Sisken, J.E. (1967). RNA and protein synthesis required for entry of cells into mitosis and - during the mitotic cycle. Exp. cell Res. 46, 93-105.
- EDMUNDS, L.N. (1964). Replication of DNA and cell division in synchronously dividing cultures of Euglena gracilis. Science 145, 266 - 268.
- ELKINS, H.B. (1959). The chemistry of industrial Toxicology. Wiley and Sons. New York.
- EVANS, H.J. y Scott, D. (1964). Influence of DNA synthesis on the production of chromatid aberrations by X-rays -- and maleic hydrazide in Vicia faba. Genetics 49, 17-38.
- EVANS, H.J., Neary, G.J. y Williamson, F.S. (1959). The relative biological efficiency of single doses of fast - neutrons and gamma-rays on Vicia faba roots and the -- effects of oxygen. Part. II. Chromosome damage: the - production of micronuclei. J. Radiation Biol. 1, 216-229.
- FAIRHALL, L.T. (1957). Industrial Toxicology, 2nd ed., Williams and Wilkins Co., New York.
- GEORGE, M.K., Aulakh, K.S. y Dhesi, J.S. (1970). Morphological and cytological changes induced in barley (Hordeum vulgare) seedlings followings seed treatment with fungicides. Can J. Genet. Cytol. 12, 415-419.

- GOMEZ-ARROYO, S. (1980). Efectos cromosómicos del tiner y algunos de sus principales componentes en Vicia faba. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- GOMEZ-ARROYO, S. y Villalobos-Pietrini, R. (1983). Chromosomal alterations induced by some chromium salts. Cytologia 48, 185-193.
- GOMEZ-ARROYO, S., Castillo-Ruiz, P. y Villalobos-Pietrini, R. (1985a). Chromosomal alterations induced in Vicia faba by different industrial solvents: Thinner, toluene, benzene, n-hexane, n-heptane and ethyl acetate. Cytologia (en prensa).
- GOMEZ-ARROYO, S., Baiza, A.M., López, G. y Villalobos-Pietrini, R. (1985b). A comparative study of the cytogenetic effects produced by the insecticides heptachlor, malathion and methylparathion on Vicia faba. CONT. AMB. 1, 7-16.
- GRAY, R.H. (1970). Ultrastructural abnormalities in rat liver after exposure to DDT. J. Cell Biol. 47, 78A.
- GUTIERREZ-FLORES, R.R. (1975). Solventes industriales. Cuadernos Científicos CEMEF 2, 35-48.
- HARSANYI, Z., Granek, I.A. y Mackenzie, D.W.R. (1977). Genetic damage induced by ethyl alcohol in Aspergillus nidulans. Mutation Res. 48, 51-74.
- HEDDLE, J.A. (1973). A rapid in vivo test for chromosomal damage. Mutation Res. 18, 187-190.
- HEINER, R.E. (1971). Alterations in the nuclear cycle, mitotic index and chromosomes of Vicia faba as affected by diethyl sulfate. Mutation Res. 12, 249-254.
- HERNANDEZ, M.R. (1977). Inducción de Mutaciones somáticas - en pelos estaminales de Tradescantia por vapores de me-

- tanol. Tesis, Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- JENSSEN, D., Ramel, C. y Göthe, R. (1974). The induction of micronuclei by frameshift mutagens at the time of nuclei by frameshift mutagens at the time of nucleus expulsion in mouse erythroblasts. *Mutation Res.* 26-553-555.
- KIHLMAN, B.A. (1963). Relations to radiation-induced aberrations. En: Radiation-induced chromosome aberrations, S. Wolff, Ed. Columbia University Press, Nueva York, pp. - 100-122.
- KIHLMAN, B.A. (1966). Actions of chemicals on dividing cells. Prentice Hall, Nueva Jersey.
- KIHLMAN, B.A. (1975). Root tips of Vicia faba for the induction of chromosomal aberrations. *Mutation Res.* 31, 401-412.
- KIHLMAN, B.A., Natarajan, A.T. y Anderson, H.C. (1978). Use of the 5-bromodeoxyuridine-labelling technique for exploring mechanisms involved in the formation of chromosomal aberrations. *Mutation Res.* 52, 181-198.
- KOVACS, C.J. y Van't Hoff, J. (1971). Mitotic delay and the resulting events of plant cell proliferation: DNA replication by a G1/S population. *Radiation Res.* 48, 95-106.
- LEHMAN, A.J. y Newman, H.W. (1937). Comparative intravenous toxicity of some monohydric saturated alcohols, *J. Pharmacol.* 61, 103.
- LEHMAN, A.J., Schwerma, H. y Rickards, E. (1945). Isopropil alcohol. Acquired tolerance in dogs. *J. Pharmacol.* 61, 85.
- LINDAHL-KIESSLING, K. y Petersen, R.D.A. (1969). The mechanism of phytohemagglutinin (PHA) action. *Exp. Cell Res.*

54, 231-236.

- LOPEZ, R.G. (1980). Efectos producidos por el alcohol metilico en los cromosomas de la raiz de haba Vicia faba. Tesis, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- MACHT, D.I. (1920). A toxicological study of some alcohols, with especial reference to isomers, *J. Pharmacol.*, 1, - 16.
- MACLEOD, R.D. (1969). Some effects of 2, 4, 5-trichlorophenoxyacetic acid on the mitotic cycle of lateral root - apical meristems of Vicia faba. *Chromosoma* 27, 327-337.
- MANNA, G.K. y Mazumder, S.C. (1964). Ethyl alcohol induced sex chromosome breakage in the grasshopper, Plocceba antennata. *Naturwissenschaften* 51, 646.
- MARTIN, K.O. y Monder, C. (1978). Oxidation of steroids -- with the 20-B-hydroxy-21-oxo side chain to 20-B-hydroxy-21-oic acids by horse liver aldehyde dehydrogenases, *J. Steroid Biochem.* 9, 1233-1240.
- MATTER, B.E. y Grauwiler, J. (1974). Micronuclei in mouse - bone-marrow cell. A simple in vivo model for the evaluation of drug-induced chromosomal aberrations. *Mutation Res.* 23, 239-249.
- MICHAELIS, A. y Rieger, R. (1968). On the distribution between chromosomes of chemically induced chromatid aberrations: studies with a new kariotype of Vicia faba. *Mutation Res.* 6, 81-92.
- MICHAELIS, A., Ramshorn, K. y Rieger, R. (1959). Athylalkohol radiomimetisches agens bei Vicia faba. *L. Naturwissenschaften* 46, 381-382.
- MICHAELIS, A., Nicoloff, H. y Rieger, R. (1962). Influence of EDTA on the induction of chromatid aberrations by -

- triethylenemelamine and ethyl alcohol. Biochem. Bio--  
phys. Res. Commun. 9, 280-284.
- MORRISON, T.R. y Boyd, N.R. (1973). Organic chemistry. 3a.  
ed. Allyn and Bacon, Inc. Boston. pp. 1164-1179.
- MUELLER, G.C. (1969). Biochemical events in the animal cell  
cycle. Fed. Proc. Amer. Soc. Exp. Biol. 28, 1780-1789.
- MUNCH, J.C. y Schwartz, E.W. (1925). Narcotic and toxic po  
tency of aliphatic alcohols upon rabbits, J. Lab. Clin.  
Med. 10, 985.
- NATARAJAN, A.T. y Obe, G. (1978). Molecular mechanisms in--  
volved in the production of chromosomal aberrations. I.  
Utilization of Neurospora endonuclease for study of abe  
rrations production in G<sub>2</sub> stage of the cell cycle. Mu-  
tation Res. 52, 137-149.
- NICOLOFF, H. y Gecheff, K. (1976). Methods of scoring indu-  
ced chromosome structural changes in barley. Mutation  
Res. 34, 233-244.
- PI,OC, I. y Starka, L. (1978). Gas chromatographic study of  
the histochemical reaction for isopropanol dehydrogena-  
se. Chromatography. 11, 374-378.
- RAMANNA, M.S. y Natarajan, A.T. (1966). Chromosome breakage  
induced by alkyl-alkane-sulfonates under different phy-  
sical treatment conditions. Chromosoma 18, 44-59.
- REVELL, S.H. (1953). Chromosome breakage by X-rays and ra--  
diomimetic substances in Vicia. Symposium on chromosome  
breakage. Hereditas 6, (Suppl.), 107-124.
- ROSAS, S.P. (1980). Inducción de alteraciones cromosómicas  
por el alcohol etílico en las células meristemáticas de  
la raíz de Vicia faba. Tesis, Facultad de Ciencias, -  
UNAM. México.

- RUEMELE, T. (1948). Isopropyl Alcohol in perfumes and toilet preparations, Mfg. Chem. 19, 151.
- SALOMON, J. y Elod, D. (1974). Selective photochemical alkylation of purines in DNA. Biochem. Biophys. Res. Com. - 58, 890-895.
- SAVAGE, J.R.K. (1975). Radiation induced chromosomal aberrations in the plant Tradescantia: dose-response curves. I. Preliminary considerations. Radiation Bot. 15, 87-140.
- SCHMID, W. (1975). The micronucleus test. Mutation Res. 31, 9-15.
- SCHMID, W. (1976). The micronucleus test for cytogenetic - analysis. En: Chemical mutagens. Principles and methods for their detection. A. Hollaender, Ed. Nueva York. - Vol. 4 pp. 31-53.
- SKOK, J., Chorney, W. y Rakosnik, E.J. (1975). An examination of stimulatory effects of ionizing radiation in -- plants. Radiat. Bot. 5, 281-291.
- SPIEGEL, M.R. (1970). Estadística. Serie de compendios -- Schaum. Mc-Graw-Hill. México, pp. 168-171.
- STARREK, E. (1938). Uber die Wirkung einiger Alkohole, Glykole und Ester (Cited by Lehmann and Flury, 1943, in Toxicology and Hygiene of Industrial Solvents), Williams and Wilkins, Baltimore.
- TIMOFEEU-RESOVSKII, N.V. y Luchnic, N.V. (1959). Stimulation of plant by radiation and its possible theoretical interpretation. Proc. AM-Union Sci. Tech. Cont. App. Radioact. Isotopes. Moscú, pp. 233-239.
- TRAIGER, G.J. y Plaa, G.L. (1971). Differences in the potentiation of carbon tetrachloride in rats by ethanol an



- isopropanol pretreatment. Toxicol. Appl. Pharmacol. 20, 105-112.
- VAN'T HOF, J. (1963). DNA, RNA and protein synthesis in - the mitotic cycle of pea root meristem cell. Cytologia 28, 30-35.
- VAN'T HOF, J. y Kovacs, C.J. (1970). Mitotic delay in two biochemically different Q cell populations in cultured root of pea (Pisum sativum) Radiat. Res. 44, 700-712.
- VILAGELIEU, A.L. y González Duarte, R. (1979). Effect of - ethanol and isopropanol on the alcohol dehydrogenase, variability and Life-span in Drosophila melanogaster y Drosophila funebris. Experientia 36, 828-830.
- VILLALOBOS-PIETRINI, R. (1965). Alteraciones inducidas por los rayos X en los cromosomas de las células meristemáticas de la raíz de Vicia faba. I. Aspectos técnicos. Bol. Soc. Bot. Mex. 29, 178-183.
- VOLLMER, H. (1931). Fortgesetzte Versuche Über die Giftempfindlichkeit von Mäusen und Ratten nach Bestrahlung oder Vorbehandlung mit oxydationssteigernden Substanzen, - Arch. Exptl. Pathol. Pharmakol., 160, 635.
- VON LEDEBUR, M. y Schmid, W. (1973). The micronucleus test. Methodological aspects. Mutation Res. 19, 109-117.
- WAX, J. Ellins, F.W. y Lehman, A.J. (1949). Absorption and distribution of isopropyl alcohol, J. Pharmacol. 97, - 229.
- WEBSTER, P.L. Y Van't Hof, J. (1970). Initiation of DNA - synthesis and mitosis in stationary, transitional and - proliferative phase meristems: requirement for RNA - and protein Synthesis. Amer. J. Bot. 57, 130-139.

TABLA I

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) EN LOS CROMOSOMAS DE *Vicia faba* INDUCIDAS POR ISOPROPANOL 0.75% A DIVERSOS TIEMPOS DE RECUPERACION

Tratamiento (horas)	Tiempo de recuperación (horas)	Total de anafases	% Anafases anormales	% Aberraciones totales	% Fragmentos sencillos	% Dobles	subcromatídeos	Puentes* sencillos	Dobles	Centro mero inactivado	% isocromosomas	% Anafases múltiples	% Micronúcleos**
1	0	333	2.04	1.09	0.86	0	0	0.23	0	0	0.46	0.91	2.00
1	0	306	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.56	0.05
3	0	530	3.06	0.24	0	0	0	0.24	0	0.53	0.24	2.04	0.05
4	2	297	1.15	0.35	0	0	0	0.35	0	0.88	0.35	0	0.75
4	14	447	0.77	0.04	0.04	0	0	0	0	0.19	0.12	0.42	0.25
4	18	399	0.56	0	0	0	0	0	0	0.38	0.34	0	0
4	42	758	0.44	0.15	0	0	0	0.15	0	0.14	0	0.15	0
4	44	879	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0.42	0.05

\* Con y sin fragmentos

\*\* se analizaron 2,000 células en interfase para cada caso

TABLA II

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) EN LOS CROMOSOMAS DE *Vicia faba* INDUCIDAS POR ISOPROPANOL 1.5%  
A DIVERSOS TIEMPOS DE RECUPERACION

Trata miento (horas)	Tiempo de recu- peración (horas)	Total de anafases	Anafases anormales	Aberraciones totales	Fragmentos sen cilios	dobles	subcro- matidi- cos	Puentes* sen cilios	dobles	Centro mero inac- tivado	isocro- moso mas	Anafases multiplo- lares	Micro- nucleo- **
1	0	1659	4.22	1.60	1.05	0	0	0.55	0	1.44	0.50	1.83	0.45
2	0	1028	2.32	0.87	0.53	0	0	0.34	0	0.68	0.79	0.88	0.05
3	0	1116	4.92	2.33	2.75	0	0	0.23	0	2.28	1.10	0.39	0.45
4	2	756	3.25	1.13	0.98	0	0	0.15	0	1.74	0.76	0.54	0.60
4	14	2131	0.64	0.29	0.18	0	0	0.04	0.07	0.19	0	0.34	0.50
4	18	1176	0.93	0.39	0	0	0	0.09	0.30	0.15	0	0.39	0.35
4	42	1747	0.87	0.25	0	0	0	0.25	0	0.10	0	0.57	0.05
4	44	2187	0.12	0.07	0.01	0	0	0	0.05	0	0.05	0	0

\* Con y sin fragmentos

\*\* se analizaron 2,000 células en interfase para cada caso

TABLE III

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) EN LOS CROMOSOMAS DE Vicia faba INDUCIDAS POR ISOPROPANOL 3.0% A DIVERSOS TIEMPOS DE RECUPERACION

Trata miento (horas)	Tiempo de recu- peración (horas)	Total de anafases	% Anafases anormales	% Aberraciones totales	% Fragmentos sen cillos	% doubles	subro- matifí- cos	% Puentes* sen cillos	doubles	Centro mero inac- tivado	% isocro- moso- mas	% Anafases multiplo- lares	% Micro- núcleo- **
1	0	2551	2.08	0.50	0.19	0	0	0.31	0	0.71	0.69	0.33	0.05
2	0	1102	10.03	2.32	0.86	0	0	1.45	0	1.49	0.96	6.39	0.10
3	0	459	13.25	2.61	1.14	0	0	1.47	0	1.14	0.49	9.98	0.80
4	2	217	4.09	2.68	2.35	0	0	0.33	0	0.67	1.34	0.07	2.15
4	14	1863	1.28	0.82	0.12	0	0	0.70	0	0.01	0	0.45	0.05
4	18	1398	1.07	0.22	0.05	0	0	0.11	0.05	1.22	0	0	0
4	42	1344	0.54	0.11	0	0	0	0.11	0	0.26	0	0.16	0.30
4	44	1706	0.39	0.07	0	0.03	0	0.03	0	0.22	0.25	0	0.34

\* Con y sin fragmentos

\*\* se analizaron 2,000 células en interfase para cada caso

TABLA IV

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) EN LOS CROMOSOMAS DE *Vicia faba* INDUCIDAS POR ISOPROPANOL 4.5% A DIVERSOS TIEMPOS DE RECUPERACION

Tratamiento (horas)	Tiempo de recuperación (horas)	Total de anafases	% Anafases anormales	% Aberraciones totales	% Fragmentos sen cillos		% Puentes* sen cillos		% Centro mero inactivo isocromosomas		% Anafases múltiples	% Micronúcleos**	
1	0	803	9.49	2.46	1.35	0	0	1.11	0	1.10	2.57	4.82	0.45
2	0	1034	9.92	3.66	0.90	0	0.41	2.35	0	2.18	2.51	4.26	0.15
3	0	840	12.57	5.20	0.59	0	0	4.61	0	4.09	2.00	8.84	0.40
4	2	174	6.6	2.11	1.20	0	0	0.90	0	3.31	1.20	0.94	1.0
4	14	869	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0.10
4	18	2959	0.37	0.20	0.04	0.08	0	0.08	0	0.06	0	0.11	0
4	42	1397	0.76	0.16	0	0.05	0	0.05	0.05	0.02	0	0.57	0.5
4	44	756	0.63	0.13	0	0.13	0	0	0	0.25	0.25	0	1.0

\* Con y sin fragmentos

\*\* se analizaron 2,000 células en interfase para cada caso

TABLA V

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) EN LOS CROMOSOMAS DE *Vicia faba* INDUCIDAS POR ISOPROPANOL 6.0% A DIVERSOS TIEMPOS DE RECUPERACION

Trata miento (horas)	Tiempo de recu- peración (horas)	Total de anafases	Anafases anormales	Aber- raciones totales	Fragmentos sen cilios	dobles	sub- cros matro- cos	Puentes* sen cilios	dobles	Centro- mero inac- tivado	isocro- moso- mas	Anafases multip- lares	Micro- nucleo- s**
1	0	879	3.05	3.38	0.98	0	0.49	1.91	0	0.33	0.16	0.13	0.65
2	0	741	7.52	3.45	1.01	0	1.36	1.08	0	1.40	1.13	3.37	0.30
3	0	387	4.63	3.26	1.07	0	0	2.19	0	1.12	0	0.96	0.90
4	2	123	2.56	0.47	0	0	0	0.47	0	0.47	0	1.62	1.45
4	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75
4	18	428	1.55	0.54	0	0.17	0	0.37	0	0.17	0	1.12	0
4	42	293	0.72	0.22	0	0	0	0	0.22	0.14	0	0.35	0.55
4	44	494	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75

\* Con y sin fragmentos

\*\* se analizaron 2,000 células en interfase para cada caso

TABLA VI

FRECUENCIAS DE ALTERACIONES (-TESTIGO) INDUCIDAS POR ISOPROPANOL EN LOS CROMOSOMAS DE Vicia faba

Concentración (%)	Total de anafases	% Anafases anormales	% Aberraciones totales	% Cromosomas con el centrómero inactivado	% Isocromosomas	% Anafases multipolares	% Micronúcleos
0.75	3949	1.17	0.23	0.26	0.23	0.60	0.39
1.50	11800	2.15	0.94	0.82	0.40	0.61	0.30
3.00	10640	4.09	1.16	0.71	0.46	2.17	0.47
4.50	8832	5.08	1.74	1.37	1.06	2.48	0.45
6.00	3353	2.50	1.41	0.45	0.16	0.94	0.66

TABLA VII

INDICES MITOTICOS (I.M.) OBTENIDOS CON DIVERSAS CONCENTRACIONES DE ISOPROPANOL EN LAS CELULAS MERISTEMATICAS DE LA RAIZ DE Vicia faba.

Concentración	I.M.	Valores de z
0	23.93	
0.75	21.87	4.38**
1.5	25.97	-4.22*
3.0	20.82	6.68**
4.5	17.63	13.93**
6.0	8.79	36.90**

$z (\alpha = 0.05) = \pm 1.96, p > 0.05$

\* Efecto estimulante

\*\* Efecto inhibidor



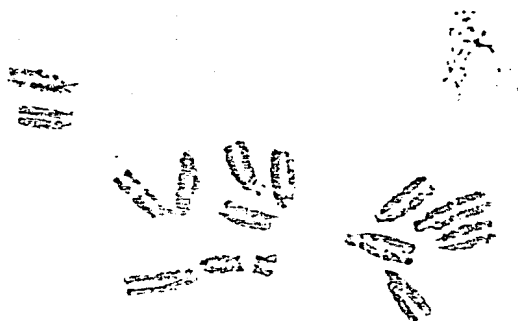


Fig. 1. Metafase normal de Vicia faba.

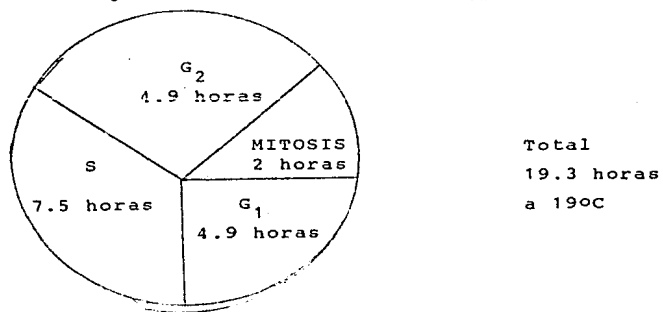


Fig. 2. Ciclo de generación celular en la raíz principal de Vicia faba (según Evans y Scott, 1964).

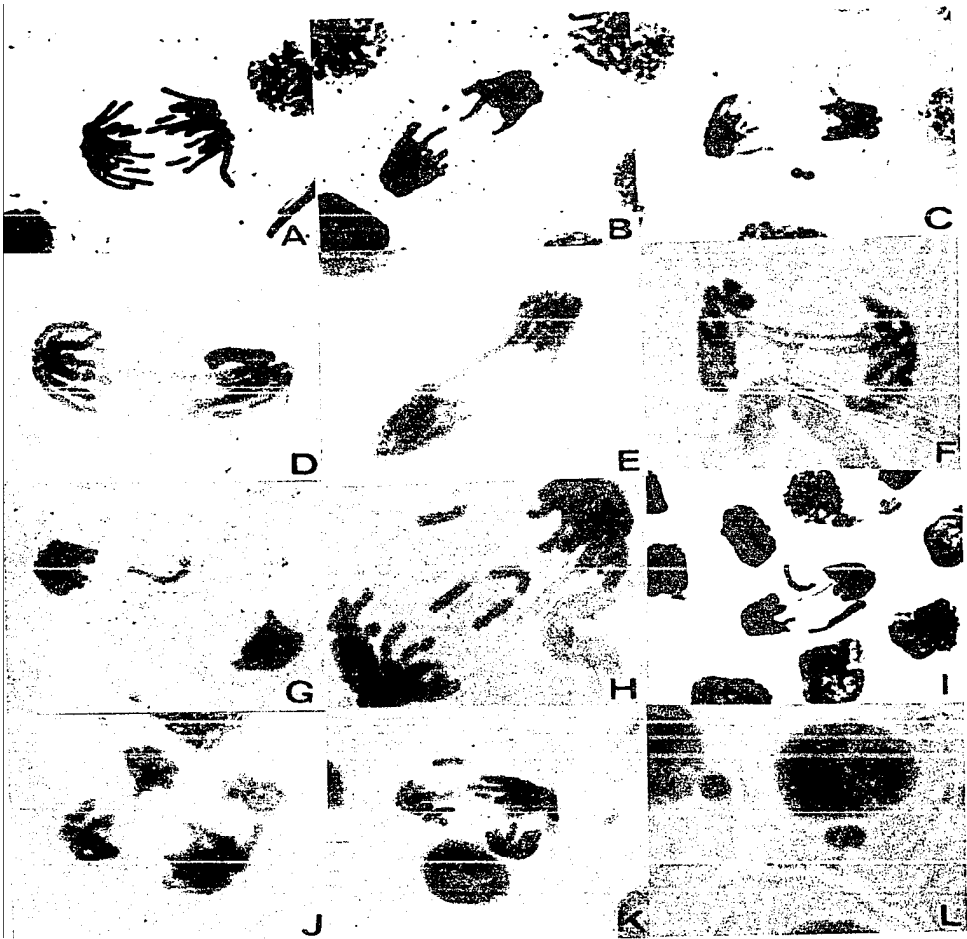


Fig. 3. Alteraciones en los cromosomas de *Vicia faba* inducidas por isopropanol A-K, células en - anafase; L célula en interfase; A, anafase - normal, B, fragmento sencillo, C, fragmento doble, D, puente subcromatídico, E, puente - sencillo, F, puente doble, G, cromosoma con centrómero inactivado, H, isocromosoma, I, - puente sencillo y 2 cromosomas con centrómero inactivado, J, anafase tetrapolar, K, anafase tripolar, L, micronúcleos.