

ALTERACIONES INDUCIDAS POR LOS RAYOS X EN LOS
CROMOSOMAS DE LAS CELULAS MERISTEMATICAS
DE LA RAIZ DE *VICIA FABA*. III. INFLUENCIA DE
LA TEMPERATURA EN LA FRECUENCIA DE
LAS ABERRACIONES CROMOSOMICAS

RAFAEL VILLALOBOS-PIETRINI*
GUADALUPE PALOMINO** y
MATILDE BREÑA**

RESUMEN

Los autores estudiaron la frecuencia de aberraciones cromosómicas inducidas por los rayos X con postratamientos cortos a dos grupos de temperatura (1° a 10°C y 20° a 30°C), no contrándose diferencias significativas como fueron observadas para algunas de las aberraciones de tipo cromatídico (Villalobos y colaboradores, 1965). Además se analizó la relación existente entre la frecuencia de las aberraciones por célula y los sitios sensibles.

SUMMARY

The authors studied the frequency of chromosomal aberrations induced by X-rays with two groups of short-termed temperature posttreatments (1° to 10°C and 20° to 30°C), without finding significant differences as it was observed in some chromatid aberrations (Villalobos *et al.*, 1965). Also the relationship between frequency of aberrations per cell and the sensitive sites was analyzed.

INTRODUCCION

Clásicamente las aberraciones cromosómicas inducidas se han descrito como debidas a fenómenos de rompimiento y de rompimiento y reunión. Con la "teoría del blanco" se intenta explicar el mecanismo de acción directa de las radiaciones (Lea 1946, Giles 1954), y desde los estudios de Thoday y Read (1947) se han aceptado los mecanismos de acción indirecta, que consideran

un "aumento" del tamaño del blanco. Revell (1963) entiende la formación de aberraciones como relacionadas con la producción de intercambios cromatídicos reales, equivalentes al "crossover" mitótico.

El daño causado por las radiaciones en los cromosomas puede disminuirse o aumentarse mediante variaciones en la intensidad o con el fraccionamiento de la dosis (Sax

* Instituto de Biología, U.N.A.M.

** Programa de Genética, C.N.E.N. e Instituto de Biología, U.N.A.M.

1938, Fabergé 1940), centrifugado el material (Sax 1943, Catcheside y colaboradores 1946, Wolff y von Borstel 1954), aplicando la irradiación a diferentes estados del ciclo celular (Sax y Swanson 1941, Sparrow 1951), cambiando la temperatura (Giles y colaboradores 1951, Sax y Enzmann 1939, Caldecott y Smith, 1952, Catcheside y colaboradores 1946, Mickey 1939, Faberge 1948, Villalobos-Pietrini 1965 y Villalobos-Pietrini y colaboradores 1965), cambiando el contenido de agua (Gustaffson 1937, Ehrenberg y Nybom 1954), mediante la acción de algunas sustancias químicas

(Wolff y Luippold 1955, Wolff 1954, Wolff y colaboradores 1958, Laguarda-Figuera y Villalobos Pietrini 1967, Villalobos-Pietrini y Laguarda-Figuera 1967), etc.

En publicaciones anteriores (Villalobos-Pietrini 1965 y Villalobos-Pietrini y colaboradores 1965) se describieron las aberraciones producidas en los períodos G₂ y S del ciclo celular y en el presente trabajo nos ocuparemos en analizar la frecuencia de las aberraciones inducidas por los rayos X en el período anterior a la síntesis del DNA y a la influencia de la temperatura.

MATERIAL Y METODOS

Las semillas de *Vicia faba* L., variedad *major*, fueron colocadas para su germinación entre algodones húmedos, en un cuarto a temperatura constante ($20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$).

Cuando aparecieron las raíces principales, al cabo de dos o tres días, las plántulas fueron transferidas a frascos con agua de la llave, en donde permanecieron hasta la aparición de cinco a diez raíces laterales que fueron utilizadas para la técnica citológica. Durante todo este tiempo se mantuvieron en la obscuridad para evitar la influencia del ritmo circadiano en la frecuencia de las mitosis.

Las plántulas fueron irradiadas por pares y sobre algodón húmedo, con el objeto de mantenerlas en buen estado. Se utilizó como fuente de rayos X un aparato Siemens Stabilipan que operó a 250 kv y 15 mA, con un filtro de cobre de 0.05 mm.

La dosis total fue de 150 roentgens (R) a una distancia de 50 cm de la fuente al haba. La intensidad de exposición fue de

80 R/minuto. Las dosis fueron controladas mediante un dosímetro Siemens Universal.

Al terminar la irradiación se aplicaron postratamientos de una hora, con agua de la llave a temperaturas bajas (1° a 10°C) y elevadas (20° a 30°C), regresándose después las habas a los frascos con agua de la llave a 20°C , en los cuales permanecieron hasta que fueron tratadas para el análisis citológico. El agua de los frascos fue cambiada cada tercer día.

Los estudios citológicos se hicieron en grupos de habas que tenían de 4 a 72 horas de haber sido irradiadas y se observó un mínimo de 200 metafases para cada uno de los puntos incluidos en los dos grupos de diferentes temperaturas de las figuras 1, 2 y 3.

La técnica citológica utilizada en la observación de los cromosomas de las células meristemáticas de la raíz de *Vicia faba* fue la de aceto-orceína-verde Janus descrita por Villalobos-Pietrini (1965).

RESULTADOS

Se registró la frecuencia de aparición de fragmentos dobles, dicéntricos y anillos (aberraciones de tipo cromosómico) en más de 4,500 células que fueron postratadas bajo dos sistemas de temperatura, bajas (1° a 10°

C) y elevadas (20° a 30°C). La tabla 1 muestra el total de aberraciones producidas y el análisis de significancia de los valores promedio mediante la t de student.

Tanto en los datos de la tabla 1 como

Postura- miento	Total de FD	Total de Dic	Total de A	FD en 100 cél.s.) ± E. S.	Dic en 100 cél.s.) ± E. S.	A en 100 cél.s.) ± E. S.
1°—10°	1112 2254	72 2254	21 2254	48.44± 1.46	3.19± 0.46	0.93± 0.20
20°—30°	859 2403	63 2404	13 2403	35.75± 1.22	2.62± 0.33	0.54± 0.15
				Valores de t	0.25 < t	0.35 < t
				1.38 < t	0.05	0.05

TABLA 1. Aberraciones cromosómicas producidas por 150 R de Rayos X con posturamiento de 1 hora a temperaturas altas y bajas.

FD = fragmentos dobles Dic = dicéntricos

A = anillos células. = células

en la distribución acumulada de los fragmentos dobles (Fig. 1), puede observarse que esta alteración de los cromosomas, producida por los rayos X, no es afectada por el postramiento de temperatura. Lo mismo acontece para las aberraciones consideradas de "impacto doble" como son los anillos (Tab. 1, fig. 2) y los dicéntricos (Tab. 1, fig. 3).

Además, se analizaron las frecuencias de aberraciones de "un impacto" (fragmentos dobles) y de "dos impactos" (anillos y dicéntricos) por célula, encontrándose como máximo 5 fragmentos dobles en 2 células, 2 dicéntricos en una célula y en el caso de los anillos solamente se observó un anillo por célula (Tab. 2).

DISCUSION

En el trabajo de Villalobos-Pietrini y colaboradores (1965) se presentan evidencias de que las mayores frecuencias de aberraciones cromatídicas, aparecen a las 8 horas después de la irradiación, momento a partir del cual dichas frecuencias van siendo menores a medida que se alarga el período de tiempo comprendido entre la exposición a los rayos X, y la fijación del material. Al acercarse las 48 horas, tales aberraciones cromatídicas prácticamente han desaparecido. Evans y Scott (1964), mediante el uso de timidina tritiada en las células meristemáticas de *Vicia faba*, logran determinar que el ciclo de generación celular a 19°C es de 19.3 horas; también registraron la duración de las diferentes etapas, estableciendo que la mitosis dura 2.0 horas; el período G₁, 4.9 horas; el S, 7.5 horas y el G₂, 4.9 horas. Comparando esto con lo analizado en el trabajo de Villalobos-Pietrini (1965) puede concluirse que efectivamente, al aplicar 150 R de rayos X, se produce retardo mitótico. También es notable que aunque la temperatura no influye demasiado en el retardo, puesto que casi todos los máximos de las aberraciones cromatídicas aparecen a las 8 horas, al comparar los grupos de temperaturas altas y bajas, se presenta más alargado el período de producción de las aberraciones cromatídicas en el segundo grupo que en el primero. Savage y Evans (1959), al estudiar el índice mitótico de las células meristemáticas de la raíz de *Vicia faba* a 3°C consideran que, en las cuatro primeras horas del tratamiento, no se producen variaciones importantes del mencionado índice con respecto a los controles. De estos experimentos

puede deducirse que el retardo mitótico obtenido se debe en su mayor parte a los efectos de la radiación y en una pequeñísima porción a las bajas temperaturas. El retardo mitótico también se manifiesta en las aberraciones cromosómicas producidas en el período G₁, puesto que las frecuencias máximas se obtienen entre las 24 y las 28 horas posteriores a la irradiación. Como ya se indicó, el período G₁ en los meristemas normales es de 4.9 horas y en nuestro estudio se extiende desde las 12 horas después de la irradiación hasta las 72 horas.

Con el objeto de obtener un índice de la sensibilidad diferencial de los períodos G₂+S y G₁, se compararon los promedios de las aberraciones producidas en cada uno de ellos (Tab. 1 y 3). El porcentaje total de aberraciones para G₂ y S fue de 70%, mientras que para G₁ fue de 46%; así,

$$\frac{\text{aberraciones en S+G}_2}{\text{aberraciones en G}_1} = 1.42$$

Este cálculo nos permite concluir que el período G₂ + S es más sensible a los 150 R de rayos X, que el G₁ por un factor de 1.42. Sax y Swanson (1941) consideraron que, en *Tradescantia*, la profase I temprana y media de las meiosis, son los estados más sensibles a la radiación, en comparación con cualquier otro período del ciclo de generación celular. Sparrow (1951) observó también en *Trillium* que la profase I temprana era el estado más sensible de la meiosis a las radiaciones y que su radiosensibilidad era 50 veces mayor que las etapas tempranas de la interfase.

Posttrata- miento de temperatura	Tipo de aberración	Nº de céls. con 0 abe- rraciones	Nº de céls. con 1 aberración	Nº de céls. con 2 abe- rraciones	Nº de céls. con 3 abe- rraciones	Nº de céls. con 4 abe- rraciones	Nº de céls. con 5 abe- rraciones
1°—10°C	FD	668	185	131	25	5	1
	Dic	668	36	—	—	—	—
	A	668	24	—	—	—	—
20°—30°C	FD	774	198	82	16	2	1
	Dic	774	31	1	—	—	—
	A	774	7	—	—	—	—

FD = Fragmentos dobles; Dic = Dicéntricos;

TABLA 2. Frecuencia de aberraciones por célula producidas por 150 R de rayos X

A = Anillos;

céls. = células

De todo esto se puede concluir que, en general, los períodos más sensibles a las radiaciones son el G_2 en la mitosis y la profase temprana en la meiosis.

Catcheside y colaboradores (1946) señalaron un ligero aumento en la frecuencia de los rompimientos cromatídicos en las microsporas de *Tradescantia*, al aplicarles temperaturas de 1°C en el momento de la irradiación. Villalobos-Pietrini y colaboradores (1965) obtienen resultados contrarios usando postratamientos de 1 hora de temperatura a 1° , 10° , 20° y 30°C , al observar que tanto los rompimientos cromatídicos como los isocromatídicos, son más frecuentes a las temperaturas altas que a las bajas. Esto coincide con lo expresado por Sax y Enzmann (1939), quienes al aplicar temperaturas de 30°C en el momento de la irradiación, también obtienen un aumento en los rompimientos cromatídicos en las microsporas de *Tradescantia*. Al probar la no significancia de los datos sobre las aberraciones cromosómicas de "un impacto" denominadas fragmentos dobles, podemos considerar que la temperatura no tiene efecto sobre la producción de dichos rompimientos (Fig. 1).

Como se observa en la tabla 3 y en las figuras 4 y 5, las aberraciones cromatídicas inducidas en los períodos G_2 y S, sólo en los casos de rompimientos cromatídicos e isocromatídicos difieren significativamente. Para los huecos, intercambios cromatídicos e intercambios isocromatídicos (Tab. 3, Figs. 6, 7 y 8) no se encontraron diferencias significativas entre los promedios obtenidos a temperaturas altas y bajas, concluyéndose que el postratamiento de temperatura solamente tiene influencia en algunas de las aberraciones de tipo cromatídico.

Los fenómenos descritos son sumamente difíciles de explicar, aunque los únicos resultados significativos sugieren que acontece una mayor restitución a bajas temperaturas, lo que posiblemente está relacionado con la ruptura de enlaces de tipo iónico que Wolff (1957) consideró de actividad inmediata. Las diferencias de comportamiento entre las aberraciones de "un impacto" de los períodos G_1 y G_2+S (fragmentos dobles y rompimientos cromatídicos e isocro-

matídicos, respectivamente) pudieron deberse a la mayor radiosensibilidad del período G_2+S sobre la etapa G_1 , como se ha demostrado antes. Esto probablemente es debido a las diferentes condiciones características de dichos períodos, como son el contenido de agua, el grado de espiralización del DNA, las diferencias en el metabolismo celular, la tensión de oxígeno, etc.

En lo referente a las aberraciones de "dos impactos", dicéntricos (intercambios asimétricos) y anillos (intracambios asimétricos), se comprobó también, mediante el mismo método estadístico, que los datos obtenidos reflejan la no influencia de la temperatura sobre la frecuencia de dichas aberraciones. Al hacer comparaciones de estos datos con los dados a conocer por Villalobos-Pietrini y colaboradores (1965), notamos que en las frecuencias de las aberraciones de "dos impactos" (intracambios isocromatídicos e intercambios cromatídicos) del período G_2+S , tampoco influye el postratamiento de la temperatura. Con lo anteriormente expuesto, se puede asegurar que prácticamente el postratamiento de 1 hora con las temperaturas usadas, no tiene efecto significativo en las frecuencias de las aberraciones inducidas en el período G_1 . Es notable que, excepto para los rompimientos cromatídicos e isocromatídicos, en todas las demás aberraciones se observa que aunque no son significativas las diferencias, son mayores sus frecuencias a las temperaturas bajas (1° a 10°C) que a las altas (20° a 30°C), como puede observarse en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8.

En cuanto a los huecos (Fig. 6), al igual que en los fragmentos dobles, no se observan diferencias significativas en los resultados. Su distribución es distinta a la de los rompimientos cromatídicos (Fig. 4), lo que apoya el criterio de Revell (1955, 1958) quien separa los rompimientos cromatídicos y los huecos por su diferente distribución al graficar la dosis-frecuencia (se sabe que los huecos aumentan linealmente con el incremento de la dosis de radiación, no así los rompimientos cromatídicos que aumentan casi con el cuadrado del valor de la dosis).

En los primeros trabajos sobre la frecuencia de las aberraciones de "dos impactos",

Postratamiento	Total RC	Total H	Total RI	Total Intra I	Total Inter C	RC en 100 céls. \pm E. S.	H en 100 céls. \pm E. S.	RI en 100 céls. \pm E. S.	Intra I en 100 céls. \pm E. S.	Inter C en 100 céls. \pm E. S.
1°—10°	147 1000	177 1000	61 900	199 1000	171 1200	14.70 \pm 1.18	16.10 \pm 1.21	6.80 \pm 0.82	6.80 \pm 1.41	14.30 \pm 1.09
20°—30°	274 900	133 900	181 900	120 900	114 800	30.50 \pm 1.82	14.80 \pm 1.28	20.10 \pm 1.47	13.30 \pm 1.23	14.30 \pm 1.37
				Valores de t		2.34 > t _{0.05}	0.23 < t _{0.05}	2.6 > t _{0.05}	1.1 < t _{0.05}	

TABLE 3. Aberraciones cromatídicas producidas por 150 R de Rayos X con postratamiento de 1 hora a temperaturas altas y bajas.

RC = rompimientos cromatídicos Inter C = intercambios cromatídicos

H = huecos Intra I = intracambios isocromatídicos

RI = rompimientos isocromatídicos céls. = células

se había llegado a la conclusión que estas aberraciones se incrementaban con el cuadrado de la dosis. En trabajos más recientes, Revell (1966), Wolff (1966), Evans (1966) y Savage (1966), comprobaron en microsporas de *Tradescantia* y en meristemos de *Vicia faba*, que dichas aberraciones no aumentan con esa potencia, como se esperaría en la "Teoría del blanco", sino que lo hacen al 1.5, 1.7 y 1.8, según la intensidad de la dosis usada. Revell (1966) encuentra valores de 1.7 para los rompimientos cromatídicos simples, 1.5 para los rompimientos isocromatídicos simples, 1.5 para

los rompimientos isocromatídicos, 1.07 para los huecos y 2.0 para los intercambios cromatídicos.

Comprendiendo como "sitio", al lugar del núcleo donde los hilos cromosómicos están dentro de la distancia de reunión (Savage 1966), encontramos que, por célula, las frecuencias de "sitios" son de 1 y 2 como máximo (Tab. 2). Esto concuerda con las conclusiones de Wolff y colaboradores (1958) y de García-Benítez y Wolff (1962), que consideran como máximo dos "sitios" de reunión ilegítima por célula.

AGRADECIMIENTOS

Estamos sumamente reconocidos al Dr. Rodolfo Díaz Perches y a los físicos Víctor Tovar, Jesús Velázquez y Noé Gómez, del

Departamento de Radioterapia del Hospital General, S.S.A., por la irradiación del material.

LITERATURA

- CALDECOTT, R. S. and SMITH, L. W., 1952. The influence of heat treatment on the injury and cytogenetics effects of X-rays on barley. *Genetics* 37: 136-157.
- CATCHESIDE, D. C., LEA, D. E. and THODAY, J. M., 1946. The production of chromosome structural changes in *Tradescantia* microspores in relation to dosage, intensity and temperature. *J. Genet.* 47: 137-149.
- CONGER, A. D. and FAIRCHILD, L. M., 1953. A quick freeze method for making smear slides permanent. *Stain Technol.* 28: 281-283.
- EHRENBERG, L., and NYBOM, N., 1954. Ion density and biological effectiveness of radiation. *Acta Agric. scandinavica* 4: 396-418.
- EVANS, H. J., 1963. Chromosome aberrations and target theory. In: *Radiation induced chromosome aberrations* (Edit. S. Wolff) pp. 8-40.
- , 1966. Repair and recovery from chromosome damage after fractionated X-ray dosage. In: *Genetical aspects of radiosensitivity: Mechanism of Repair*. I.A.E.A., Vienna. pp. 31-48.
- EVANS, H. J. and 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.
- FABERGÈ, A. C., 1940. An experiment on chromosome fragmentation in *Tradescantia* by X-rays. *J. Genet.* 39: 229-248.
- , 1948. Chromosome aberrations in *Tradescantia* produced by X-ray treatment at liquid air temperature. *Genetics* 33: 609.
- GARCÍA BENÍTEZ, C., and WOLFF, S., 1962. On the increase of sites for chromosome exchange formation after chromosome duplication. *Science* 135: 438-439.
- GILES, N. H., 1954. Radiation induced chromosome aberrations in *Tradescantia*. In: *Radiation Biology*. Vol. 1 (Edit. A. Hollaender). McGraw-Hill, New York, pp. 713-761.
- GILES, N. H., BEATTY, A. V. and RILEY, H. P., 1951. The relation between the effects of temperature and oxygen on the frequency of X-ray induced chromosome aberrations on *Tradescantia* microspores, *Genetics* 36: 552-553.
- GUSTAFFSON, A., 1937. The different stability of chromosome and the nature of mitosis. *Hereditas* 22: 281-335.
- LAGUARDA-FIGUERAS, A. and VILLALOBOS-PIETRINI, R., 1967. Protection by serotonin-creatinine sulfate complex of the planaria *Dugesia tigrina* against the lethal effects of X-rays. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 126: 667-669.
- LEA, D. E., 1946. *Actions of radiations on living cells*. Cambridge University Press, Cambridge, England. pp. 90-99.
- MICKEY, G. H., 1939. The influence of low tem-

- perature on the frequency of translocations produced by X-rays in *Drosophila melanogaster*. *Genetica* 21: 386-407.
- REVELL, S. H., 1955. A new hypothesis for chromatid changes. *Proc. Radiobiol. Symp.* (Liege, 1954) (Edit. Z. M. Bacq and Alexander P.) Butterworths Sci. Pub. pp. 243-256.
- , 1958. A new hypothesis for the interpretations of chromatid aberrations, and its relevance to theories for the mode of chemical agents. *Ann. New York Acad. Sci.* 68: 802-807.
- , 1963. Chromatid aberrations. The generalized theory in radiation induced chromosome aberrations. In: *Radiation-induced chromosome aberrations*. Columbia Univ. Press. pp. 41-72.
- , 1966. An admonition on chromosome aberrations induction and the question of repair. In: *Genetical aspects of radiosensitivity: Mechanism of Repair*, I.A.E.A. Vienna, pp. 25-29.
- SAVAGE, J. R. K., 1966. Repair at chromosome exchange sites in *Tradescantia paludosa* microspores. In: *Genetical aspects of radiosensitivity: Mechanism of Repair*. I.A.E.A. Vienna, pp. 11-23.
- SAVAGE, J. R. K. and EVANS, H. I., 1959. The effects of low temperature on the mitotic cycle of root meristem cells of *Vicia faba*. *J. Exp. Cell. Res.* 16: 346-378.
- SAX, K., 1938. Chromosomal aberrations induced by X-rays. *Genetics* 23: 494-516.
- , 1943. The effect of centrifugation upon the production of X-rays induced chromosomal aberrations. *Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A.* 29: 18-21.
- SAX K. and ENZMANN, E. V., 1939. The effect of temperature on the frequency of X-rays induced chromosome aberrations. *Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A.* 25: 397-405.
- SAX, K. and SWANSON, C. P., 1941. Differential sensitivity of cells to X-rays. *Am. J. Bot.*, 28: 52-59.
- SPARROW, A. H., 1951. Radiation sensitivity of cells during mitotic and meiotic cycles with emphasis on possible biochemical changes. *Ann. New York Acad. Sci.* 51: 1508-1540.
- THODAY, J. M. and READ, J., 1947. Effect of oxygen on the frequency of chromosome aberrations produced by X-rays. *Nature* 160: 608-619.
- 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. México* 29: 178-183.
- VILLALOBOS-PIETRINI, R., CRUZ, T. y ALMANZA, R., 1965. Alteraciones inducidas por los rayos X en los cromosomas de las células meristemáticas de la raíz de *Vicia faba*. II. Influencia de la temperatura en la frecuencia de las aberraciones cromatídicas. *Proc. V Interamer. Symp. on the Peacefull Application of Nuclear Energy*, pp. 137-143.
- VILLALOBOS-PIETRINI, R. and LAGUARDA-FIGUERAS, A., 1967. Radioprotection of *Vicia faba* by serotonin-creatinine sulfate complex. *Radiat. Bot.* 7: 369-373.
- WOLFF, S., 1954. Delay of chromosome rejoining in *Vicia faba* induced by irradiation. *Nature* 173: 501-502.
- , 1957. Recent studies on chromosome breakage and rejoining. In: *Advances in Radiobiology* (Edit. G. C. de Hevesy, A. G. Forsberg and J. D. Abatt). Oliver and Boyd. London. pp. 463-470.
- , 1966. Repair of chromosomal damage In: *Genetical aspects of radiosensitivity: Mechanisms of Repair*, I.A.E.A., Vienna, pp. 1-9.
- WOLFF, S., ATWOOD, K. C., RANDOLPH, M. L., and LUIPPOLD, H., 1958. Factors limiting the number of radiation-induced chromosome exchanges. I. Distance from non-interaction of X-rays and neutron-induced breaks. *J. biophys biochem. Cytol.* 4: 365-372.
- WOLFF, S. and VON BORSTEL, R. C., 1954. The effects of pre-and post-irradiation centrifugation on the chromosomes of *Tradescantia* and *Vicia*. *Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A.* 40: 1138-1141.
- WOLFF, S. and LUIPPOLD, H. E., 1955. Metabolism and chromosome break rejoining. *Science*. 122: 231-232.

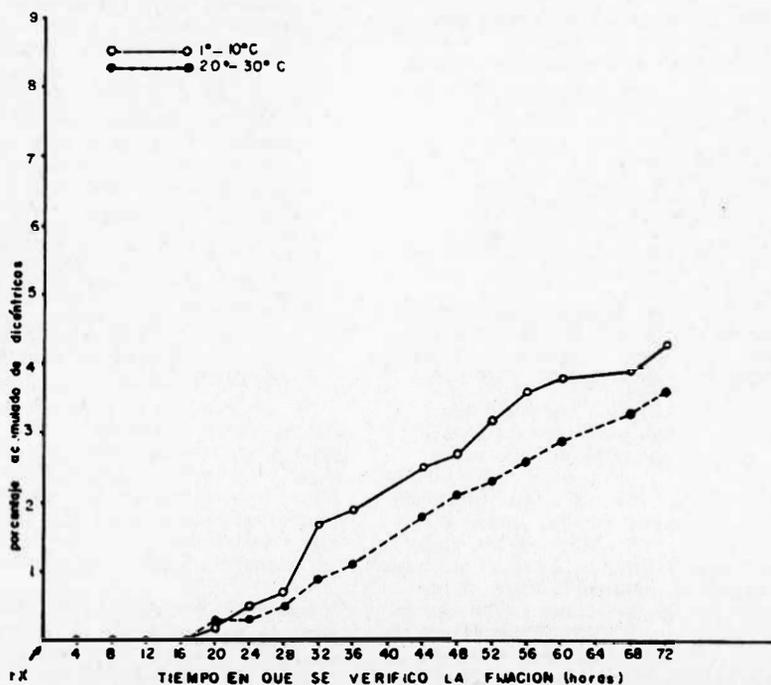
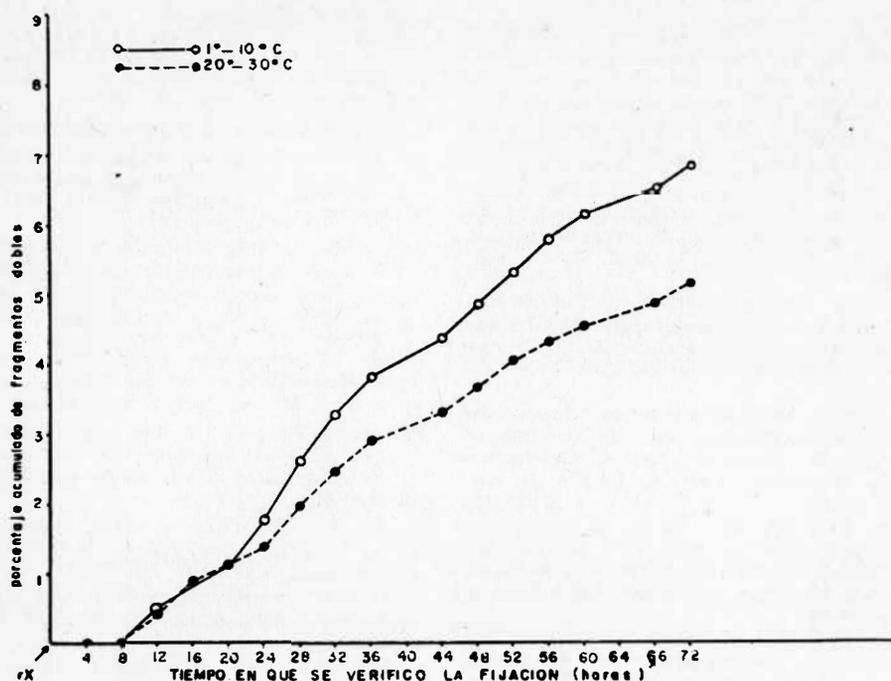


Fig. 1. Porcentaje acumulado de fragmentos dobles con postratamientos a temperaturas bajas y elevadas. tX es el momento de aplicación de los rayos X.

Fig. 2. Porcentaje acumulado de dicéntricos a temperaturas bajas y elevadas. tX es el momento de aplicación de los rayos X.

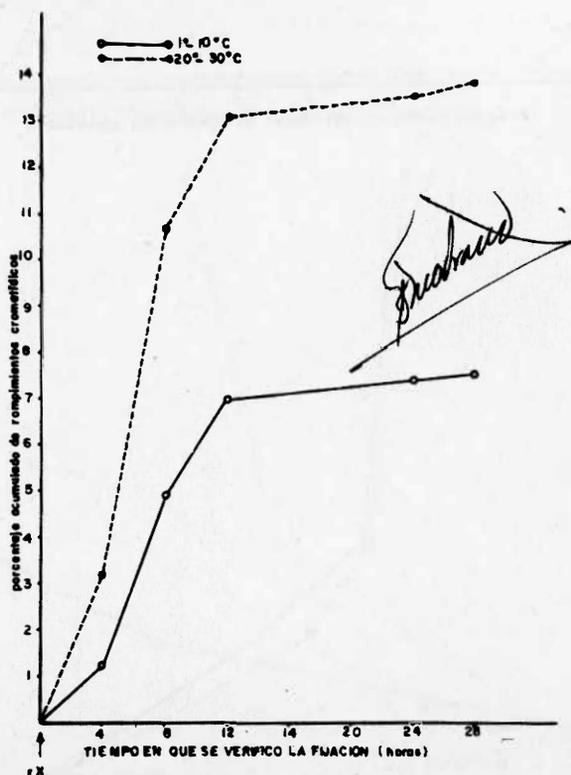
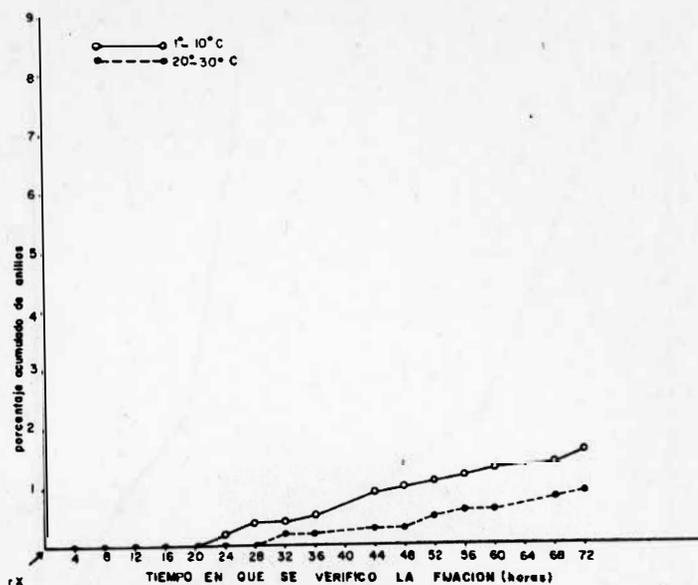


Fig. 3. Porcentaje acumulado de anillos para los dos grupos de temperaturas. rX indica la aplicación de rayos X.

Fig. 4. Porcentaje acumulado de rompimientos cromatídicos en los dos grupos de temperaturas (bajas y elevadas). rX es el momento de aplicación de los rayos X.

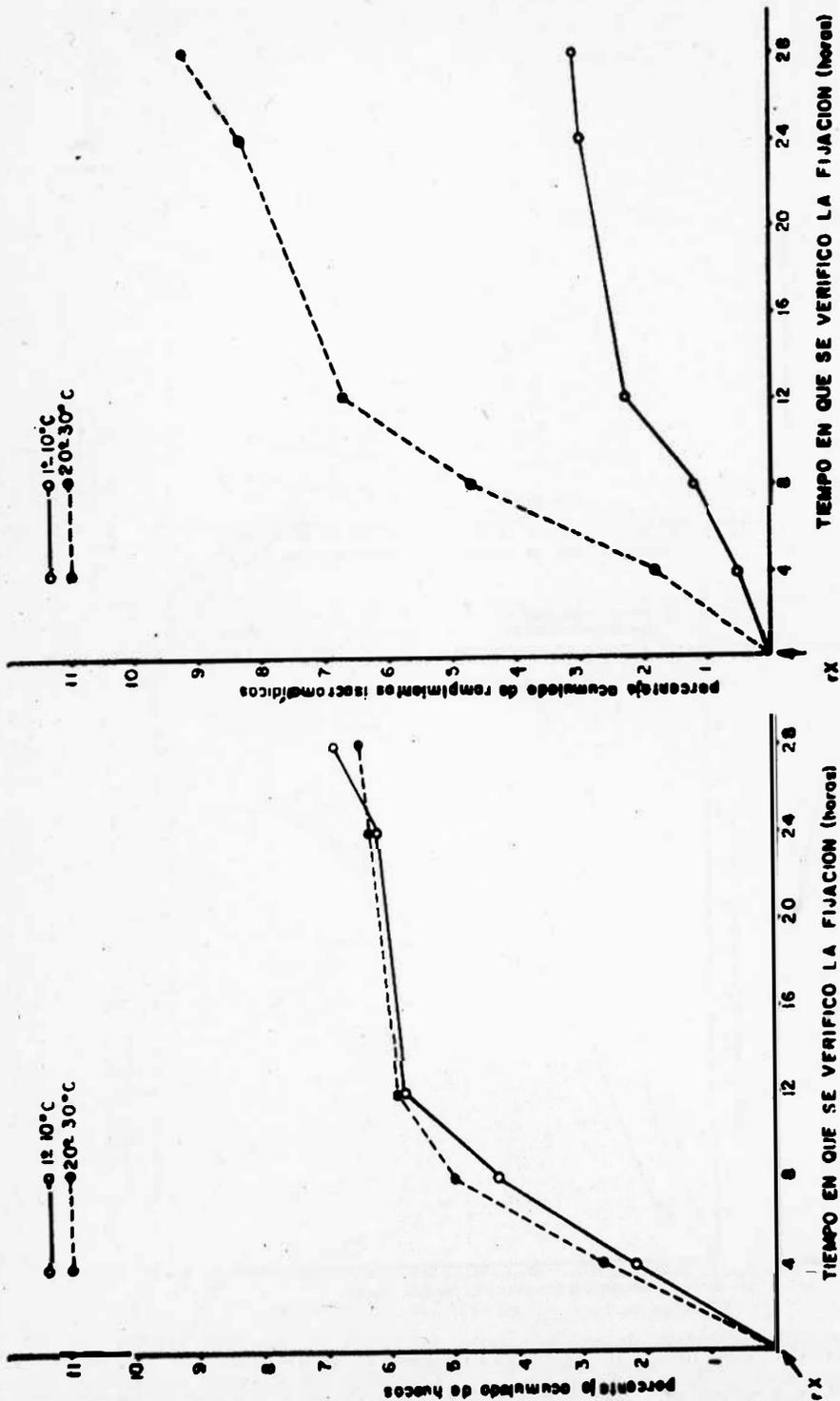


Fig. 5. Porcentaje acumulado de huesos para temperaturas bajas y elevadas. rX indica la aplicación de los rayos X.

Fig. 6. Porcentaje acumulado de rompimientos isoméricos con postramiento a temperaturas bajas y elevadas. rX es el momento de aplicación de los rayos X.

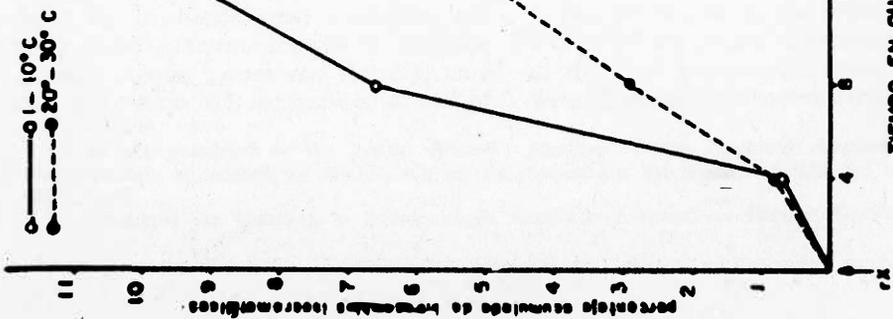


Fig. 7. Porcentaje acumulado de intercambios isocromatídicos de los postratamientos a temperaturas bajas y elevadas. rX es la aplicación de los rayos X.

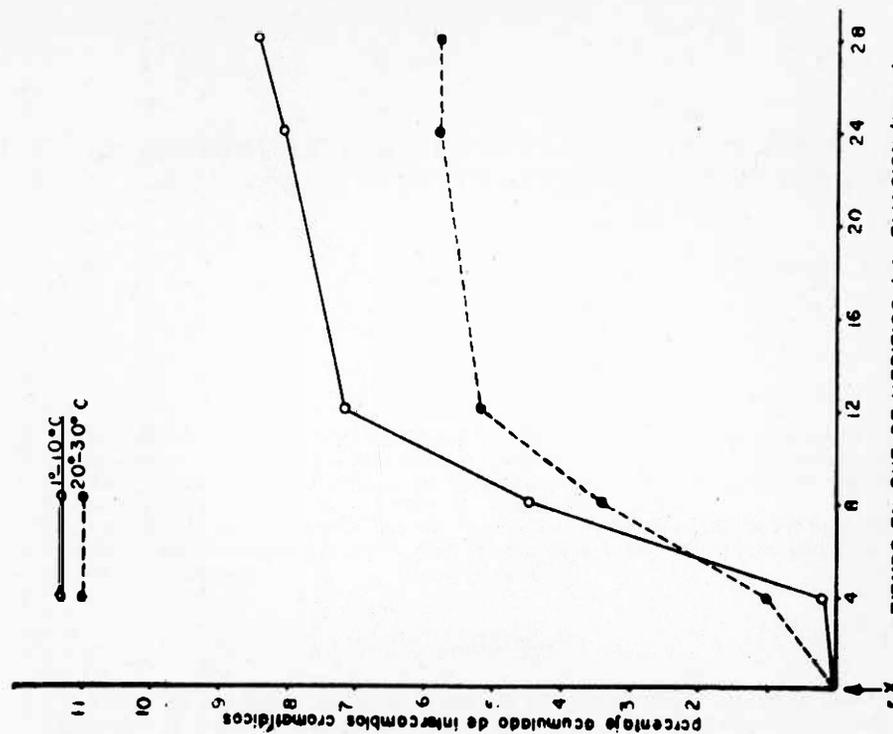


Fig. 8. Porcentaje acumulado de intercambios cromatídicos inducidos por los rayos X con postratamientos de diversas temperaturas. rX indica el momento de aplicación de los rayos X.