

EXPOSICIÓN NATURAL Y ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE POLIETILENOS PARA INVERNADEROS, EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS

SUSANA ORDEN¹; MARTHA GOLDBERG¹; R. QUARTINO²; ANA LANDINI¹; LUCILA BOTTINI¹ y LAURA PUHL³

Recibido: 18/04/01

Aceptado: 30/10/01

RESUMEN

Se evaluaron las propiedades mecánicas y ópticas de cuatro films de polietileno durante tres años de envejecimiento natural a la intemperie y mil horas de envejecimiento acelerado en laboratorio. Se expusieron en Yavi (Jujuy, Argentina) y se siguieron las normas A.S.T.M. Se correlacionaron los resultados obtenidos a la intemperie con los de envejecimiento acelerado para predecir la vida útil de un plástico, en condiciones climáticas similares, realizando sólo ensayos de laboratorio. Se observó que las propiedades mecánicas alcanzan más rápido las condiciones de envejecimiento y, por lo tanto, son más relevantes para caracterizar el comportamiento de los mismos. Se analizaron las propiedades en función de la radiación solar y la precipitación acumulada, para independizarse de las variaciones climáticas. En Yavi la duración de los plásticos fue mayor que en Buenos Aires (Capital Federal, Argentina), en el mismo período. Se concluye que aunque la radiación en Yavi es elevada, el menor deterioro de los films probablemente sea por la baja precipitación y ausencia de contaminación.

Palabras clave. Invernadero, plásticos, propiedades ópticas y mecánicas, envejecimiento.

NATURAL EXPOSITION TRIALS AND ACCELERATED AGEING IN POLYETHYLENE FOR GREENHOUSES, IN DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

SUMMARY

The mechanical and optical properties of four polyethylene films during three years of natural ageing exposed to the outdoors and thousand hours of accelerated ageing in laboratory were evaluated. They were exposed at Yavi (Jujuy, Argentina) following the procedures of the A.S.T.M. The results obtained outdoors were correlated with the ones accelerated ageing to predict the useful life of a plastic, in similar climatic conditions, only with laboratory test. It was observed that the mechanical properties reached more rapidly the ageings conditions and therefore they are more relevant to characterize the behavior of them. For the results being independent of climatic conditions properties in function of the solar radiation and the accrued precipitation were analyzed. At Yavi the duration of the plastic was greater than in Buenos Aires (Argentina), in the same period. It was concluded that though the radiation in Yavi is higher, the lesser deterioration of the film was probably due to the low precipitation and the absence of pollution.

Key words. Greenhouses, plastic, optical and mechanical properties, ageing.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos en el diseño de un invernadero es, desde el punto de vista económico, el conocimiento de la durabilidad del material de cobertura en las condiciones climáticas en las que

se realiza el cultivo y en el tiempo previsto para el desarrollo del mismo.

Se considera que un material plástico está envejecido y por lo tanto no es apto para su uso, cuando retiene menos del 50% de sus propiedades

¹Cátedra de Física. ³Cátedra de Estadística. FAUBA. Av. San Martín 4453.(1417).Buenos Aires. Argentina.

²Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigaciones Tecnológica de la Industria del Plástico. Argentina.

ópticas o mecánicas (transparencia, haze, tensión y elongación). (La Menza, 1987).

El film de polietileno se deteriora por tensiones originadas por la acción de los vientos, del granizo, de las variaciones de temperatura, de su propio peso y los anclajes de la estructura que lo sostiene. Es necesario, por lo tanto, usar materiales resistentes, que ofrezcan garantías de estabilidad, pero que al mismo tiempo no disminuya la iluminación (Alpi y Tognioni, 1991).

Nijsken *et al.*, (1993) observaron que la radiación solar no es el único parámetro que influye en el envejecimiento del film y que, sin duda, la humidificación de los materiales (condensación, lluvia) incrementan el proceso de envejecimiento, lo cual explica los distintos comportamientos de los mismos en diferentes lugares geográficos. Los mismos autores en un estudio comparativo de envejecimiento de un film de polietileno en laboratorio y en invernadero concluyeron que la evolución del alargamiento máximo y del esfuerzo máximo son características de las condiciones de envejecimiento.

Usando los valores obtenidos de los test fisicomecánicos (tensión y elongación) se observó para diferentes equipos utilizados en el ensayo de laboratorio que la correlación con el envejecimiento en exposición natural, es diferente (Ramirez *et al.*, 1995).

Es difícil llegar a una correlación entre envejecimiento artificial y natural, ya que todos los factores climáticos que afectan el envejecimiento de los films no pueden ser reproducidos fácilmente en condiciones de laboratorio (Orden *et al.*, 2000).

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la evolución de las propiedades mecánicas y ópticas de los films de polietileno, expuestos a la intemperie en la localidad de Yavi (Pcia. de Jujuy, Argentina) y compararlos con los cambios que experimentan en ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio; 2) determinar los factores de correlación entre el ensayo de exposición natural y el acelerado para predecir sobre la base de estos resultados el tiempo de vida útil de un plástico realizando sólo ensayos de laboratorio y 3) Comparar e interpretar la diferencia de los resultados obtenidos con el estudio llevado a cabo en Buenos Aires (Capital Federal, Argentina), con los mismos plásticos (Orden *et al.*, 2000) y el mismo equipo de envejecimiento artificial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se usaron cuatro films de polietileno transparente, térmico, de baja densidad y espesores comprendidos entre 96 y 144 μm (Cuadro N° 2). Se codificaron las muestras para mantener en reserva sus procedencias. Se trabajó con materiales nuevos, no sometidos a ningún proceso de envejecimiento previo.

Para la exposición de las muestras a la intemperie, se siguió la norma D1435 dispuestas por la American Society for Testing and Material (ASTM). Para ello se colocaron los films de polietileno en marcos de madera sobre bastidores de aluminio, con una inclinación de 45° y orientados hacia el Norte. Las muestras se expusieron a la intemperie en Yavi, Pcia. de Jujuy, Argentina (22°06' de latitud sur y 65°36' de longitud oeste) durante tres años, a partir de marzo de 1996 y se retiraron a los doce, treinta y treinta y seis meses.

Para el envejecimiento acelerado se trabajó de acuerdo con las normas ASTM D4.329 y ASTM G53, utilizando un equipo Q.U.V. Panel conteniendo tubos fluorescentes UVB 313, con un pico máximo de radiaciones ultravioletas en los 330 nm, a humedad saturada, con ciclos de 4 h de radiación UV a 60°C y 4 h de condensación de vapor de agua a 40°C. Las muestras expuestas fueron retiradas cada 100 h de exposición, hasta completar las 1.000 h. Se tomó en cuenta el criterio que considera que un material plástico está envejecido y por lo tanto no es apto para su uso, cuando el valor retenido de una propiedad característica es un 50% o inferior a los valores iniciales

Las propiedades evaluadas fueron la transmitancia luminosa total, la luz dispersada por el film y la tensión y elongación de los plásticos a la carga máxima.

Evaluación de las propiedades ópticas

De acuerdo a la norma ASTM D1003, para medir la transmitancia, la luz proveniente de una lámpara halógena de tungsteno, se recogió en una esfera integradora cuyo interior es una superficie difusora perfecta y la radiación se midió con un sensor cuántico LI-190SA (400 a 700 nm) ubicado sobre la esfera, en ángulo recto a la dirección de la luz incidente (Figura 1).

La *transmitancia luminosa total* **T** se calculó como:

$$T = I_2 / I_1$$

donde **I**₁ es la radiación registrada en la esfera integradora sin la muestra e **I**₂ es la radiación registrada en la esfera integradora con la muestra.

Para evaluar la luz dispersada se excluyó del haz de luz transmitida, la que pasa en dirección normal a la muestra. Para ello, se habilitó una trampa de luz (caja

$$\Delta T = (T_t / T_o) 100$$

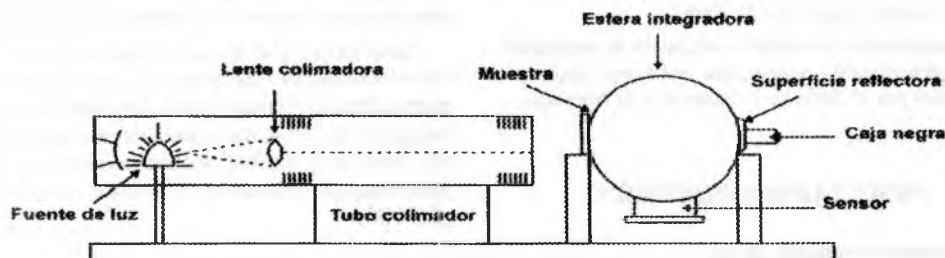


Figura 1. Dispositivo experimental utilizado para medir la transmitancia luminosa y el haze.

negra) a 180° de la entrada de la esfera integradora (Figura 1).

La luz dispersada se evaluó a través del Haze H y se calculó así:

$$H = (I_4 / I_2) - (I_3 / I_1)$$

donde I_4 es la radiación medida en la esfera con la muestra y la trampa habilitada e I_3 sin la muestra y con la trampa habilitada.

Como las muestras no son homogéneas en toda su superficie, se midieron en diferentes zonas de las mismas, las radiaciones I_1 , I_2 , I_3 e I_4 . A los efectos de tener en cuenta la influencia de la variabilidad en el proceso de muestreo, se usó el test de "Student" para calcular el mínimo número de muestras para que el error probable esté a un nivel de precisión del 10% de la media. Para cada muestra se repitió la medida treinta veces y se calculó el promedio y su desviación estándar.

El porcentaje retenido de transmisión luminosa ΔT se determinó como:

$$\Delta T = (T_t / T_o) 100$$

donde T_t es la transmitancia de la muestra al tiempo t de exposición natural o de laboratorio y T_o la transmitancia inicial de la misma sin exponer.

Evaluación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas, *tensión y elongación a la carga máxima*, se midieron con la máquina INSTRON modelo 1125 del laboratorio del CITIP, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

En el interior de un cuerpo deformable sometido a un conjunto de fuerzas exteriores en equilibrio existe una *tensión elástica* τ que representa la fuerza ejercida por unidad de área, debido a la interacción de las propias moléculas del cuerpo, a través de la superficie en el entorno del punto y se expresa en Pascal. Aumentando

constantemente la carga externa se llega a la rotura y el valor de la tensión correspondiente se denomina *tensión a la carga máxima*.

El porcentaje retenido de tensión a la carga máxima se calculó como:

$$\Delta \tau = (\tau_t / \tau_o) 100$$

donde τ_t es la tensión a la carga máxima al tiempo t de exposición natural o de laboratorio y τ_o la tensión a la carga máxima sin exponer.

La *elongación a la carga máxima* ΔL al cabo de un tiempo t de exposición en condiciones naturales o aceleradas es la diferencia entre la longitud L_t de la muestra expuesta, sometida a la carga máxima y la longitud L_n natural de la muestra sin exponer

$$\Delta L = L_t - L_n$$

El porcentaje retenido de la elongación a la carga máxima se calculó como:

$$\Delta L = (L_t - L_n) / (L_o - L_n) \} 100$$

donde L_o es la longitud de la muestra sin exponer y sometida a la carga máxima y $(L_o - L_n)$ la elongación a la carga máxima sin exponer.

Se graficaron los porcentajes retenidos de transmisión (ΔT), de tensión ($\Delta \tau$) y elongación (ΔL) a la carga máxima en función del tiempo para los dos tipos de ensayos. Se calculó la curva de tendencia a los efectos de determinar el tiempo t , al cabo del cual las propiedades mencionadas se redujeron a un 50% de su valor inicial.

El factor de correlación f se calculó como el cociente entre los tiempos de exposición natural t^n y acelerado t^a , necesarios para producir el mismo deterioro:

$$f = t^n / t^a$$

Este factor permite calcular el tiempo de exposición natural necesario para alcanzar el envejecimiento para

cada muestra y propiedad conocido el tiempo de exposición artificial con el equipo Q.U.V. Panel.

Se expresaron los resultados en función de la radiación solar y precipitación acumulada, utilizando datos suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

• Porcentajes retenidos de la transmitancia luminosa

En la Figura 2 se exhibe la evolución del porcentaje retenido de transmitancia, en ensayos de

envejecimiento acelerado y en la Figura 3 los correspondientes al ensayo de envejecimiento natural.

Se observa que el porcentaje de retención para la transmitancia luminosa no varió significativamente durante el ensayo para ninguna de las muestras excepto para la 4, que muestra una reducción del 8%. Similares resultados se obtuvieron con las mismas muestras expuestas en Buenos Aires (Orden *et al.*, 2000).

• Haze

En los Cuadros N° 1a y 1b se muestran los valores del haze para las distintas muestras durante

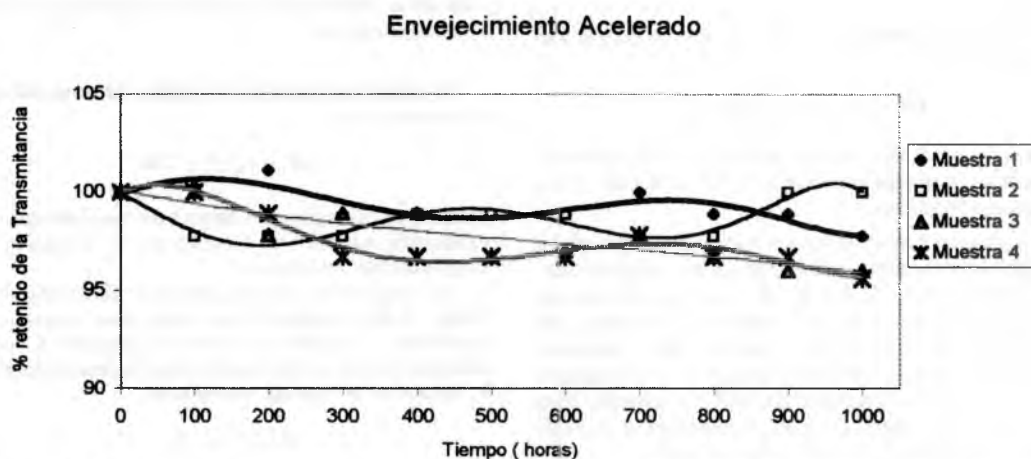


Figura 2. Evolución del porcentaje retenido de la transmitancia en ensayos de envejecimiento acelerado

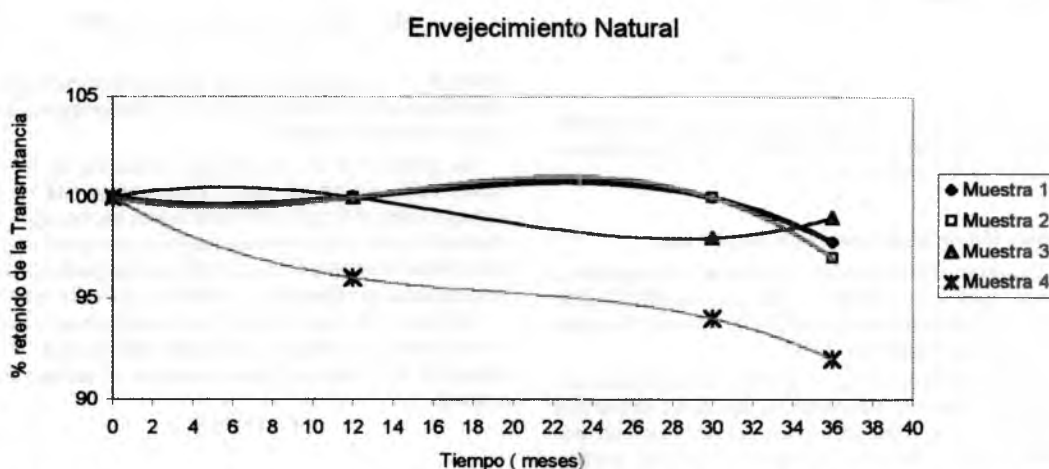


Figura 3. Evolución del porcentaje retenido de la transmitancia en ensayos de envejecimiento natural.

Cuadro N° 1a. Valores de haze en el envejecimiento acelerado.

Tiempo (horas)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	10 ± 1	12 ± 1	8 ± 1	8 ± 1
100	9 ± 1	10 ± 1	Despreciable	7 ± 1
200	7 ± 1	11 ± 1	Despreciable	8 ± 1
300	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable

Cuadro N° 1b. Valores de haze en el envejecimiento a la intemperie.

Tiempo (meses)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	10 ± 1	12 ± 1	8 ± 1	8 ± 1
12	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable

el envejecimiento acelerado y en exposición a la intemperie respectivamente

Se observa que los porcentajes de luz dispersada de las diferentes muestras se mantuvieron prácticamente constantes en los primeros tiempos de exposición, entre el 7% y el 12%.

A partir de las 300 h de envejecimiento artificial y 12 meses a la intemperie, los valores resultaron del orden de magnitud del error experimental, coincidiendo con lo ocurrido con las muestras expuestas en Buenos Aires (Orden *et al*, 2000). Es importante notar que según normas ASTM, las muestras no pueden ser consideradas difusoras ya que exhiben valores de haze inferiores al 30%.

Porcentajes retenidos de tensión y elongación a la carga máxima

En las Figuras 4 y 5 se exhibe la evolución del porcentaje retenido de tensión y elongación a la carga máxima en función del tiempo, en ensayos de envejecimiento natural y acelerado, respectivamente.

Se observa que al cabo de 37 meses de exposición natural y de 1000 horas de envejecimiento artificial las muestras 4 y 3 no modificaron significativamente sus propiedades mecánicas, en cambio las muestras 1 y 2 se degradaron para esos tiempos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos para las mismas muestras expuestas en Buenos Aires (Orden *et al*, 2000).

Observando la evolución en el tiempo de las propiedades mecánicas y ópticas se concluye que las primeras alcanzan mucho más rápido las condiciones de envejecimiento y, por lo tanto, son

las más adecuadas para evaluar el comportamiento de los mismos.

En el Cuadro N° 2 se resumen los valores de los tiempos de exposición al cabo de los cuales las muestras han reducido sus propiedades mecánicas al 50% del valor inicial, en condiciones naturales (t^n) y de envejecimiento acelerado (t^a). En la última columna figura la radiación solar acumulada (RSA) en los plásticos a la intemperie.

Factores "f" de correlación

En el Cuadro N° 3 se exhiben los factores de correlación (f) para cada propiedad, la radiación solar acumulada por hora de envejecimiento artificial (RSA/t_a) y la precipitación media acumulada (PMA) en cada zona geográfica.

Se observa en Yavi que el factor de correlación para la elongación es en promedio (14,6) similar al factor de correlación para la tensión (13,7). Análogamente en Buenos Aires para la primera propiedad el promedio fue 8,1 y 10 para la segunda (Orden *et al*, 2000). Por ejemplo, para cualquiera de las dos muestras y para la elongación, el tiempo de exposición natural necesario en Yavi para alcanzar el envejecimiento es 14,6 veces el tiempo de exposición artificial. Si bien alcanzaron el deterioro sólo dos de las cuatro muestras utilizadas, se pudo comprobar la estabilidad de los factores de correlación para el equipo INSTRUM utilizado. El factor calculado sirve para estimar la duración de un plástico a la intemperie sólo si las condiciones climáticas a las que se verá sometido resultan similares a las del período de la experiencia.

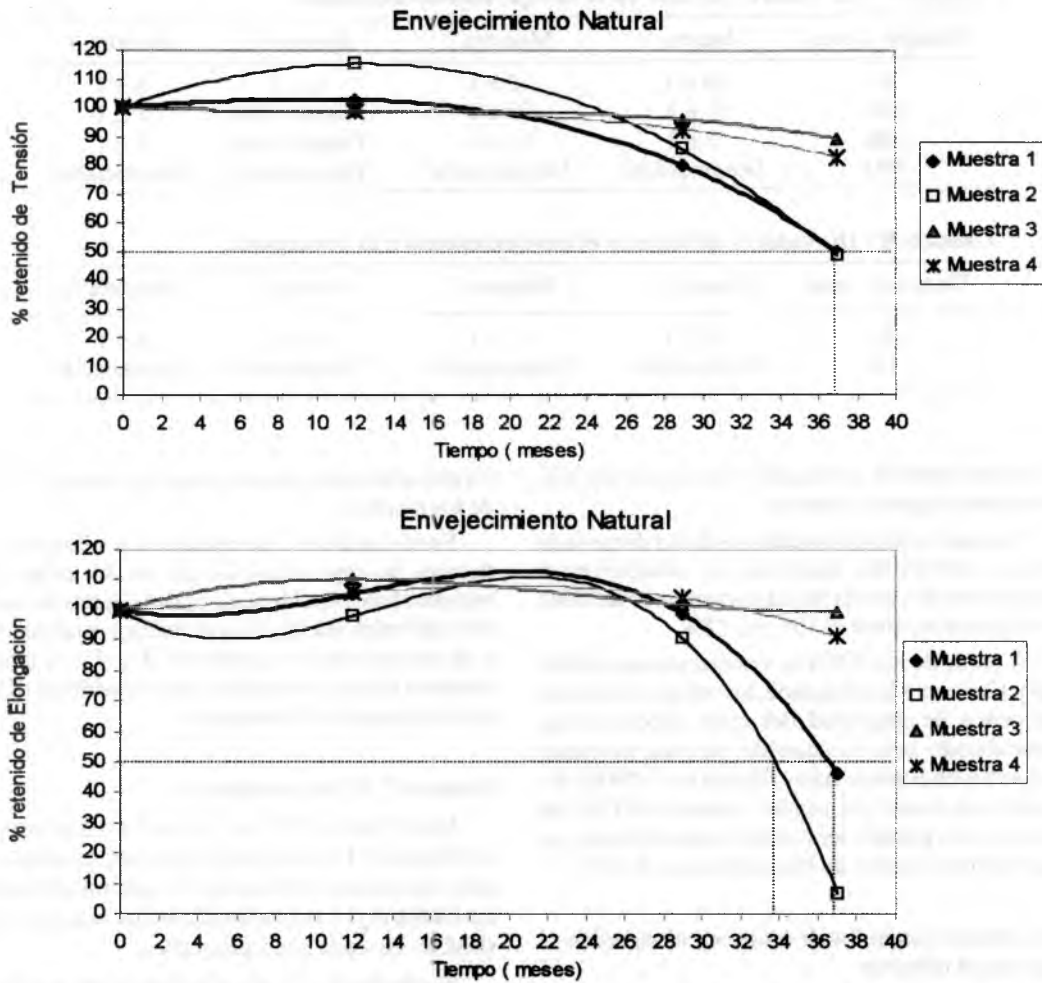


Figura 4. Evolución del porcentaje retenido de tensión y elongación a la carga máxima, en ensayos de envejecimiento a la intemperie.

Cuadro N° 2. Tiempos al cabo del cual las muestras han reducido sus propiedades al 50% y la radiación solar acumulada.

Muestra	Espesor (μm)	Propiedad	t^a (horas)	t^b (meses)	RSA (kcal cm^{-2})
1	131 ± 3	Elongación	860	37	722,7
2	141 ± 9	Elongación	900	34	664,1
3	96 ± 6	Elongación	-----	-----	-----
4	144 ± 13	Elongación	-----	-----	-----
1	131 ± 3	Tensión	940	37	722,7
2	141 ± 9	Tensión	1.000	37	722,7
3	96 ± 6	Tensión	-----	-----	-----
4	144 ± 13	Tensión	-----	-----	-----

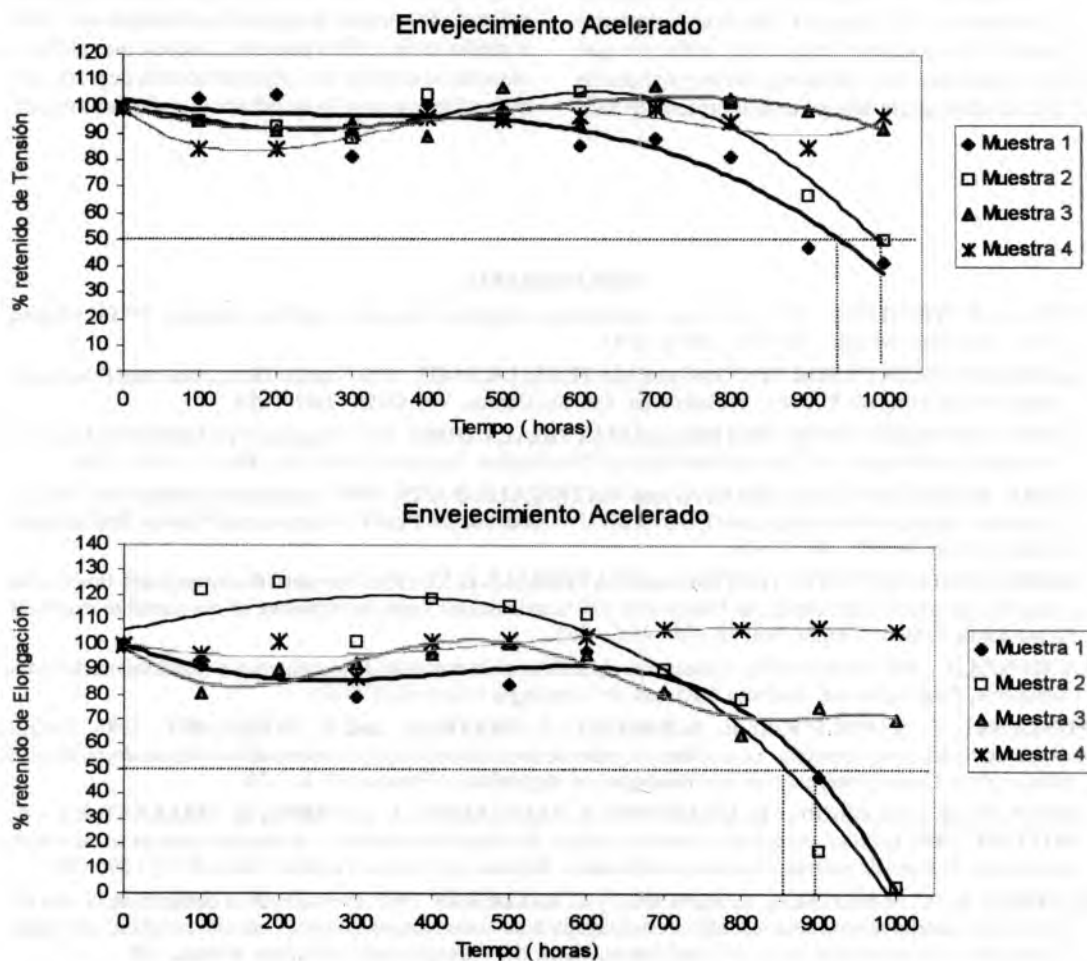


Figura 5. Evolución del porcentaje retenido de tensión y elongación a la carga máxima, en ensayos de envejecimiento acelerado.

Cuadro N° 3. Factores de correlación para las propiedades mecánicas, radiación solar acumulada por hora de envejecimiento artificial y precipitación media acumulada.

Propiedad	Muestras	$f(t_n / t_a)$	RSA / t_n (kcal h ⁻¹ cm ⁻²)	PMA (mm / año)
Elongación	1	15,5	0,840	338
	2	13,8	0,738	
Tensión	1	14,2	0,769	
	2	13,3	0,723	

En la columna siguiente figuran los cocientes entre la radiación solar acumulada hasta su deterioro a la intemperie y el tiempo t^a de envejecimiento acelerado. Estos valores indican la radiación que recibió la muestra antes de deteriorarse, por hora de envejecimiento acelerado en el laboratorio. Si bien

la radiación solar media acumulada en Yavi fue mayor que en Buenos Aires, la precipitación media acumulada por año, fue aproximadamente tres veces y media menor. Ello permite concluir que la lluvia abundante es un factor importante en la degradación de los films y no sólo la radiación solar acumulada.

BIBLIOGRAFÍA

- ALPI, A. y F. TOGNIONI. 1991. Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica. . 3^{ra} Ed. Madrid. España. Ediciones Mundi – .Prensa . 343 p, p 47.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS. D1435. 1979. Standard Recommended Practice for Outdoor Weathering of Plastics. Philadelphia. Estados Unidos. Vol 08.02 : 648 – 653.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS. D1003. 1977. Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics. Philadelphia. Estados Unidos. Vol 06.01 : 519 – 526.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS. D 4329. 1999. Standard Recommended Practice for Operate lighth and Water Apparatus Fluorescent UV Condensation Type For Exposure of Plastics. Philadelphia. Estados Unidos. Vol 08 . 03 : 1 – 5.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS. G 53. 1996. Standard Recommended Practice for Operate Lighth and Water Apparatus Fluorescent UV Condensation Type for Exposure of non metallic materials. Philadelphia. Estados Unidos. Vol 14 . 04 : 455 – 463.
- LA MENZA, L. 1987. Influencia de los factores climáticos en la duración de los materiales plásticos usados en la intemperie. Publicación del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (CITIP)
- NIJSKENST, J.; J. DELTOUR; E. ALBRECHT; J. GRATRUD, and P. FEUILLOEY. 1993. Estudio comparativo del envejecimiento de un filme de polietileno en laboratorio y en invernadero. *Plasticulture*. Revista editada por el Comité International des Plastiques en Agriculture . Francia. 87: 11 - 20.
- ORDEN, S; M. GOLDBERG; R. QUARTINO; L. MASCARINI; A. LANDINI; H. MALLEVILLE y L. BOTTINI. 2000. Estudio comparativo entre el ensayo de exposición natural y de envejecimiento acelerado en laboratorio de films de polietilenos para invernaderos. *Revista Agricultura Técnica*. Chile 60 (3) : 295-304.
- RAMIREZ, E.; C. MARTINEZ; L. SANCHEZ y C. BALDERAS. 1995. Previsión de la duración de la vida útil de los filmes para la cubierta de invernaderos con la ayuda de diversos equipos de envejecimiento a artificial acelerado. *Plasticulture*. Revista editada por el Comité International des Plastiques en Agriculture. Francia. 105 : 5 – 12.