

# The effects of rainfall on water and heat dynamics in the fleece of sheep\*

R.R. VERA\*\*, J.G. MORRIS\*\*

## RESUMO

*Foram estudados sob condições de laboratório, os efeitos da intensidade da chuva, tempo de exposição à mesma e peso do velo sobre a quantidade d'água retida pelo velo de ovinos. O peso d'água retida aumentou rapidamente em forma assintótica. A taxa de retenção foi determinada pela intensidade da chuva. Um modelo não linear foi proposto e ajustado aos dados experimentais, a fim de representar ditas interações. É discutido o efeito da chuva sobre a taxa de perda de calor do animal.*

### Introduction

**M**ANY environmental factors influence the energy balance of free-living animals. Several of these have been discussed, among others, by Blaxter (4) and Alexander (2). It is clear from their presentation, that the effect of rainfall on the heat exchange of domestic ruminants has been the least investigated of these factors. In sheep, it was found that there was a pronounced interaction between metabolic heat production and the effects of rainfall, fleece length and air temperature (15). Nevertheless, several additional problems relating to the heat exchange of sheep exposed to rain may be distinguished, namely: what is the rate of penetration by water in the fleece and factors affecting it, the total quantity of water a given fleece retains, how is the rate of heat exchange with the environment affected by the presence of water and, lastly, what is the dynamics of water and water vapour in the fleece.

An attempt was made to answer some of these questions through a limited number of experiments. Also a series of proposals regarding the modelling of the effects of rainfall on the heat expenditure of sheep is presented.

### Materials and methods

The experiments described here were conducted in the laboratories of the Department of Animal Science, University of California, Davis.

Four adult, full fleeced sheep of Targhee breeding,

mean liveweight  $57.3 \pm 2.6$  kg, were used. Two animals (numbers 1 and 2) were crossbreds, and two (3 and 4) were straightbreds. The latter had dense fleeces, while those of the crossbreds were open. The sheep were housed in a shed with an open front. Prior to each experiment, water and food were withheld for 48 h to minimize defecation and urination during the experimental period. Also, three other sheep of Targhee breeding with short fleeces were used to measure the maximum water holding capacity of the fleece.

Once every 10-15 days, each animal was exposed for a period of one hour, to artificial rain produced by a rain simulator (12). The rainfall simulator produced uniform drops whose size and terminal velocity closely approximated those of natural rainfall. The intensity of the rain was varied between successive experiments to cover the range of 5.77 to 13.26 cm.h<sup>-1</sup>. Prior to each use, the simulator was calibrated by collecting all the rainfall produced over a period of 5 minutes. The water thus collected was measured volumetrically.

Each animal was weighed at the start and after 5, 15, 30 and 60 minutes of exposure to rain. Before each weighing, 4-5 minutes were allowed for drainage of excess water. The weight of water retained was calculated by difference. Four wool samples (one each from the back, both sides and the belly) were carefully clipped the same time intervals, and were dried for 24 h at 55 °C close to the skin from an area of about 4 cm<sup>2</sup> at C. in an oven with forced air circulation.

At the end of this series of experiments, an estimate of the maximum water holding capacity of these four sheep, together with three others, was obtained by thoroughly spraying the animals with a hose. The difference between the weights before and after hosing was

\* Received for publication February 20th, 1979.

\*\* Department of Animal Science, University of California, Davis, CA 95616. Present address of Dr. Vera: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M. G., Brasil.

Table 1.—Water retained by the fleece in relation to time of exposure to, and intensity of, rain fall.

Time min	Intensity cm h <sup>-1</sup>	Water retained		Animal Nº
		% <sup>a</sup>	kg	
5	8.81	110.55	0.80	2
15		127.02	1.25	
30		172.46	1.48	
60		171.89	1.59	
5	12.62	147.92	1.14	2
15		169.79	1.59	
30		176.23	1.82	
60		290.30	1.93	
5	7.42	81.82	0.91	3
15		104.55	1.36	
30		117.85	1.59	
61		160.66	1.70	
5	5.77	84.11	0.57	3
15		97.05	1.25	
30		107.22	1.59	
53		137.18	2.16	
5	13.26	77.13	0.68	3
15		145.66	1.36	
30		202.20	2.04	
52		161.80	2.04	
5	6.83	71.70	0.91	4
15		105.70	1.59	
30		109.16	2.01	
61		172.90	2.84	
5	11.23	82.13	1.02	4
15		131.87	1.70	
30		137.49	2.38	
60		288.71	2.95	
5	6.22	58.51	0.68	1
15		80.40	1.14	
30		88.74	1.48	
60		138.85	1.70	
5	7.42	84.35	0.80	1
15		96.68	1.02	
30		133.72	1.36	
59		133.88	1.59	
5	10.87	120.05	0.91	1
15		155.28	1.59	
30		146.12	2.04	
55		148.50	2.04	

<sup>a</sup> The mean initial (zero time) content of water was  $9.17 \pm 0.69\%$

taken as the maximum amount of water retained in the fleece. The animals were shorn and the weight of the fleece recorded after completion of all the determinations.

The results were analyzed by standard statistical analysis and by non-linear least squares. For the latter, a computer program based on the algorithm of Nelder and Mead (13) was used. Also, a tentative mathematical model was developed to simulate the effects of rainfall on heat conductivity, water evaporation and heat removal from the fleece

*Results and discussion*

The results of the experiments made under simulated rainfall are summarized in Table 1. They show a clear pattern of a rapid initial increase in the amount of water retained, which then approaches an asymptotic value. The figures for water percentage in the fleece consistently overestimated the amount actually contained. The discrepancy was probably due to the arithmetic mean not weighing correctly the contribution of the four sites sampled.

To represent the experimental observations, the following model was proposed and fitted to the data,

$$Y = (1 - b \exp(-e \text{ TIME})) \quad [1]$$

where Y represents the actual weight or the percentage of water retained, TIME is the length (minutes) of the exposure to rain, and the letters "a", "b" and "e" are parameters. It was further assumed that the rate constant "e", in equation [1], is a linear function of the intensity of the rainfall (INSITY, cm h<sup>-1</sup>) as follows,

$$e = c + d \text{ INSITY} \quad [2]$$

The above model was separately fitted to the pooled data of animals 1, 2 and 3 whose fleeces were much less compact than that of the fourth. The two groups are identified as "open" and "closed" respectively. The values of the parameters are listed in Table 2. No statistics are included in Table 2 for the parameters because convergence was poor when the "jack-knife" technique (11) was applied to the data.

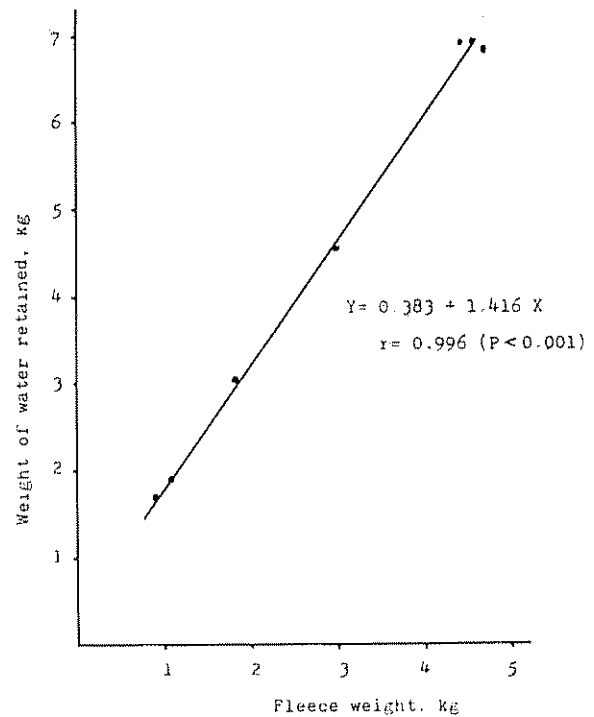


Fig 1—Water retention in sheep's coats, in relation to fleece weight.

The asymptotic parameter "a" in equation [1] appears to depend heavily on the type of fleece involved. In an attempt to identify the factors affecting this asymptotic water-holding capacity of the fleece, maximum weight of water retained by the coat was plotted against fleece weight. The fit in Figure 1 is unexpectedly good, and application of the equation to the range of fleece weights available, 0.91 to 4.73 kg, indicated that water holding capacity is 184-150 per cent of the corresponding fleece weights. The close relationship between fleece and water weights strongly suggests that between-animals differences should be accounted for not in terms of the apparent compactness of the fleece, but rather in terms of fleece weight. Therefore, model [1] was fitted to all the

Table 2.—Value of the parameters of equation [1].

Group	Dependent Variable	Parameters			
		a	b	c	d
Closed	Water weight	4.452	0.799	0.001482	0.001501
	Water %	406.61	0.770	-0.004174	0.001589
Open	Water weight	2.894	0.731	-0.002204	0.001888
	Water %	220.76	0.630	-0.02580	0.0005355

data, substituting the parameter "a" with a linear function of fleece weight (FLEWGT, kg) as follows:

$$Y = (a_1 + a_2 \text{ FLEWGT}) (1 - a_3 \exp (a_4 + a_5 \text{ INSITY) TIME}) \quad [3]$$

The model was fitted to the data, and the jackknife technique was used to calculate the statistics of the parameters. It was then observed that the parameter  $a_3$  did not differ significantly from zero. It was therefore dropped from equation [3], and the modified model was re-fitted to the data. The resulting parameter values and their standard errors are shown in Table 3.

The above data and equations allow for the estimation of the amount of water retained in the fleece as a function of the intensity and duration of rainfall, and the weight of the coat. This in turn, can be used to estimate the effect of rain on the heat exchange of the animal with the surrounding environment, and its impact on the rates of metabolic heat production, if some further considerations are made. In effect a comprehensive treatment of these aspects should at least include the alteration in heat conductivity of the fleece, brought about by the presence of water, the processes of water evaporation and water vapour movement across the coat and the partition, and sources of heat required for drying the coat.

Although the change in heat conductivity of wool fibers when wet, has not been demonstrated explicitly in live animals, it is reasonable to assume that this is the case, as the thermal conductivity of water (6) is several orders of magnitude larger than that of the fleece (3). Thus, to calculate the thermal conductivity of the fiber-air-water assembly, an average of the conductivities of the components, weighted by their respective volumes, could be used as suggested by Hollies and Bogaty (9). Nevertheless, it should be realized that conductivity is also a function of air temperature and fleece length (16, 17).

The second aspect that needs to be considered is the rate of water vapour movement across the fleece and the sources of heat for vaporization. Contradictory views have been expressed as to the source of heat (7, 8, 10) but the experimental evidence provided by Alexander (1) suggests that both the atmosphere and the animal body contribute to the heat required for vaporization. The main unresolved problem in successfully modelling these processes, resides in partitioning the extent to which the skin and the surrounding atmosphere contribute heat, and determining the variables (e.g. air speed and temperature) that alter the above partition.

With only one exception, the movement of water vapour across the fleece has not been studied experimentally. Cena and Monteith (5) measured *in vitro*, and still air, the diffusion resistance for water vapour in the fleece, as a function of fleece length, and showed an asymptotic relationship between both variables. Using their data (read off their Figure 3), the following equation was derived:

Table 3.—Value of the parameters\* and their standard error, in equation [3]

Parameters			
a1	a2	a3	a4
1.408	0.211	0.7962	-0.00556
±0.0145	±0.0048	±0.00259	±0.0000939

\* Rounded-off as suggested by Norton (14)

$$RV = 2973.13 (1 - \exp(-0.0199 \text{ FLELEN})) \quad [4]$$

where RV is diffusion resistance, in  $\text{sec.m}^{-1}$ , and FLELEN is fleece length in mm. Although the fit is extremely good, use of equation [4] is limited by the fact it does not account for the effect of variable air speed. In this respect, evaporation follows laws identical to those governing convection (10). Thus, both convection and evaporation are proportional to the Reynolds number, and in consequence the convection coefficient and the coefficient of mass (water vapour) transfer (i.e. the inverse of RV) hold a constant ratio to each other regardless of air speed (10). This problem was investigated by calculating the convection coefficient HC from information readily generated from an existing model (16). The ratio of HC to the diffusion coefficient HD (inverse of RV, from (4)) was found to be related to fleece length as follows:

$$\text{HC/HD} = 0.3558 + 0.01964 \text{ FLELEN} \quad [5]$$

$$r = 0.94 \quad (P < 0.05)$$

Thus, the above set of formulae and concepts could be used to model the heat balance of a set fleece. The calculations involved thereafter have been extensively discussed by Cena and Monteith (5) and are not further described here. Their application is being currently investigated.

#### Acknowledgements

To Dr. M. Singer, Department of Soils and Plant Nutrition, University of California, Davis, for allowing the use of the rain simulator.

#### Abstract

The effects of simulated rainfall intensity, length of exposure to rainfall and fleece weight on the amount of water retained in the fleece of live sheep, was investigated under laboratory conditions. The weight of water retained increased rapidly towards a plateau. The rate of water retention depended on rainfall intensity. A non-linear model was proposed and

fitted to the data to represent the above interrelationships. The effect of rainfall on the rate of heat loss is discussed.

*Resumen*

Fueron estudiados en condiciones de laboratorio. los efectos de la intensidad de lluvia, tiempo de exposición a la misma y peso del vellón sobre la cantidad de agua retenida por el vellón de ovinos. El peso del agua retenida aumentó rápidamente en forma asintótica. La tasa de retención fue determinada por la intensidad de la lluvia. Un modelo no lineal fue desarrollado y ajustado a los datos experimentales, a fin de representar dichas interacciones. Es discutido el efecto de la lluvia sobre la tasa de pérdida de calor del animal

*Literature cited*

- 1 ALEXANDER, G. Heat production in newborn lambs in relation to type of birth coat *In* Australian Society of Animal Production, 1958. Proceedings 2:10-14
- 2 ———. Heat loss from sheep. *In* Monteith, J. I. and Mount, L. E., eds Heat Loss from Animals and Man. London: Butterworths 1974
- 3 ARMSTRONG, D. G., BLAXTER, K. I., CLAPPERTON, J. I., GRAHAM, N. McC and WAINMAN, F. W. Heat production and emission in two breeds of sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 55:395-401 1960.
- 4 BLAXTER, K. I. The energy metabolism of ruminants London, Hutchinson 1962. 329 p
- 5 CENA, K and MONTEITH, J. I. Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. Proceedings of the Royal Society of London B188: 413-423. 1972.

- 6 C.R.C. HANDBOOK of Chemistry and Physics. Cleveland: The Chemical Rubber Co., 51st edition. 1970-71. 2365 p
- 7 FOURT, I. and HARRIS, M. Physical properties of clothing fabrics. *In* Newburgh, I. H., ed. Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing. Philadelphia: Saunders 1949.
- 8 HARDY, J. D. Heat transfer. *In* Newburgh, I. H., ed. Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing Philadelphia: Saunders. 1949.
- 9 HOLLIES, R. S. and BOGATY, H. Some thermal properties of fabrics II The influence of water content. *Textile Research Journal* 35: 187-190 1965.
- 10 KERSIAKE, D. McC. The stress of hot environments Cambridge University Press 1972 316 p.
- 11 MILLER JR., R. G. An unbalanced jackknife *Annals of Statistics* 2 (5): 580-591 1974.
- 12 MUNN, J. R. Development and use of a portable rainfall simulator to determine erosion characteristics of several soils in the Lake Tahoe basin. M. S. Thesis, Davis, University of California, 1974.
- 13 NELDER, J. A. and MEAD, R. A simplex method for function minimization *Computer Journal* 7 (3): 308-313 1965.
- 14 NORTON, H. W. Opportunities and pitfalls in the mathematics of body-composition studies. *In* Body Composition in Animals and Man Washington, D.C.: National Academy of Sciences, Publication 1598, pp. 137-147. 1968
- 15 VERA, R. R. Energy transactions in sheep; a modelling approach Ph. D. Thesis University of California 1976. 255 p
- 16 ———, KOONG, L. J. and MORRIS, J. G. A model of heat flow in the sheep exposed to high levels of solar radiation *Computer Programs in Biomedicine* 4(3): 214-218. 1975.
- 17 ———, KOONG, L. J. and MORRIS, J. G. A model of the heat exchange of sheep with the environment. *Proceedings of the Western Society of Animal Production* 26: 41-51. 1975.

## Notas y Comentarios

### *Industrias petroquímicas sin petróleo*

El interés del público ante la posible escasez de petróleo se ha centrado en los combustibles derivados, que son importantes para el transporte, la producción de electricidad y la calefacción. Pero, también es grande la preocupación por los productos derivados del petróleo que hoy constituyen la base de las industrias químicas. Esas materias básicas van desde las más simples como el amoníaco y el metanol, hasta los aromáticos (benceno, tolueno y xilenos) y las olefinas: etileno, propileno y butadieno.

En la actualidad, las compañías petroquímicas están tratando de aprovechar los productos menos usados del petróleo: gasoil en lugar de nafta, gas natural en lugar de nafta, gases asociados (etano y otros), que se queman en los campos petroleros, en lugar del gas natural. Pero, ¿qué pasará cuando

estas maniobras no sean suficientes, cuando la producción de petróleo pase su pico en los novecientos noventa y los precios aceleren su alza? La respuesta complaciente es que los combustibles alternos (especialmente nucleares) aliviarán la presión sobre los hidrocarburos y sacarán de apuros a la industria química. El punto de vista alarmista es que la industria química quedará en el aire porque sus costosas fábricas consumidoras de petróleo no tendrán ya materias primas para funcionar.

### *¿Hidrocarburos o carbohidratos?*

Ninguna de estas dos opiniones es correcta, pues una industria cuya razón de ser es la conversión de elementos naturales, debe ser capaz de buscar nuevas materias primas. Más precisamente, tendría que regresar a la química que abandonó hace 40 o 50 años. Porque el futuro encierra dos esperanzas, una verde, la otra negra. Los químicos se dedicaron a hacer productos químicos orgánicos a partir del petróleo y del gas debido a que era más fácil de manipular que el carbón. Ahora tienen que encontrar los medios de hacer que el carbón les sea tan útil como los usurpadores. Eso es la esperanza negra, como la llama *The Economist* (Survey "Chemicals", 7 de abril

de 1979). La esperanza verde consiste en fabricar productos químicos de "biomasa", esto es, de materia vegetal. El uso amplio de la tecnología de la fermentación (con o sin destilación subsiguiente) se apagó con la llegada del petróleo, como se apagó también la tecnología de la destilación de la hulla y otros procesos de transformación del carbón.

La preocupación debe ser si la industria ha pensado lo suficiente sobre los cambios necesarios para desarrollar la eficiente conversión de carbón y de biomasa para producir la gran diversidad de productos petroquímicos.

Hay una variedad de maneras de trabajar con carbón, pero en realidad todos son de dos categorías, gasificación y licuefacción. Al mezclar vapor de agua y oxígeno con carbón, se produce gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. A partir de esto, la química convencional puede obtener metanol, etanol y etileno, o siguiendo otra ruta, formaldehído o ácido acético. Otro cambio pequeño permite producir más hidrógeno para hacer amoníaco. El proceso Fischer-Tropsch usa catalíticos metálicos para convertir el gas en olefinas, parafinas y alcoholes. Otra tecnología más reciente trabaja con metanol obtenido del gas de síntesis para reconstruir hidrocarburos. Pero la gasificación del carbón, aunque por el momento es la mejor forma de obtener productos químicos del carbón, en realidad es un proceso tosco, ya que significa romper moléculas complicadas y después volver a ensamblar las moléculas simples de monóxido de carbono y de hidrógeno en otro conjunto de moléculas complicadas.

La licuefacción del carbón es una alternativa, pero realmente implica hacer del carbón algo parecido al petróleo antes de comenzar las operaciones que ahora empiezan sin esa conversión. Así habrá que esperar una alza drástica en el precio del petróleo, comparado con el del carbón, antes de que sea comercialmente importante. A pesar de esto, algunos proyectos piloto que se han iniciado podrían disminuir el costo de este proceso de pretreamiento.

Un enfoque totalmente diferente para convertir el carbón sería la pirolisis descomponiéndolo al calentarlo en ausencia de oxígeno. El producto final de esta carbonización es el coque, pero rinde además suficiente gas, líquidos y alquitranes como para interesar a la industria química, especialmente si se liga al uso del coque por la industria del hierro y acero. Una variante de la pirolisis es la hidropirolisis en la que se mezcla carbón con hidrógeno bajo alta presión para producir metanol, aromáticos, alquitrán y coque. Lo interesante de la hidropirolisis es que podría también usarse para convertir llantas viejas, madera y basura urbana, con o sin emplear el carbón.

#### *De vegetales a sustancias químicas*

La materia vegetal puede también ser calentada, sometida a presión, o convertida por bacterias para producir materias primas para las industrias químicas, en forma líquida, sólida o gaseosa. Los productos resultantes se pueden usar también como combustible. En el momento actual, el trabajo práctico más avanzado sobre este proceso se está efectuando en Brasil (Cf. *Turrialba* 29: 20). Brasil tiene grandes cantidades de azúcar pero no suficiente cantidad de petróleo o gas. En 1975, el gobierno produjo un plan nacional de alcohol para subsidiar la producción de etanol de caña de azúcar, yuca y otros cultivos. Por el momento, el etano producido del azúcar a través del etanol no es competitivo, pero los brasileños piensan que lo será en la mitad de los novecientos ochenta. Para 1982-83, Brasil estará produciendo unos 3,7 mil millones de litros de alcohol (la producción en 1977 fue de 1,38 mil millones de litros) a partir de biomasa, después de una inversión total de mil millones de dólares. Para 1985, se espera que la producción llegue a 6 mil millones de litros. El uso más grande del etanol así obtenido es en la actualidad para ser mezclado con gasolina para disminuir el consumo de petróleo. Pero una proporción creciente del producto se está usando como materia prima para la industria petroquímica.

Al otro extremo de la industria azucarera, la firma británica Tate and Lyle ha comenzado una planta en Liverpool que usa azúcar para producir productos petroquímicos. La firma está pensando en los mercados inmediatos y en acumular experiencia en esta tecnología.

Uno de los problemas al trabajar a partir de cultivos como el azúcar es estar seguro de que sean lo suficientemente extensos como para abastecer los usos alimenticios e industriales. Se ha estimado que el Brasil podría entre otras cosas, necesitar aumentar sus rendimientos de azúcar y yuca diez veces para tener una industria química viable basada en ellos. Eso en sí mismo presenta un reto a la industria química. En primer lugar, significa aplicar insecticidas, herbicidas y otras sustancias para producir cosechas mayores. A largo plazo, significa el uso de bacterias especialmente seleccionadas para conseguir más productos de la fermentación de una cantidad dada de biomasa (Cf. *Turrialba* 29:174). La industria petroquímica convencional tiene por lo menos una década antes de que tenga que buscar seriamente nuevas materias primas. Más allá de esto, la industria estará compitiendo en un mercado tenso con usuarios de combustibles de petróleo y gas. Sólo el uso masivo de la energía nuclear aliviará esa presión. La industria química puede también recurrir a las esperanzas verde y negra. Pero estas serán valiosas para combustibles si la energía nuclear falla.

#### *Aumentando la eficiencia de la fermentación alcohólica*

Investigadores brasileños están tratando de mejorar el método de producir alcohol por fermentación del azúcar. Han obtenido cepas mutantes de levadura que hacen más eficiente el proceso (*New Scientist* 10 de mayo de 1979, p. 445). La preocupación de los brasileños no es producir bebidas rápida y eficientemente: más bien, cada vez consideran más al alcohol como sustituto de la gasolina, preparándose así para escaseces de petróleo.

Toda la gasolina distribuida en la enorme área urbana de Sao Paulo contiene ya 20 por ciento de alcohol, y la compañía municipal de teléfonos y telecomunicaciones tiene una flota de vehículos motorizados que operan con alcohol puro. Grandes áreas de tierras agrícolas se están reservando para caña de azúcar y yuca para proveer la materia prima para la fermentación (Cf. *Turrialba* 27: 226).

Metry Bacila y Jorge Horil, de la Universidad de São Paulo, han producido los mutantes exponiendo levaduras "tipo silvestre" ordinarias a ciertos agentes químicos, tales como el tinte acriflavina o al detergente sulfato dodecil de sodio. Estas indujeron una mutación permanente del DNA mitocondrial de manera que una enzima clave, la citocromo oxidasa, ya no es sintetizada. Los mitocondrios son inhibidos de llevar a cabo su función normal de agente oxidante, y esto aumenta el porcentaje que fermenta hacia el alcohol. Los investigadores mostraron que para la misma cantidad de azúcar consumida en la fermentación, los mutantes produjeron dos veces más alcohol que las células normales, aunque crecieron mucho más lentamente.

#### *Publicaciones*

*Agricultura Técnica en México*. El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) de México ha puesto en circulación el número 1 del volumen 4 de la revista *Agricultura Técnica en México*, que había dejado de aparecer desde mediados de 1976. El presente número, que ha sido distribuido en febrero de 1979, cubre el período que va de julio de 1976 a diciembre de 1977; el número 2 cubrirá el período de enero a diciembre de 1978 y se anuncia que a partir de 1979 no habrá retrasos pues las autoridades del INIA han puesto su empeño en la regularización y mejoramiento de la revista. Le deseamos a esta revista que tenga éxito en su nueva época y deje atrás la vida accidentada que ha tenido: tiene ya 23 años pero sólo 4 volúmenes (el vol. 3 comprende de 1970 a 1976). La revista aparece con un nuevo formato y con varias innovaciones; el flamante número, de 121 páginas, contiene 9 artículos de investigación que tratan de experimentos sobre algodón, maíz, cocotero, aguacate, cártamo, frijol y sorgo. El director sigue siendo Ruben Hermesdorf.