



Elevado Potencial de los Trópicos para Producir Cereales, Gramíneas Forrajeras y Carne*

G. A. STEWART**

INTRODUCCION

En áreas tropicales, los rendimientos de cereales tales como arroz, sorgo y maíz son bajos en comparación con los rendimientos obtenidos en climas templados¹. Uno se pregunta si tales rendimientos se deben a la poca investigación y a los bajos niveles de tecnología agrícola en los trópicos o si existen limitaciones intrínsecas que impiden el aumento de producción en estas regiones.

En el pasado, algunos científicos con mucha experiencia de los trópicos han opinado que el potencial agrícola de estas regiones se mantendría bajo.

* Traducción del artículo "High potencial productivity of the tropics for cereal crops, grass forage crops, and beef", J. Aust. Inst. Agric. Sci. 36: 85-101 (1970). realizada por Eovaldo Hernández.

** Desde 1960, G. A. Stewart es Jefe de la División of Land Research, CSIRO, Australia. Después de su graduación como B. Agr. en la Universidad de Melbourne, en 1943, trabajó en la División de Suelos del CSIRO y en el año 1946 participó como pedólogo en el "Survey" inicial de la región Katherine-Darwin, en Australia. Obtuvo el grado de M. Agr. Sc. en la Universidad de Melbourne por su trabajo en los suelos del norte de Australia y tiene gran experiencia en los problemas y en la investigación agronómica de esa zona tropical.

Pendleton⁵² hizo notar la baja fertilidad de casi todos los suelos tropicales y la importancia de los árboles en barbecho en una agricultura nómada. El concluyó que el cultivo intensivo no era factible en los trópicos húmedos. Whyte⁵⁷ señaló que las industrias de pastoreo basadas en el uso de pastos tropicales tenían una baja productividad, tanto en calidad como en cantidad. El afirmó que la mejora de los pastizales tenía un límite y enfatizó la necesidad de continuar investigando. Chang²⁵, basándose en datos de fotosíntesis y respiración obtenidos en zonas templadas, predijo una baja productividad para los cultivos de los trópicos húmedos.

Penman⁵³ ha comparado la eficiencia de utilización de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, para los siguientes cultivos: trigo, avena, cebada, centeno, maíz sorgo, millo y arroz. En los trópicos, estos cultivos mostraron bajos niveles de eficiencia, mientras que en las áreas irrigadas del Mediterráneo y en el norte de Europa, la eficiencia fue alta.

Existen, por otra parte, científicos que consideran que el potencial agrícola de los trópicos es elevado. Así, por ejemplo, Vicente-Chandler *et al.*⁶² consideran que "las vastas áreas de los trópicos húmedos, con un clima cálido durante todo el año, alta precipitación y suelos porosos profundos, poseen el mayor potencial del mundo para la producción de pastos y, por consiguiente, para la producción de ganado". Chandler²⁴ afirma que "los trópicos, con temperaturas óptimas para el crecimiento de cultivos durante todo el año, representan la mayor fuente de alimentos sin explotar del mundo actual. En un gran anillo alrededor del globo, ellos constituyen un recurso potencial de alimentos que el hombre, mediante la investigación, puede convertir en un verdadero cuerno de la abundancia".

El objeto del presente artículo es revisar la investigación reciente en agronomía tropical, con el fin de aclarar su potencial. La conclusión es que los trópicos tienen un elevado potencial para producir cereales, gramíneas forrajeras y carne.

ELEVADA RATA DE FOTOSÍNTESIS EN LAS GRAMÍNEAS TROPICALES

Hesketh y Moss³⁷ demostraron que al exponer hojas individuales de maíz a una alta intensidad de luz, su rata de fotosíntesis era elevada. Murata e Iyama⁴⁸ y Murata *et al.*⁴⁹, estudiando plantas completas, demostraron que mientras siete gramíneas tropicales presentaron elevadas ratas de fotosíntesis, tres especies de climas templados mostraron ratas bajas. Desde entonces, muchos investigadores, entre ellos Downes y Hesketh²⁹, han contribuido a definir un número de diferencias existentes entre las gramíneas tropicales y las de clima templado. Estas diferencias se exponen a continuación:

1. Investigadores de Hawaii³⁹ y de Australia³⁵ demostraron que la ruta seguida por el carbono en la fotosíntesis en caña de azúcar era diferente

(C4) a la observada en otras clases de plantas²². Se ha demostrado posteriormente que otras gramíneas tropicales también usan la ruta C4. Las gramíneas tropicales pertenecen a las familias Panicoideae, Chloridoideae y Bambusoideae, mientras que las de zonas templadas están incluidas en las familias Festucoideae y Oryzoideae.

2. Las gramíneas tropicales presentan ratas máximas de fotosíntesis a 30-35°C, las de clima templado a 15-20°C. Cooper y Tainton²⁷ dan ratas fotosintéticas máximas de 50-70 mg dm⁻² hr⁻¹ para las gramíneas tropicales, en comparación con 20-30 mg dm⁻² hr⁻¹ para las de regiones templadas.

3. Las hojas individuales de las gramíneas de clima templado se saturan de luz a niveles relativamente bajos, mientras que las hojas de las gramíneas tropicales se saturan a niveles mucho más altos.

4. Las gramíneas de clima templado tienen altas ratas de fotorrespiración. No así las gramíneas tropicales.

Hasta la fecha, este tipo de investigación se ha realizado a nivel de hoja o planta en ambientes controlados. No se han efectuado experimentos en el campo.

ELEVADA RATA DE CRECIMIENTO DE LAS GRAMINEAS TROPICALES

Se han reunido los datos de ratas máximas de crecimiento de varias fuentes. Para períodos de crecimiento muy cortos (por lo menos 12 días) se presentan en la Tabla 1; para períodos de crecimiento más largos (por lo menos 28 días), en la Tabla 2 y para el período total del cultivo o para todo el año, en la Tabla 3. En la Figura 1 se muestran estos tres períodos de crecimiento en relación con la curva de crecimiento del maíz en Kentucky⁵⁴.

Para la mayor parte de los datos, las ratas de crecimiento pueden darse únicamente en peso seco por unidad de área por día, ya que rara vez se han reportado los datos sobre medidas de radiación para los períodos de crecimiento del cultivo. Los datos existentes en la literatura se incluyen en la Tabla 1. La eficiencia de la utilización de la luz en el crecimiento de las plantas se expresa de dos maneras. La eficiencia de la utilización de la radiación visible, según Watson⁶⁶, ha sido ampliamente utilizada en la literatura, pero su cálculo implica suposiciones sobre la cantidad de luz visible medida y sobre la equivalencia en energía de la materia seca de la planta. Warren Wilson⁶⁵ ha utilizado el crecimiento por unidad de radiación, es decir, gramos x 10⁻⁶ por caloría. Esta cifra es directamente proporcional a los parámetros que en realidad se miden. Normalmente, este valor es 1,125 veces mayor que la primera expresión de la eficiencia.

Las tres mayores ratas de crecimiento de la Tabla 1 corresponden a tres gramíneas tropicales. El panizo (*Pennisetum typhoides*) y el pasto Sudan

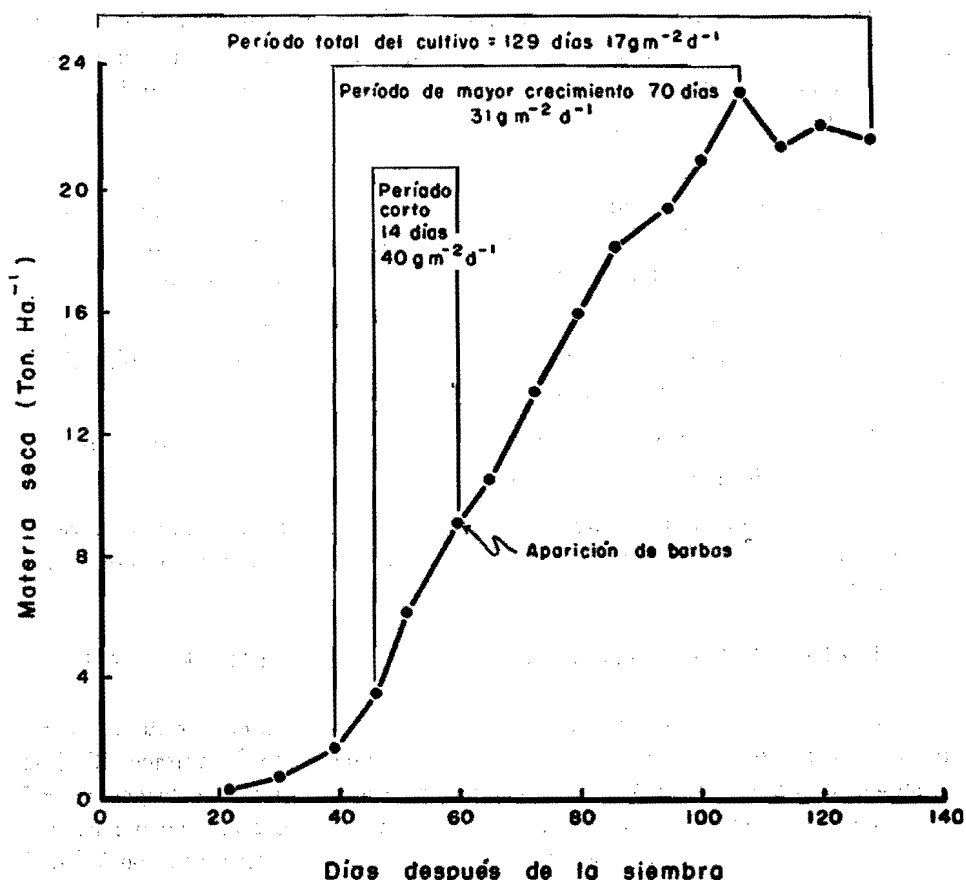


FIG. 1. Curva de crecimiento de maíz en Kentucky (modificada de la referencia 54), mostrando la duración de los periodos de crecimiento para los cuales se dan tasas de crecimiento en las Tablas 1, 2, y 3.

son plantas forrajeras. El cultivo de maíz que dio un alto rendimiento en materia seca⁶⁹ se realizó a una elevada densidad de siembra (700,000 plantas Ha^{-1}). En este ensayo se probó el modelo de estimulación de crecimiento del cultivo de Wit^{70, 71}, desarrollado para cultivos de clima templado en Holanda, encontrándose que dio una máxima tasa de crecimiento estimada de únicamente $23 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, alrededor del 45 por ciento de la máxima tasa de crecimiento medida.

Williams *et al.*⁶⁸ encontraron posteriormente que el máximo rendimiento en grano para el maíz se obtenía con poblaciones más bajas y la cifra de máxima tasa de crecimiento de la Tabla 1 se refiere a poblaciones (48.700 plantas Ha^{-1}) que dan un máximo rendimiento de grano. Las otras tasas de crecimiento para maíz, de alrededor de $30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, corresponden a cultivos con rendimientos razonables de grano. La máxima tasa de crecimiento para maíz obtenida en Holanda corresponde a un maíz de ensilaje con una elevada den-

TABLA 1. Rata máxima de crecimiento durante periodos cortos y eficiencia de utilización de la energía radiante.

Cultivo	Lugar	Periodo de creci- miento	Rata máxima de creci- miento	Radiación promedio	Utilización de la radia- ción visible (400-700 nm)	Eficiencia	Ref.
		Días	gm. ² d. ⁻¹	cal cm. ² d. ⁻¹	%	gx10 ⁻⁶ cal. ⁻¹	
Panizo (<i>Pennisetum typhoides</i>)	Australia, 14°S	14	54	510	9.5	10.6	11
Pasto Sudan	Calif., USA, 39°N	35	51	690	6.7	7.4	41
Maíz	Calif., USA, 39°N	12	49	—	6.4	—	69
Maíz	Kentucky, USA, 38°N	14	40	—	—	—	54
Maíz	Calif., USA, 39°N	13	32	689	4.1	4.6	68
Maíz	Tailandia, 15°N	21	31	—	—	—	9
Maíz	Iowa, USA, 42°N	24	28	—	—	—	30
Maíz	Holanda, 52°N	21	25	—	—	—	57
Caña de Azúcar	Hawaii, USA, 20°N	90	37	401	8.4	9.2	15
Papa	Holanda, 52°N	14	36*	—	—	—	57
Arroz	Japón, 36°N	14	33	—	—	—	47
Remolacha azucarera	Holanda, 52°N	26	31*	—	—	—	57
Remolacha azucarera	Inglaterra, 52°N	12	31*	294	9.5	10.6	66
Algodón	Georgia, USA, 32°N	—	27	—	—	—	13
Arveja	Holanda, 52°N	14	26	—	—	—	57
Trigo de invierno	Holanda, 52°N	14	25	—	—	—	57
Cebada	Inglaterra, 52°N	—	23	484	4.3	4.8	13
Alfalfa	Calif., USA, 39°N	—	23	—	—	—	41
Cebada de primavera	Holanda, 52°N	14	22	—	—	—	57
Avena	Holanda, 52°N	14	22	—	—	—	57
Colinabo (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>)	Inglaterra, 52°N	14	21*	382	4.9	5.5	66
Rye grass	Holanda, 52°N	14	20	—	—	—	57
Batata	Japón, 36°N	21	19*	—	4.0	4.4	60
<i>Stylosanthes humilis</i>	Australia, 14°S	14	13	—	—	—	33
Soya	Iowa, USA, 42°N	28	13	—	—	—	56

* Incluye raíces y/o tubérculos.

sidad de siembra (160.000 plantas Ha^{-1}). Su rata de crecimiento en este clima frío es muy similar a la de las gramíneas de clima templado.

El gran número de resultados reportados por Sibma⁵⁷ proceden de experimentos de máximo rendimiento realizados en Holanda. Los cultivos de raíces de clima templado, tales como papa y remolacha azucarera, donde se cosecha la raíz, crecen más rápidamente que otras plantas de clima templado.

Dos leguminosas de clima templado, arvejas y alfalfa, presentan una máxima rata de crecimiento similar a la de los cereales de los mismos climas; pero los datos obtenidos para soya muestran ratas de crecimiento muy bajas. La única leguminosa tropical para la cual se consiguieron datos tiene una máxima rata de crecimiento muy baja. Henzell³⁶ reportó que las ratas de crecimiento de todas las leguminosas tropicales eran bajas y Ludlow y Wilson⁴³ obtuvieron, bajo condiciones controladas, bajas ratas de crecimiento para Siratro (*Phaseolus atropurpureus*).

En la Tabla 2 se observa la misma tendencia que en la Tabla 1. Las gramíneas tropicales son las que crecen más rápidamente, seguidas por las raíces de clima templado y luego por los cereales, leguminosas y pastos de clima templado. Las únicas excepciones son el arroz (una gramínea que emplea la ruta C3 para el carbono en la fotosíntesis) que tiene una rata de crecimiento moderadamente alta, y una raíz tropical, la batata, que tiene una baja rata de crecimiento.

Para el maíz, la rata de crecimiento durante el período de mayor crecimiento está comprendida entre 17 y $31 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Holanda, con las más bajas temperaturas durante la estación de crecimiento, tiene también las más bajas ratas de crecimiento. Es imposible especificar para el resto de los cultivos el efecto que su constitución genética, la radiación solar, el suministro de agua en el suelo y la temperatura, pueden tener sobre su rata de crecimiento.

Sibma⁵⁷ ha mostrado que, si se tiene en cuenta el crecimiento radicular, la rata de crecimiento durante el período de rápido crecimiento de prácticamente todos los cultivos de Holanda es de aproximadamente $250 \text{ kg Ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, es decir, $25 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En la Tabla 3, los mejores rendimientos corresponden a pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) cultivado en Puerto Rico y en Kenya. Los rendimientos de 24 y $14 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, obtenidos en Puerto Rico, corresponden a suelos tratados con 800 kg N Ha^{-1} y cosechados a los 90 y 60 días, respectivamente. Estos rendimientos se obtuvieron en la región húmeda de la costa norte de la isla. El rendimiento obtenido bajo riego en la región seca de la costa sur fue ligeramente superior, $16 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para una fertilización de 800 kg N Ha^{-1} y cosecha a los 50-60 días.

El panizo (*Pennisetum typhoides*) se cultivó bajo condiciones naturales de precipitación y, a pesar de un período de marchitez debido a la escasez

TABLA 2. Ratas de crecimiento durante el período de crecimiento rápido del cultivo

Cultivo	Lugar	Duración del período de crecimiento rápido	Rata promedio de crecimiento	Referencia
		Días	$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$	
Pasto Sudán	Calif., USA, 39°N	35	51	41
Caña de azúcar	Hawaii, USA, 20°N	90	37	15
Maíz	Kentucky, USA, 38°N	70	31	54
Maíz	Calif., USA, 39°N	35	30	68
Maíz	Tailandia, 15°N	42	29	9
Maíz	Iowa, USA, 42°N	52	23	30
Maíz	Holanda, 52°N	88	17	57
Arroz	Filipinas, 15°N	35	27	4
Panizo (<i>Pennisetum typhoides</i>)	Australia, 14°S	77	25	12
Pasto elefante	Puerto Rico, 18°N	60 (de corte a corte)	23	61
Papas	Holanda, 52°N	84	23*	57
Pasto Bermuda costero	Georgia, USA, 32°N	40 (de corte a corte)	21	21
Remolacha azucarera	Holanda, 52°N	85	21*	57
Arvejas	Holanda, 52°N	43	20	57
Cebada de primavera	Holanda, 52°N	42	18	57
Trigo de invierno	Holanda, 52°N	69	17	57
Avena	Holanda, 52°N	53	17	57
Rye grass	Holanda, 52°N	28 (de corte a corte)	17	2
Batata	Japón, 36°N	42	17*	60

* Incluye raíces y tubérculos.

TABLA 3. Ratas de crecimiento durante el período total de crecimiento o durante todo el año.

Cultivo	Lugar	Período de crecimiento	Rendimiento	Rata pro- medio de crecimiento	Referencia
		Días	Kg Ha ⁻¹	g m ² d ⁻¹	
Pasto elefante	Kenya	365	87.700	24	3
Pasto elefante	Puerto Rico, 18°N	365	86.000	24	61
Pasto elefante	Puerto Rico, 18°N	365	50.000	14	61
Pasto elefante	Puerto Rico (riego), 18°N	365	57.700	16	40
Sorgo forrajero	Calif., USA, 39°N	120	27.400	23	41
Sorgo forrajero	Calif., USA, 39°N	210	42.400	20	41
Sorgo forrajero	Australia, 15°S	83	14.500	17	44
Sorgo forrajero	Australia, 15°S	360	46.300	13	51
Panizo (<i>Pennisetum typhoides</i>)	Australia, 14°S	112	21.735	19	12
Pasto Sudan	Calif., USA, 39°N	160	29.800	19	41
Caña de azúcar	Hawaii, USA, 22°N	365	66.000	18	16
Maíz	Kentucky, USA, 38°N	129	21.900	17	54
Maíz	Calif., USA, 39°N	120	19.200	16	68
Maíz	Tailandia, 15°N	103	14.000	14	9
Maíz	Iowa, USA, 42°N	141	15.700	11	30
Remolacha azucarera	Calif., USA, 39°N	300	42.500	14*	41
Alfalfa	Calif., USA, 39°N	250	32.500	13	41
Rye grass	Holanda, 52°N	186	22.250	12	2
Pasto Bermuda costero	Georgia, USA, 32°N	230	25.800	11	21
Batata	Japón, 36°N	133	13.300*	10	60
Papas	Holanda, 52°N	—	22.100*	—	57
Remolacha azucarera	Holanda, 52°N	—	21.800*	—	57
Girasol	Inglaterra, 52°N	—	20.000	—	13
<i>Fagus sylvatica</i>	Dinamarca, 56°N	—	23.500	—	13
<i>Pinus sylvestris</i>	Inglaterra, 52°N	—	22.000	—	13

* Incluye raíces y/o tubérculos

de agua, maduró hasta producir grano y mantener un rendimiento de $19 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

La caña de azúcar tiene una elevada rata de crecimiento durante todo el año. Usando su tallo como órgano de almacenaje de los productos de la fotosíntesis, la caña de azúcar logra una ventaja similar a la de las raíces cultivadas de clima templado. Hasta la fecha, la caña de azúcar se ha cultivado primariamente como una fuente de sacarosa, pero podría ser posible hacer un mayor uso de su propiedad de auto-almacenaje para emplearla como cultivo forrajero que puede cosecharse cuando haga falta.

Los cultivos bajo riego durante los cálidos veranos californianos, con niveles de radiación muy altos, presentan altas ratas de crecimiento. Sin embargo, el crecimiento está limitado a una parte del año y los más elevados rendimientos por hectárea por año estuvieron por debajo de la mitad del máximo rendimiento anual en los trópicos.

La rata promedio de crecimiento para el maíz estuvo por debajo de la mitad de su rata de crecimiento durante el período de máximo crecimiento. Si esta misma relación fuera válida para el maíz y los cereales en Holanda, su rata promedio de crecimiento sería únicamente $8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los rendimientos de los cultivos de climas templado-fríos presentados en la Tabla 3 están todos alrededor de $22.000 \text{ kg Ha}^{-1}$, al igual que los dos árboles de clima templado. Alberda² ha indicado que estos rendimientos experimentales son por lo menos el doble de los rendimientos obtenidos normalmente en Holanda y Europa Occidental.

Así que, aunque la cantidad de investigación sobre la productividad de los cultivos tropicales es muy inferior a la realizada con cultivos de clima templado, prácticamente todos los datos sobre productividades muy altas y la mayor parte de los récords de utilización de la energía radiante favorecen a las gramíneas tropicales. Puesto que las gramíneas tropicales pueden utilizarse de varios modos, pastoreo, forraje, grano e industrialmente (p. ej., la caña de azúcar), es evidente que continuará la investigación dirigida a aprovechar el alto potencial fotosintético de las mismas.

ALTOS RENDIMIENTOS DE GRANO EN LOS TROPICOS

El arroz usa una ruta fotosintética similar a la de las gramíneas de clima templado, pero durante su larga historia como planta cultivada se ha adaptado a los ambientes tropicales del sureste asiático. Sus rendimientos en países tropicales han sido muy bajos comparados con los obtenidos en países de la zona templada tales como España, Italia, Japón y el sur de Australia⁷. La investigación y los desarrollos recientes en el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), en las Filipinas, han demostrado que los rendimientos de arroz pueden aumentarse dramáticamente mediante la apli-

cación de nueva tecnología. Aunque el programa de investigación en el IRRI apenas comenzó en 1962, las nuevas variedades de arroz IR5 e IR8 están contribuyendo ya de un modo muy significativo al aumento de la producción arrocería en las Filipinas y en otros países²⁴. Las nuevas variedades son de maduración temprana, insensibles al fotoperíodo, tienen un tallo corto y rígido y responden bien a los fertilizantes. Para lograr el máximo rendimiento de estas nuevas variedades se requiere un nivel apropiado de fertilización, buenas prácticas de manejo en forma de una cuidadosa preparación de la tierra, buen control del agua y control de insectos y enfermedades.

También se está progresando considerablemente en el desarrollo de variedades de maíz y sorgo con rendimientos superiores a los de las variedades tradicionales¹⁰.

En la Tabla 4 se muestran los altos rendimientos experimentales obtenidos en cultivos de estación húmeda y de estación seca en el IRRI, un cultivo de estación seca en el norte de Australia y un cultivo en el semiárido sur de Australia. El rendimiento por cultivo fue superior en el sur de Australia. Sin embargo, el rendimiento de grano por día, para el período de duración del cultivo, fue mayor para el cultivo de estación seca en los trópicos. La eficiencia de producción del cultivo, expresada en rendimiento en grano por unidad de radiación, fue aproximadamente igual para el cultivo de estación húmeda que para el de estación seca, en los trópicos, y esta eficiencia fue un 50 por ciento más alta que la observada en el sur de Australia. Probablemente, la diferencia fue debida a los elevados niveles de radiación existentes en el sur de Australia, niveles que quizá estuvieron muy por arriba del necesario para la saturación por la luz. Es decir, que contrariamente a la opinión común²⁵ de que las plantas en los trópicos deberían tener altas ratas de respiración y bajas ratas de crecimiento neto, este cereal de clima templado fue más eficiente en la utilización de la radiación en los trópicos que en la zona templada seca.

En la Tabla 4 también se presentan datos para los cereales de tipo tropical, maíz y sorgo. En los experimentos con maíz de las Tablas 1, 2 y 3, el rendimiento en grano por día fue superior para el cultivo en Tailandia que para los cultivos de Iowa y California. Una búsqueda limitada en la literatura de datos de duración de cultivos para experimentos con rendimientos superiores a los 13.500 kg Ha⁻¹ no tuvo éxito. Los únicos datos donde el rendimiento fue superior a los 13.500 kg Ha⁻¹ fueron los del agricultor Hight³⁸. El comenzó la siembra el 20 de abril de 1965 y la cosecha el 30 de agosto, cuando el grano tenía un 30.4 por ciento de humedad. Para las primeras 32.4 hectáreas, obtuvo un rendimiento de 14,200 kg Ha⁻¹, lo que equivale a 10.8 gm⁻² d⁻¹.

Los resultados experimentales sobre maíz en Tailandia⁹ indican que una cosecha temprana con un alto contenido de humedad y niveles superio-

res de aplicación de N pueden producir rendimientos por día comparables a los del área maicera de los Estados Unidos. La Figura 2 muestra que el máximo rendimiento en materia seca se alcanzó a los 91 días y el máximo peso de grano también debió obtenerse en esa fecha, el período de 12 días que siguió, ocasionó solamente un descenso en el contenido de humedad. De modo que una cosecha temprana a los 91 días habría dado un rendimiento en grano de $7.8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la Figura 3 se observan los resultados de un experimento de respuesta al nitrógeno realizado durante la misma estación del experimento de la Figura 2. La aplicación máxima de N no fue suficiente para conseguir el rendimiento máximo y una extrapolación conservadora de la curva indica un rendimiento probable de unos 9.000 kg Ha^{-1} . Es decir, ligeramente por debajo de $10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y, por consiguiente, del orden de los altos rendimientos obtenidos en la región maicera de Estados Unidos.

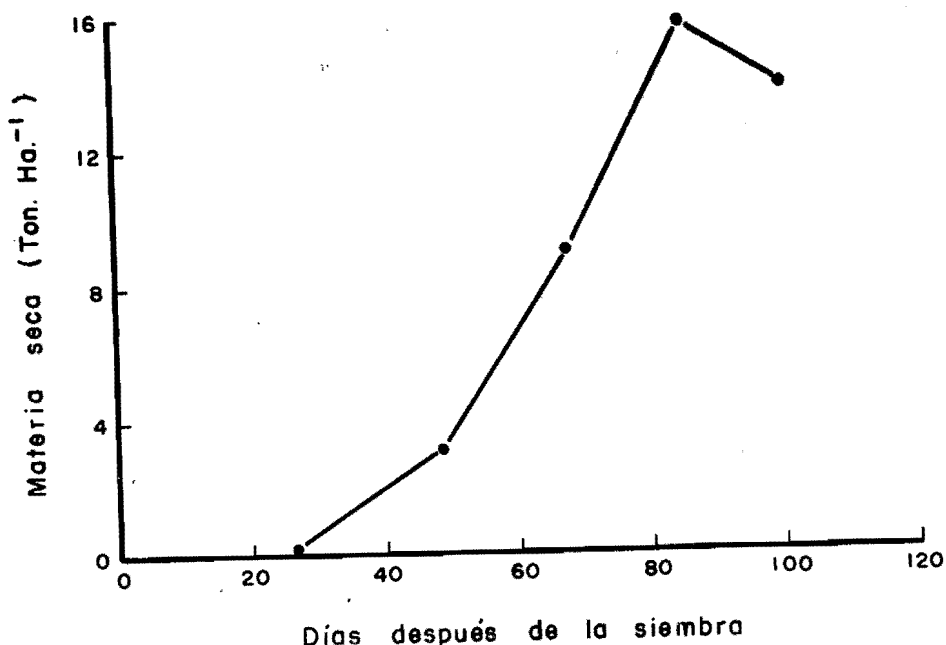


FIG. 2. Curva de crecimiento de maíz (híbrido Pioneer 309 B con $112 \text{ Kg. de N.Ha}^{-1}$) en Tailandia (Referencia 9).

Bradfield¹⁸ ha reportado altos rendimientos de sorgo en el IRRI. El rendimiento presentado en la Tabla 4, se refiere a la primera soca. La duración total de este cultivo no aparece en el trabajo, pero la cifra que generalmente se da para una primera soca es de 80 días. Sobre esta base, el rendimiento por día está únicamente por debajo del obtenido por el agricultor de la zona maicera de Estados Unidos.

El maíz de Tailandia y el sorgo del IRRI fueron cultivos de la estación seca. Los rendimientos durante la estación de lluvias deberían ser inferiores debido a los más bajos niveles de radiación y a una duración ligeramente más corta del cultivo a causa de las temperaturas más altas. Usando

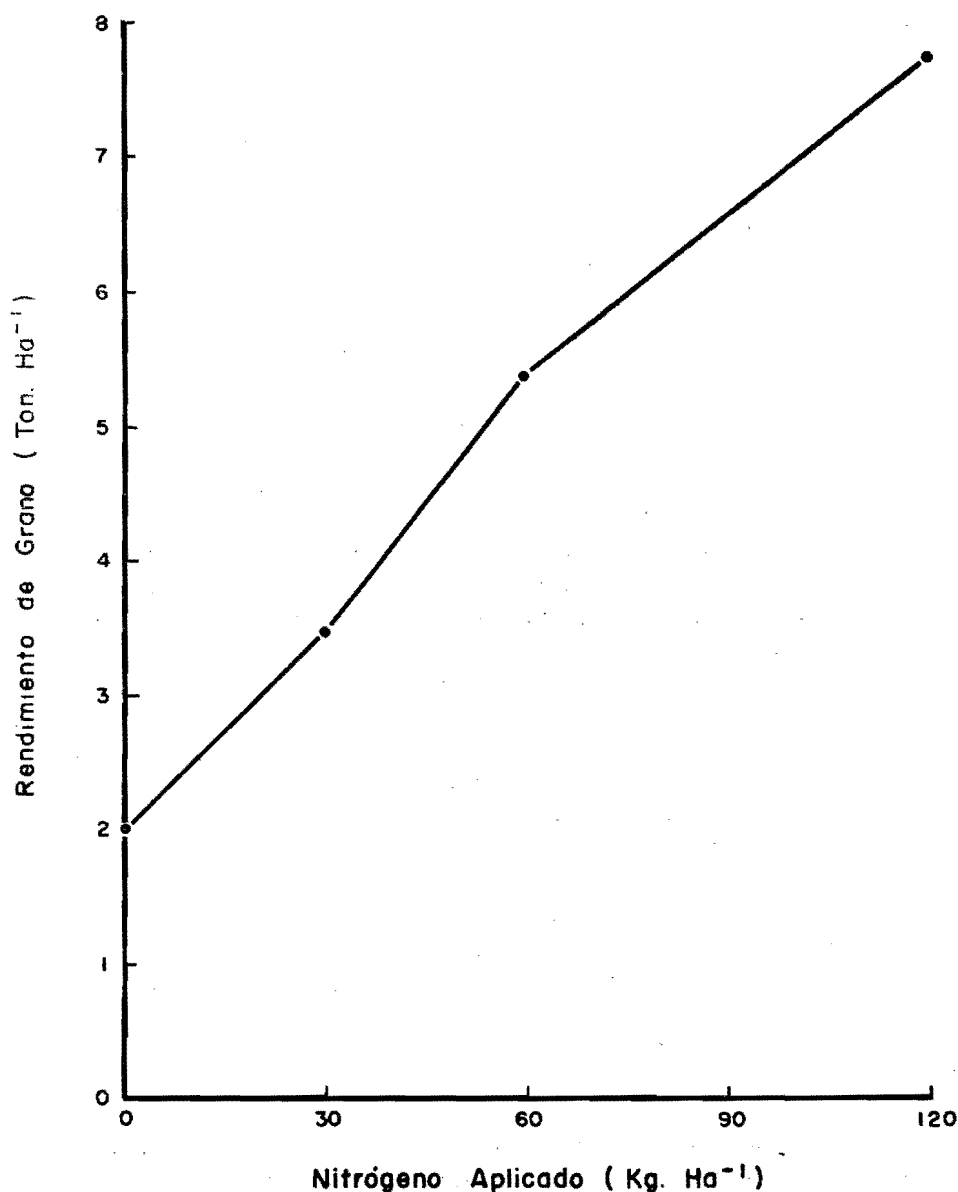


FIG. 3. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de maíz en grano (híbrido Pioneer 309 B) en Tailandia (Referencia 9).

el comportamiento del arroz como guía, un rendimiento para el maíz de 6.000 Kg Ha⁻¹ durante la estación de lluvias sería bastante bueno.

Si se tiene en cuenta la cantidad de cáscara del arroz (aprox. 28%), se observará que los rendimientos de maíz y sorgo por día son superiores a los del arroz sin gluma, con la sola excepción del maíz de California. Esta aparente capacidad del maíz y del sorgo para producir rendimientos superiores es probablemente el resultado de la ruta fotosintética de C4.

Las eficiencias citadas por Penman⁵³ se diferencian de las mencionadas al comienzo de este trabajo en que ellas no se basan en los rendimientos experimentales, sino en el promedio nacional de los rendimientos de las granjas para cereales y arroz. Los rendimientos en grano se multiplicaron por dos para obtener la producción aproximada de materia seca, luego se convirtieron en energía en base a 4.000 calorías por gramo, y finalmente se dividieron por la radiación anual estimada. Las eficiencias así calculadas se prestan a falsas interpretaciones por dos razones:

- a) El uso de la radiación anual total ha favorecido las áreas que reciben alrededor del 65 por ciento de su radiación (por ejemplo, las áreas irrigadas del Mediterráneo y del norte de Europa) durante la parte del año que corresponde al crecimiento del cultivo, a expensas de otras partes que reciben sólo entre el 35 y el 40 por ciento de su radiación anual durante el período normal del cultivo (p.ej. arroz durante la estación lluviosa en las bajas latitudes de los trópicos y trigo, etc., como un cultivo de invierno-primavera en los países mediterráneos).
- b) La supuesta relación grano: paja de uno, es razonable para las modernas variedades de alto rendimiento, pero la mayor parte de los cultivos en los trópicos presentan una relación grano: paja de alrededor de 1:2.

Si el rendimiento promedio del cultivo se relaciona únicamente con la radiación durante su período de crecimiento y si se supone que los niveles de radiación de la Tabla 4 son razonablemente representativos de los cultivos comerciales de arroz para 1962-65, en las Filipinas (estación lluviosa) y en el sur de Australia, las eficiencias que se obtienen son muy diferentes.

El rendimiento de las Filipinas de 1.250 Kg. Ha⁻¹ y la radiación durante 140 días de 356 cal cm⁻² d⁻¹ dan una eficiencia de 20×10^{-4} para una relación grano: paja de 1:1, o de 30×10^{-4} para una relación grano: paja de 1:2.

Del rendimiento en Australia de 6050 Kg Ha⁻¹ y de la radiación de 114.000 cal cm⁻² se obtiene una eficiencia de 40×10^{-4} para una relación grano: paja de 1:1.

De modo que la actual diferencia está lejos de la relación 5:1 reportada por Penman.

Desde el punto de vista de la eficiencia potencial para producir grano, tal como se ilustra con los máximos rendimientos experimentales de la Tabla 4, la eficiencia de utilización de la radiación en los trópicos es mayor que la de las zonas templadas, del orden de 1,5:1.

CULTIVO INTENSIVO EN LOS TROPICOS

Los trópicos tienen altas temperaturas durante todo el año y, si se dispone de agua, los cultivos pueden crecer, igualmente, durante todo el año. En la mayoría de los países tropicales este potencial no es aprovechado. Hay tres principios importantes que deben tenerse presentes cuando se buscan beneficios máximos: cultivo múltiple, siembra en serie y máxima producción por día. A continuación los discutimos.

El cultivo múltiple tiene por objeto el crecimiento de varias cosechas por año y la reducción a un mínimo del número de días que la tierra está en barbecho. La ventaja económica del cultivo múltiple es que los costos fijos de la finca se reparten entre varios cultivos, con lo que se reduce el costo de producción por cultivo. En estudios económicos preliminares de los costos de producción de cultivos que usan agua de elevado precio, obtenida evaporando el agua de mar con energía nuclear, se le ha dado considerable énfasis a este factor⁷.

En el IRRI, Bradfield¹⁸ ha realizado investigación sobre cultivos múltiples con arroz, hortalizas, soya, maíz dulce, maíz, sorgo granero y batata. El describe un calendario de cultivos en el cual se cosechan 5 cultivos (arroz, batatas, soya seca, maíz dulce, soya verde) en un año. Varios cultivos se superponen al sembrar uno antes de cosechar el anterior. Aparentemente todas las operaciones en este sistema podrían mecanizarse. Las socas tienen un lugar importante en los cultivos múltiples. En el IRRI se han obtenido muy buenos resultados con sorgo granero cultivado en socas; se han conseguido hasta 3 cosechas de una siembra¹⁸. En el sur de Texas, las variedades de arroz de maduración temprana se cultivan en socas³². En la cuenca del río Ord, en el norte de Australia, se han hecho siembras experimentales, durante un año, de un cultivo de algodón más una soca⁴⁹. Los granjeros comerciales han preferido, sin embargo, cultivar algodón de soca ("stub cotton") en el cual la segunda cosecha se pospone hasta el segundo año.

La siembra en serie consiste en sembrar (y, por consiguiente, cosechar) cultivos tantos días del año como sea posible. El cultivo múltiple, de

por sí, puede ocasionar altas y bajas en la demanda de mano de obra, lo cual tenderá a alargar el período durante el cual la tierra no se cultiva. La siembra en serie distribuye la demanda de mano de obra de un modo más uniforme, aunque siempre ocurrirán algunas variaciones a causa de las diferencias en la duración de los distintos cultivos.

En las zonas templadas se realiza normalmente un solo cultivo al año y el objetivo de la investigación y del manejo es aumentar el rendimiento por cultivo. En los trópicos, con su capacidad para el crecimiento de plantas durante todo el año, se debe prestar atención tanto a la producción por día como a la producción por cultivo.

Una de las formas que el énfasis en la producción por día podría tomar sería la cosecha de granos tan pronto como alcancen su máximo peso seco, ya que el secado del grano es relativamente barato y sería, de todos modos, probablemente necesario en los trópicos. Esta práctica se realiza con el arroz, cuyo grano parece crecer poco a concentraciones de humedad por debajo de 27 por ciento⁴⁶ y en cuyo cultivo se recomienda la cosecha al alcanzar 27 por ciento de humedad, para evitar pérdidas cualitativas debidas a quebraduras de los granos y pérdidas cuantitativas debidas a caída del grano.

Gesslin³⁴ ha efectuado en Suecia investigaciones extensivas sobre las etapas de maduración de los cereales de clima templado. El demostró que el peso del grano era máximo para trigo, cebada y avena cuando su contenido de humedad era superior a 37%, 33% y 23%, respectivamente. Cuando se alcanzó el máximo peso seco del grano, los cultivos no habían llegado aun a la etapa de "madurez amarilla" y algunas partes del grano eran todavía de color verde. Para el trigo, el lapso entre el peso máximo del grano y la madurez adecuada para su cosecha con una combinada fue aproximadamente de 12 días.

Para el maíz, Shaw y Thom⁵⁵ demostraron que el máximo peso seco de los granos se alcanzaba a contenidos de humedad de 30,37 y 42% para las variedades temprana, media y tardía, respectivamente. El período entre la aparición de las barbas y el momento de máximo peso seco del grano fue normalmente de 51 días y no pareció variar con la temperatura. El límite superior de humedad para el almacenaje del grano en los Estados Unidos es de 22% y, generalmente, la cosecha comercial se pospone hasta que el grano haya alcanzado ese contenido de humedad. Así, por ejemplo, los datos de la Figura 1 indican que la materia seca total, y quizá también el máximo peso seco del grano, se obtuvo, aproximadamente, a las 7 semanas de la aparición de las barbas, dejando pasar luego 3 semanas para que el grano se secase.

En la producción de semilla de maíz híbrido¹, el costo del secado es pequeño en comparación con el valor del grano de semilla. La cosecha se comienza cuando el contenido de humedad es alto, el grano se seca artificial-

mente en la mazorca hasta un 12% de humedad y luego se desgrana. Aparentemente es poco el daño mecánico que se hace al cosechar grano conteniendo hasta un 30% de humedad.

Daynard y Duncan²⁸ han mostrado recientemente que el máximo tamaño del grano de maíz lo indica el desarrollo de una capa negra en la región placentar del grano, la cual se puede detectar fácilmente a simple vista.

Posiblemente, el acortamiento de la duración del cultivo mediante la cosecha de maíz con alto contenido de humedad, no sea agriculturalmente significativo en la zona maicera de Estados Unidos, debido al corto lapso que transcurre desde su cosecha hasta el período "sin cultivo" del invierno. En los trópicos, sin embargo, tal disminución del período del cultivo sin pérdida en el rendimiento sería muy útil, ya que se dispondría de tiempo extra para realizar otras cosechas.

En sorgo granero, la cosecha mecánica cuando el contenido de humedad es superior al 18 por ciento, ocasiona considerable daño al grano¹⁷. Las panochas que se separaron de las plantas cuando su contenido de humedad era de 26 y 30 por ciento, dieron un peso de grano igual o superior al de otros tratamientos¹⁷, lo que sugiere que alcanzaron la madurez cuando su contenido de humedad estaba alrededor del 30 por ciento. Bradfield (comunicación personal) cosechó a mano sorgo experimental con alto contenido de humedad, con lo que redujo significativamente la duración del cultivo y aumentó, de este modo, la producción de grano por día.

Por consiguiente, parece deseable el desarrollo de maquinaria cosechadora simple, que corte y separe las espigas y panochas de los cereales. Estas espigas y panochas podrían ser secadas luego hasta un nivel de humedad que sea seguro para la trilla y el almacenaje. Este sistema tendría la ventaja de que la paja envejecería menos y sería probablemente de mejor calidad como forraje animal.

Los beneficios económicos de dos formas de alta producción de un cultivo por día son evidentes:

- La Variedad B tiene la misma duración de crecimiento y el mismo costo de manejo que la Variedad A, pero su rendimiento es 5.5 Ton/Ha, en comparación con 5.0 Ton/Ha para la Variedad A. Si el precio es de Bs. 180 por tonelada, la Variedad B producirá Bs. 90 más que la Variedad A. Como los costos son los mismos, la ganancia habrá aumentado en Bs. 90 por hectárea.
- La Variedad C da el mismo rendimiento que la Variedad A y tiene una duración de cultivo de 100 días, comparada con 105 días para la Variedad A; los costos del cultivo son los mismos para las dos variedades. Si se aprovecha la diferencia en el tiem-

po de maduración para cultivar más, la ganancia debida al incremento del cultivo podría ser atribuida directamente a la variedad de maduración más temprana.

En situaciones más complejas se presentan cambios en los costos de manejo, así como en la duración y/o rendimiento de un cultivo. No hay modos simples de determinar el balance económico de estos cambios. Se hace necesario preparar presupuesto para ver si el cambio en los costos de producción por unidad de área por año es inferior al aumento de ingresos por unidad de área por año.

ALTOS RENDIMIENTOS DE CARNE EN LOS TROPICOS

Vicente - Chandler *et al.*⁶² han publicado un excelente resumen de sus experimentos sobre manejo intensivo de pastos tropicales en Puerto Rico. Ellos afirman que "El mayor potencial del mundo para producir pastos y, por consiguiente, para producir ganado está en las vastas áreas de los trópicos húmedos con clima cálido durante todo el año, elevada precipitación y suelos porosos profundos. Bajo estas condiciones, el manejo intensivo de pastos tropicales descrito en este Boletín, resultó en rendimientos anuales de más de 45.000 Kg. de forraje de buena calidad (333 toneladas de forraje verde) por hectárea, una capacidad de carga de hasta 10 vacas por hectárea en pasto de corte y 5 vacas en pastoreo y en una producción anual de más de 1.120 Kg. de carne por hectárea en empinados suelos de montaña".

"Las prácticas recomendadas incluyen: siembra de pastos nutritivos de elevado rendimiento; control de insectos y enfermedades; fertilización y encalado intensos; control de malezas y ciega adecuados; corte y pastoreo a intervalos y alturas adecuados; sistemas intensivos de pastoreo; conservación del forraje para su uso durante las estaciones de crecimiento lento; manejo adecuado para igualar las variaciones estacionales en el crecimiento y alimentación y cuidado adecuado del ganado. Es esencial realizar todas las prácticas requeridas de un modo apropiado y en la época adecuada".

En la Tabla 5, tomada de Vicente - Chandler *et al.*⁶², se ilustra el nivel de productividad conseguido en varios ambientes de Puerto Rico. En la región montañosa húmeda, los pastizales experimentales estaban en pendientes de 35 a 45 por ciento. De modo que no competían con cultivos agrícolas en tierras más llanas, sino que producían buenos pastos y protegían contra la erosión las tierras de elevada pendiente. Aún más, la producción promedio de los tres mejores pastos en estas tierras, fue un 77 por ciento de la obtenida en las costosas tierras planas bajo riego de la costa sur. El máximo rendimiento obtenido al alimentar novillos con pasto elefante cortado fue de 2.240 Kg. de ganancia de peso vivo por hectárea en la costa sur, bajo riego.

Se han reportado rendimientos de más de 1.120 Kg. de ganancias de peso vivo por hectárea en pastizales altamente fertilizados de gramíneas tropicales en Florida²⁶, Jamaica⁴⁵, Beerwah (sur de Queensland)³¹ y Parada (norte de Queensland)⁶.

En general, la rata de ganancia de peso vivo durante el año promedió entre 450 y 680 g/día. Hensell³⁶ ha comentado el bajo contenido de energía de las gramíneas tropicales. Ludlow⁴² ha señalado que las gramíneas tropicales con las hojas más verticales, las cuales parecen deseables para una alta eficiencia de utilización de la luz, tienen el más elevado contenido de sílice y la más baja digestibilidad. Es obvio que la digestibilidad de las gramíneas tropicales merece un esfuerzo investigativo considerable.

Para producir elevados rendimientos de pastos se tienen que aplicar fertilizantes en dosis altas. Vicente-Chandler *et al.*⁴² recomendaron 5 toneladas por hectárea de 14:4:10 para pasto de corte, y hasta 2.5 toneladas del mismo fertilizante en condiciones de pastoreo. Evans³¹ aplicó 450 y 900 Kg N/Ha, 48 Kg P/Ha y 125 kg K/Ha. Vicente-Chandler *et al.*⁴² han mostrado que las altas aplicaciones de N en forma de sulfato amónico causan un gran descenso del pH. Se necesitó alrededor de 1 tonelada de cal por cada tonelada de fertilizante conteniendo sulfato amónico para mantener el pH del suelo superficial cercano a 5.5.

En Puerto Rico, la producción de carne en pastizales de gramíneas y leguminosas de capin melao (*Melinis minutiflora* Beauv.) y Kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides* Bent) dio un aumento en peso vivo de 560 Kg por hectárea (ver Tabla 5), pero la cantidad de P y K aplicada fue la mitad de la usada en pastizales de gramíneas puras. Bryan²⁰ reportó que pastizales de gramíneas y leguminosas en Beerwah, en el sur de Queensland, produjeron ganancias anuales de peso vivo de 157 a 425 Kg por hectárea.

Bajo las condiciones económicas de Puerto Rico⁴², la aplicación de altos niveles de nitrógeno es altamente económica.

Henzell³⁶ ha indicado que el precio en 1967 del fertilizante nitrogenado era demasiado alto para justificar su uso en la producción de carne en Queensland. El reconoce que los costos del fertilizante nitrogenado pueden bajar debido a la construcción en Australia de plantas de nitrógeno sintético grandes y eficientes. Además, la tendencia a largo plazo de los precios reducirá probablemente el costo del nitrógeno en relación con los ingresos de la producción de los pastos.

LA UREA COMO SUSTITUTO PROTEICO EN LA ALIMENTACION DE RUMIANTES

Desde el siglo pasado se sabe que los compuestos nitrogenados no-proteicos pueden ser utilizados por los rumiantes⁵⁸ y en 1924 se demostró expe-

TABLA 5. Productividad que puede esperarse en pastizales bajo cultivo intensivo* en diferentes regiones de Puerto Rico con fertilización y manejo casi óptimo

Región y Pasto	Cosecha por Corte (forrajero**)		Cosecha por Pastoreo		
	Total anual	Nutrientes digeribles totales*** consumidos por el ganado	Forraje seco consumido anualmente por el ganado	Nutrientes digeribles totales consumidos por el ganado	Ganancia anual de peso
	Kg. Ha ⁻¹	Kg. Ha ⁻¹	Kg. Ha ⁻¹	Kg. Ha ⁻¹	Kg. Ha ⁻¹
Región montañosa húmeda					
Elefante	32.500	13.000	12.300	7.000	1.000
Guinea	28.000	11.600	13.400	7.800	1.100
Pangola	28.000	11.200	12.300	7.200	1.000
Pará	28.000	11.200	9.000	5.000	750
Capin melao	14.600	5.800	7.800	4.500	600
Kudzú capin melao (45 Kg P ₂ O ₅ y 112 Kg K)	10.100	4.000	6.700	3.700	500
Costa norte húmeda					
Elefante	43.000	17.000	15.000	8.500	1.200
Guinea	35.000	14.300	17.000	10.000	1.350
Pangola	34.000	13.400	14.600	8.500	1.200
Pará	30.000	12.000	12.300	5.600	750
Costa sur bajo riego					
Elefante	51.000	20.600	18.000	10.400	1.500
Guinea	43.000	17.000	18.000	11.000	1.500
Pangola	34.000	13.700	15.000	8.900	1.200
Costa sur semiárida					
Guinea (670 Kg 14:4:10)	13.400	5.400	5.000	2.900	400

* Alrededor de 5 Ton Ha⁻¹ anualmente de fertilizante 14:4:10 en pastos para corte y 2.5 Ton Ha⁻¹ bajo pastoreo, excepto donde se indica.

** Para obtener los rendimientos aproximados de forraje verde se multiplicó por 6 para el pasto elefante y por 5 para los demás pastos.

*** Suponiendo que se pierde 20% al comer y que la digestibilidad del forraje consumido es 50%.

rimentales que se podía reemplazar 30 a 40 por ciento de la proteína en las raciones de ovejas por urea. Sin embargo, los resultados experimentales durante muchos años fueron bastante variables y la alimentación práctica de rumiantes con urea se mantuvo a un nivel muy bajo.

El reconocimiento básico de la nutrición nitrogenada de los rumiantes ha avanzado recientemente y se sabe⁶³ que los rumiantes pueden obtener todo su nitrógeno de fuentes no - proteicas. Sin embargo, la productividad de los animales con una dieta con nitrógeno no - proteico, en términos de producción de leche o de ganancia de peso vivo, es sólo un 65 por ciento de la de animales con dietas de nitrógeno proteico⁶⁰.

Se sabe bastante sobre los aspectos prácticos del uso de la urea como alimento y Stangel⁶⁴ ha estimado que el consumo mundial de urea por los rumiantes ha aumentado de 95.000 toneladas en 1960 a 200.000 toneladas en 1965. Recientemente se han publicado varios resúmenes sobre el uso de la urea en la alimentación de rumiantes^{19, 23, 64}.

La urea podría ser particularmente útil en los trópicos como un suplemento de la paja después de cosechar el grano.

Para aprovechar el crecimiento durante todo el año, será necesario utilizar la paja inmediatamente después de cosechar el grano para poder sembrar el siguiente cultivo. Cuando el grano haya alcanzado su máximo peso seco la paja de maíz, sorgo y arroz estará demasiado verde para quemarla. Habrá dos alternativas para desasirse de la paja: cortarla y enterrarla en el suelo o cosecharla para alimentar el ganado. El contenido en proteína de la paja es de 3 a 5 por ciento y podría tener mayor valor alimenticio que las tusas de maíz, las cuales han sido usadas con éxito en Iowa para engordar ganado (R. Garst, comunicación personal), cuando se suplementan con urea, minerales y vitaminas.

Debería ser posible obtener por lo menos 3 cosechas por año de maíz, sorgo o arroz y cada cosecha debería dar un mínimo de 5 toneladas por hectárea de materia seca de paja. Si esta paja, después de suplementarla hasta un 8-10% de proteína, es equivalente a los pastos de corte de Puerto Rico⁶² podríamos esperar una ganancia de peso vivo de 800 Kg. Ha⁻¹ y una capacidad de carga de 4 - 5 cabezas por hectárea. Si el consumo diario de materia seca es de 7 Kg, el 5 por ciento de la proteína (es decir, 0.35 Kg de proteína) podría ser suministrado por 0.8 Kg de sorgo granero y 0.1 Kg de urea. Este tipo de alimentación estaría dirigido a obtener el máximo provecho de cada kilogramo de sorgo granero consumido, con la mayor parte de la dieta formada por materiales que no tienen valor como alimento humano y que serían desechados si no se utilizan para engordar ganado. Tal práctica estaría completamente de acuerdo con las conclusiones de Chalupa²³ al revisar el uso de urea en la alimentación de rumiantes. El concluyó:

“Desde el punto de vista económico, no solamente es importante el uso de fuentes de nitrógeno no - proteico, en lugar de proteínas, sino también derivar una porción considerable de los carbohidratos de la dieta de fuentes que no pueden ser utilizadas directamente por el hombre. Por ello se hace necesario el uso exitoso de nitrógeno no - proteico junto con forrajes y carbohidratos residuales que están siendo actualmente desechados o utilizados con un costo adicional. Si algunas fuentes de nitrógeno no - proteico y de energía no-utilizables por el hombre van a ser usadas de modo rutinario en la alimentación de rumiantes, se hace necesario el desarrollo de nuevas especies de forrajes con mayores cantidades de carbohidratos disponibles y el desarrollo de una tecnología que aumente la disponibilidad de carbohidratos en productos de desecho”.

CONCLUSIONES

La afirmación al comienzo de este trabajo de que los rendimientos de cereales son bajos en los trópicos, en comparación con los rendimientos de las zonas templadas, es verdad tanto en cultivos comerciales, como experimentales, si el criterio es el de rendimiento máximo por cultivo. Sin embargo, en los trópicos se puede cultivar más de una cosecha por año y otros criterios de rendimiento se hacen importantes.

Si el criterio es rendimiento del cultivo por día, los rendimientos experimentales en los trópicos son generalmente superiores a los de las zonas templadas, a causa de la menor duración del cultivo, debido a las altas temperaturas que más que compensan por los rendimientos inferiores.

Si el criterio es rendimiento del cultivo por año, los rendimientos experimentales en los trópicos son casi siempre superiores. El modo como el sistema de cultivo múltiple y el alto rendimiento en grano por día, en lugar del alto rendimiento en grano por cultivo, puede ser explotado en los trópicos para obtener altos rendimientos por año, queda bien ilustrado por el logro de Bradfield¹⁶ de un rendimiento total de grano de 22.5 toneladas métricas por hectárea en un año, consistiendo de una cosecha de arroz (5.0 toneladas en 115 días), una cosecha de sorgo (5.5 toneladas en 90 días) y 2 cosechas de sorgo en socas (6.6 y 5.5 toneladas en 80 días cada una). Para colocar este rendimiento anual en perspectiva vale decir que equivale a la producción anual total de materia seca de los mejores cultivos experimentales en el norte de la zona templada de Europa. Si el criterio es la eficiencia de utilización de la energía solar, los cultivos experimentales en los trópicos son de mayor eficiencia. En efecto, en base a los limitados datos disponibles, parece que el cereal de tipo templado, el arroz, usa más eficientemente la radiación solar en los trópicos que en las áreas templadas secas. También, los cereales de origen tropical, sorgo y maíz, son más eficientes produciendo grano que el arroz.

Como la radiación solar está en general estrechamente relacionada con el uso del agua por el cultivo, las gramíneas tropicales pueden ser más eficientes en el uso de agua de elevado costo, tal como el agua de mar destilada³.

Los rendimientos de pastos que se pueden obtener con buen manejo en los trópicos son muy superiores a los de las zonas templadas y se han reportado ganancias de peso vivo de carne superiores a 1.000 Kg Ha⁻¹ en un número de áreas tropicales y subtropicales. Las gramíneas parecen ser, sin embargo, menos digeribles y de menor valor energético que las gramíneas de zonas templadas y se requiere más investigación en este campo.

Los altos rendimientos de estas gramíneas tropicales se deben aparentemente a la diferente ruta fotosintética (C4) asociada con las altas ratas de fotosíntesis, en comparación con la ruta de C3 en las gramíneas de zonas templadas y en la mayor parte de otros cultivos. Los datos sobre estos aspectos de la fotosíntesis se han publicado durante los últimos cuatro años y, lamentablemente, Chang²⁵ desconocía estas investigaciones cuando hizo su estimación del potencial agrícola de los trópicos húmedos. Al basar sus predicciones en ratas de fotosíntesis y de respiración determinadas bajo condiciones de clima templado, Chang concluyó equivocadamente que las altas ratas de respiración asociadas con las altas temperaturas tropicales, resultarían en bajas ratas de fotosíntesis y, por consiguiente, en bajas ratas de crecimiento.

Los bajos niveles de fertilidad de los suelos tropicales⁵² son reales y muchos de los altos rendimientos mencionados en el presente trabajo se obtuvieron únicamente mediante el empleo de altos niveles de fertilizante. Vicente Chandler *et al.*⁶² demostraron que los cultivos y los suelos responden a los fertilizantes y al encalado del mismo modo que en las zonas templadas. Para obtener los muy elevados rendimientos que son posibles en los trópicos, es necesario aplicar proporcionalmente mayores cantidades de fertilizante que en zonas templadas. Así, por ejemplo, Vicente - Chandler *et al.*⁶² recomendaron 5 toneladas por hectárea de fertilizante 14:4:10 para pasto de corte y 2.5 toneladas para gramíneas en pastoreo. También las variedades apropiadas de cultivos graneros pueden dar respuestas altas a los fertilizantes, como, por ejemplo, el maíz de Tailandia mencionado anteriormente.

El elevado potencial de los trópicos para producir cereales y forrajes, unido a las posibilidades de cultivos arbóreos tradicionales tales como coco, caucho, café, cacao, y té ofrecen actualmente una mayor versatilidad para el futuro uso de la tierra en los trópicos.

Se requiere más investigación básica y aplicada para desarrollar sistemas agrícolas que aprovechen completamente las características favorables de los cultivos tropicales y de su ambiente, para idear prácticas de manejo y estrategias que minimicen las características adversas del ambiente. Se debe prestar mayor atención al sistema de cultivos múltiples y a las siembras en serie y enfatizar la producción por día, cosechando el grano tan pronto como

haya alcanzado su máximo peso seco. Estos conceptos son relativamente nuevos y las tecnologías necesarias para ponerlos en práctica se encuentran todavía en su infancia. Estos conceptos también deben aplicarse a la mejora de cultivos, para desarrollar aquellos tipos de plantas que den el máximo rendimiento anual con estas prácticas.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer al International Rice Research Institute, Filipinas, y a CSIRO División of Irrigation Research, Griffith, N.S.W., los datos de radiación de la Tabla 4. También quiero dar las gracias al Dr. R. Bradfield, quien me hizo notar lo significativo de la producción por día y a Mr. R. Garst, cuya capacidad para cuestionar los dogmas agrícolas aceptados fue en parte responsable por la iniciación de este resumen.

LITERATURA CITADA

- 1 Airy, J. M. (1955) — Production of hybrid corn seed. In G. F. Sprague, ed. Corn and Corn Improvement. Academic Press, New York.
- 2 Alberda, Th. (1968) — Neth. J. Agric. Sci. 16: 142.
- 3 Anon. (1964) — Dept. Agric. Kenya. An. Rep., 2.
- 4 Anon. (1965) — An. Rep. International Rice Research Institute, p. 20.
- 5 Anon. (1966) — An. Rep. International Rice Research Institute, p. 143.
- 6 Anon. (1967) — Qld. Dept. Primary Industries An. Rep. 1966-67, p. 18.
- 7 Anon. (1968) — Production Yearbook. Vol. 22. F.A.O., Roma.
- 8 Anon. (1968) — Oak Ridge National Laboratory Rep. 4291.
- 9 Anon. (1969) — Thai - Australian Chao Phya Research Project. First report to the Ministry of Agriculture of the Kingdom of Thailand. Part B. Dept. External Affairs, Canberra.
- 10 Anon. (1969) — An. Rep., International Maize and Wheat Improvement Center.
- 11 Begg, J. E. (1965) — Nature, Lond 205: 1025.
- 12 Begg, J. E. (1965) — J. Agric. Sci., Camb. 65: 341.
- 13 Blackman, G. E. and Black, J. N. (1959) — Ann. Bot. N. S. 23: 131.
- 14 Boerema, E. (1965) — Aust. J. Expt. Agric. Anim. Husb. 5: 475.
- 15 Borden, R. J. (1942) — Hawaii, Plrs' Rec. 46: 191.
- 16 Borden, R. J. (1945) — Hawaii, Plrs' Rec. 49: 259.
- 17 Bovey, R. W. and McCarty, M. K. (1965) — Crop Sci. 5: 523.
- 18 Bradfield, R. (1969) — Training agronomists for increasing food production in the humid tropics. In International Agronomy - Training and Education. A.S.A. Spec. Pub. N° 15, pp. 45-64.

- 19 Briggs, M. H. Ed. (1967) — Urea as a Protein Supplement. Pergamon Press, London.
- 20 Bryan, W. W. (1968) — Aust. J. Expt. Agric. Anim. Husb. 8: 512.
- 21 Burton, G. W., Jackson, J. E. and Knox, F. E. (1959) — Agron. J. 51: 537.
- 22 Calvin, M. and Bassham, J. A. (1962) — The Photosynthesis of Carbon Compounds. W. A. Benjamin Inc., New York.
- 23 Chalupa, W. (1968) — J. Anim. Sci. 27: 207.
- 24 Chandler, R. F. Jr. (1968) — The case for research in "Strategy for the conquest of hunger". The Rockefeller Foundation. p. 92.
- 25 Chang, J. H. (1968) — Geogr. Rev. 43: 334.
- 26 Chapman, H. L., Peacock, F. M., Kirk, W. G., Shirley, R. L. and Cunha, T. J. (1964) — Bull. Fla. Agric. Expt. Stn. 665.
- 27 Cooper, J. P. and Tainton, N. M. (1968) — Herb. Abstr. 38: 167
- 28 Daynard, T. B. and Duncan, W. G. (1969) — The black layer and grain maturity in corn. Crop Sci. 9: 473.
- 29 Downes, R. W. and Hesketh, J. D. (1968) — Planta 78: 79.
- 30 Eik, K. and Hanway, J. J. (1966) — Agron. J. 58: 16.
- 31 Evans, T. R. (1969) — Aust. J. Expt. Agric. Anim. Husb. 9: 282.
- 32 Evatt, N. S. (1966) — High annual yields of rice in Texas through ratoon or double-cropping. Rice J. 69 (12): 10-12, 32.
- 33 Fisher, M. J. (1969) — Aust. J. Expt. Agric. Anim. Husb. 9: 196.
- 34 Gesslein, S. (1959) — Vaxtodling 13.
- 35 Hatch, M. D. and Slack, C. R. (1966) — Biochem. J. 101: 103.
- 36 Henzell E. F. (1968) — Trop. Grasslds 2: 1.
- 37 Hesketh, J. D. and Moss, D. W. (1963) — Crop Sci. 3: 107.
- 38 Hight, C. W. Jnr. (1967) — How a corn grower increased his yield from 90 to 200 bushels in 5 years. A.S.A. Spec. Pub. N° 9: p. 87.
- 39 Kortschak, H. P., Hartt, C. E. and Burr, G. O. (1965) — Pl. Physiol., Lancaster 40: 209.
- 40 Little, S., Vicente, J. and Abruna, F. (1959) — Agron. J. 51: 111.
- 41 Loomis, R. S. and Williams, W. A. (1963) — Crop Sci. 3: 67.
- 42 Ludlow, M. M. (1969) — J. Aust. Inst. Agric. Sci. 35: 200.
- 43 Ludlow, M. M. and Wilson, G. L. (1968) — Aust. J. Agric. Res. 19: 35.
- 44 Mackenzie, D.H. Basinski, J. J., and Parbery, D.B. (1970) — Aust. J. Expt. Agric. Anim. Husb. 10: 111.
- 45 Morgan Ress A.M. (1966) — The economics of tropical grasslands. In W. Daves, and C.L. Skidmore, Ed. Tropical Pastures. Faber and Faber, London.
- 46 Morse, M.D., Lindt, J.M. Oelke, E.A., Brandon, M.D., and Curley, R.G. (1967) — Rice J. 70 (11): 16.
- 47 Murata, Y., (1961) — Bull. Natn. Inst. Agric. Sci. Tokyo Ser. D. 9.
- 48 Murata, Y., and Iyama, J. (1963) — Proc. Crop Sci. Soc. Japan 31: 311.
- 49 Murata, Y., Iyama, J., and Honma, T. (1965) — Proc. Crop Sci. Japan 34: 154
- 50 Oltjen, R.R. (1969) — J. Anim. Sci. 28: 673.
- 51 Parbery, D.B. (1966). J. Aust. Inst. Agric. Sci. 32: 44.
- 52 Pendleton, R.C. (1950) — Agron. J. 42: 115.
- 53 Penman, H.L. (1968) — Sci. J. 4 (5) 43.

- 54 Ragland, J.L. Hatfield, A.L., and Benoit G.R. (1965) — *Agron. J.* 57: 217.
- 55 Shaw, R.H., and Thom, H.C.S. (1951) — *Agron. J.* 43: 541.
- 56 Shibbes, R.M., and Weber, C.R. (1965) — *Crop Sci.* 5: 575.
- 57 Sibma, L. (1968) — *Neth. J. Agric. Sci.* 16: 211.
- 58 Stangel, H.J. (1967) — History of the use of urea in ruminant feeds. In M.H. Briggs ed. *Urea as a Protein Supplement*. Pergamon Press, London.
- 59 Thomson, N.J. (1954) — *Emp. cott. Gr. Rev.* 41: 94.
- 60 Tsuno, Y., and Fujise, K. (1965) — *Bull. Natn. Inst. Agric. Sci., Tokyo Ser. D.* 13.
- 61 Vicente-Chandler, J., Silva S., and Figarella, J. (1959) — *Agron. J.* 51: 202.
- 62 Vicente-Chandler, J., Caro-Costas, R., Pearson, R.W., Abruna, F., Figarella, J. and Silva, S. (1964) — *Bull. Agric. Expt. Stn., Univ. Puerto Rico* 187.
- 63 Virtanen, A.K. (1967) — The production of milk on protein free rations. In M.H. Briggs ed. *Urea as a Protein Supplement*. Pergamon Press, London.
- 64 Waldo D.R. (1967) — *J. Dairy Sci.* 51, 1.
- 65 Warren Wilson, J. (1967) — Ecological data on dry matter production by plants and plant communities. In E.F. Bradley and O.T. Denmead eds. *The Collection and processing of Field Data*. Interscience, New York.
- 66 Watson, D.J. (1958) — *Ann. Bot. N.S.* 22: 37.
- 67 Whyte, R.O. (1962) — *Trop. Agric., Trin.* 39: 1.
- 68 Williams, W.A., Loomis, R.S., Duncan, W.G., Dovrat, A., and Núñez, A (1968) — *Crop Sci.* 8: 303.
- 69 Williams, W.A., Loomis, R.S., and Lepley, C.R. (1965) — *Crop. Sci.* 5: 211.
- 70 de Wit, C.T. (1958) — *Versl. Landbouwk. Onderz. Ned.* 64: 6.
- 71 de Wit, C.T. (1959) — *Neth. J. agric. Sci.* 7: 141.