

# CAPÍTULO 6

## El arroz y su medio ambiente

*José Patricio Vargas*

### Contenido

|  | Página |
|--|--------|
| Resumen                                      | 83     |
| Abstract                                     | 83     |
| Introducción                                 | 84     |
| Factores climáticos que más afectan el arroz | 84     |
| Temperatura                                  | 84     |
| Radiación solar                              | 91     |
| Agua   | 94     |
| Viento                                       | 96     |
| Humedad relativa                             | 96     |
| Referencias bibliográficas                   | 97     |

### Resumen

Se analizan los distintos factores ambientales que influyen en la producción de grano del cultivo de arroz. Entre ellos están la temperatura (alta, baja crítica, del agua y del aire), la radiación solar, la energía solar y la fotosíntesis; el agua, la precipitación, la transpiración, la relación agua/suelo, el viento y la humedad relativa. En síntesis, la respuesta de la planta de arroz a los factores del clima y a diversas condiciones del ambiente determina, en gran medida, la velocidad y la intensidad de los procesos metabólicos controlados por el código genético de la planta. Cuanto mejor se expresen esos procesos, más altos serán los niveles de producción y productividad que alcancen las plantas para responder por el resultado económico del cultivo.

### Abstract

#### **Rice and its environment**

The different environmental factors that influence rice production are analyzed, including: temperature (high, critical low, water, and air); solar radiation; solar energy and photosynthesis; water; precipitation; transpiration; water/soil ratio; wind; and relative humidity. In brief, the response of the rice plant to diverse climatic factors and environmental conditions determines, to a great extent, the speed and intensity of metabolic processes controlled by the plant's genetic code. The better these processes are expressed, the higher the production level and productivity of plants in terms of economic performance.

## Introducción

El arroz es un alimento básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial. El arroz se cultiva en condiciones ambientales tan diversas que ha suscitado, a su vez, una diversidad de criterios entre los investigadores y especialistas de este cereal. Algunos autores sostienen que es un cultivo especial de las zonas húmedas del trópico o de los climas de temperatura alta; otros informan que florece en diversas condiciones ambientales entre los 45° de latitud norte y los 40° de latitud sur respecto al ecuador. Se ha informado también que el arroz puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2500 metros de altitud, una extensión que le permite crecer en áreas donde la temperatura, la longitud del día y la disponibilidad del agua son muy diversas.

El análisis de los factores que regulan el crecimiento de la planta de arroz ha revelado a los investigadores las *limitantes* relacionadas con el desarrollo del arroz y con su adaptabilidad al medio que lo rodea.

En las zonas tropical y subtropical de baja altitud, las *temperaturas* media y extrema son, prácticamente, las adecuadas para este cultivo; ahora bien, la temperatura disminuye con la altitud y esta condición puede convertirse en los trópicos en una limitante para el cultivo del arroz, en dos situaciones: cuando se suaviza la temperatura al principio y al final de la temporada de cultivo, y cuando existe la posibilidad de un descenso de temperatura durante el período vegetativo de la planta.

Los valores medios mensuales de la temperatura y de la duración del día durante el período de crecimiento del arroz permiten hacer una valoración aproximada de la *evapotranspiración* de

las plantas de arroz durante este mismo período; por consiguiente, permiten conocer la necesidad absoluta de agua del cultivo para compensar por esa evapotranspiración.

En esta sección se analizarán separadamente los distintos factores ambientales que influyen en la producción de grano del cultivo de arroz.

## Factores climáticos que más afectan el arroz

### Temperatura

La temperatura afecta el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz. Durante las distintas fases del desarrollo, la planta no responde a iguales rangos de temperatura; podría decirse que hay un rango favorable para cada fase. Los fitomejoradores desarrollan variedades que pueden adaptarse bien a diferentes rangos de temperatura para que puedan expresar libremente su potencial genético, no sólo en rendimiento sino también respecto a su respuesta a las plagas y enfermedades que limitan el cultivo.

### Temperaturas bajas

El efecto de las temperaturas bajas (incluyendo la de congelación del agua) en la planta de arroz se ha estudiado bien; por ejemplo, los cambios bioquímicos ocurridos en ella entre 0 y 4 °C están bien determinados. Los resultados de este estudio permiten planear adecuadamente una explotación arrocera; sin embargo, la bioquímica de la planta en el rango de 10 a 21 °C no ha sido bien estudiada.

Las *plántulas* de arroz expuestas a temperaturas bajas pueden sufrir un estancamiento en su crecimiento porque se retardan o cesan sus reacciones químicas y sus procesos físicos; no obstante, el fenómeno puede revertirse y

la planta se recupera cuando la temperatura del medio es favorable. Las hojas que se formen durante el tiempo de exposición a la temperatura baja experimentan una elongación.

Las *plantas* más desarrolladas expuestas a temperaturas bajas pueden sufrir un daño irreversible o un colapso de sus funciones —y, en ocasiones, la muerte. Son ejemplos, respectivamente, las plantas que sufren un vaneamiento total de los granos, y las que mueren a consecuencia del intenso amarillamiento de las hojas— debido, posiblemente, a la impotencia de las raíces para absorber los nutrientes del suelo helado.

Las temperaturas bajas (de 15 a 19 °C) que afectan las plantas durante el estado de meiosis de las células madre del polen, o sea, de 10 a 11 días antes de la *floración*, causan una alta esterilidad en las plantas (Satake, 1969).

### **Temperaturas altas**

Nakayama (1974) considera el efecto de la temperatura alta como un factor adverso a la producción de arroz, inclusive en algunas regiones frías de Japón. La combinación de temperaturas altas y baja radiación solar durante la *maduración del grano* acorta esa etapa y es una causa importante de los rendimientos bajos.

En condiciones controladas, Moriya y Nara (1971) observaron un alto porcentaje de esterilidad y de granos parcialmente llenos cuando las plantas de arroz fueron expuestas durante la floración a una temperatura promedio de 31.5 °C (máxima de 36 °C y mínima de 27 °C). Resultados similares obtuvieron Sato et al. (1973) y Kusanagi y Washio (1973) en experimentos en que la temperatura máxima oscilaba entre 35 y 30 °C y la mínima entre 35 y 25 °C.

### **Temperaturas críticas**

Las temperaturas extremas causan serias perturbaciones en el desarrollo de la planta de arroz y, por ello, no favorecen el ambiente en que puede completarse el ciclo de vida de la planta. Las temperaturas críticas para la planta de arroz están, generalmente, por debajo de 20 °C y por encima de 30 °C, y varían según el estado de desarrollo de la planta. Varían también según la variedad de arroz, la duración del efecto de esa temperatura, el cambio de condiciones diurnas a nocturnas, y el estado fisiológico de la planta. El Cuadro 1 muestra la variación de la temperatura crítica frente a las distintas fases de desarrollo de la planta.

Cuando se somete la planta a una temperatura inferior a 20 °C durante el estado de reducción en la división de las células madre del polen, se induce en los granos un alto porcentaje de *esterilidad* (Satake, 1969). Sin embargo, temperaturas de 12 °C (y un poco menores) no causarán esa esterilidad si el tiempo de exposición a ellas no sobrepasa los 2 días, pero causarán hasta un 100% de esterilidad si la exposición se prolonga durante 6 días.

La esterilidad debida a las temperaturas bajas se atribuye, generalmente, al efecto de la *temperatura nocturna*, porque la temperatura diurna alta puede contrarrestar el efecto de la temperatura baja de la noche. Este fenómeno se demostró cuando se expusieron plantas de arroz en estado de reducción celular a una temperatura constante de 14 °C, de día y de noche, durante 9 días: la esterilidad registrada en los granos fue de 41%; en cambio, cuando las plantas pasaron de la temperatura nocturna de 14 °C a una diurna de 26 °C, el porcentaje de esterilidad se redujo a 12%.

Estudios realizados por Matsushima (1976) indicaron que, en el período de

**Cuadro 1.** Correspondencia entre las principales etapas de desarrollo de la planta de arroz y las diversas temperaturas (crítica y óptima) que pueden afectar esas etapas.

| Etapas de desarrollo                          | Temperatura crítica (°C) <sup>a</sup> |      | Temperatura óptima (°C) <sup>a</sup> |
|---|---------------------------------------|------|--------------------------------------|
|   | Baja                                  | Alta |                                      |
| Germinación                                   | 10                                    | 45   | 20–35                                |
| Emergencia y establecimiento de las plántulas | 12–13                                 | 35   | 25–30                                |
| Enraizamiento                                 | 16                                    | 35   | 25–28                                |
| Elongación de las hojas                       | 7–12                                  | 45   | 31                                   |
| Macollamiento                                 | 9–16                                  | 33   | 25–31                                |
| Iniciación de la panícula (primordio floral)  | 15                                    |      |                                      |
| Diferenciación de la panícula                 | 15–20                                 | 38   |                                      |
| Antesis (floración)                           | 22                                    | 35   | 30–33                                |
| Maduración                                    | 12–18                                 | 30   | 20–25                                |

a. Medida como temperatura media diaria, excepto para la germinación. Tomado de Yoshida (1977).

desarrollo anterior a la floración, la temperatura óptima diurna era de 31 a 32 °C, mientras que la óptima nocturna variaba entre 21 y 22 °C. En cambio, para un período de desarrollo 15 días después de la floración, dicha temperatura era de 29 °C en el día y 19 °C en la noche. Finalmente, para el periodo de desarrollo 30 días después de la floración, esas temperaturas eran de 26 °C en el día y 16 °C en la noche.

El mismo autor concluyó que el rango de temperaturas durante la etapa de maduración del grano no era, necesariamente, el rango de temperaturas óptimas del día y de la noche, y que la maduración del grano estaba fuertemente influenciada por la temperatura nocturna. Esta conclusión se sustenta en dos hechos: por un lado, la pérdida de carbohidratos debida a la respiración de la planta aumenta cuando la temperatura nocturna es alta y, por otro lado, la temperatura nocturna baja afecta otras actividades fisiológicas. En otras palabras, las temperaturas nocturnas muy altas o muy bajas no favorecen la maduración del grano y hay, ciertamente, una

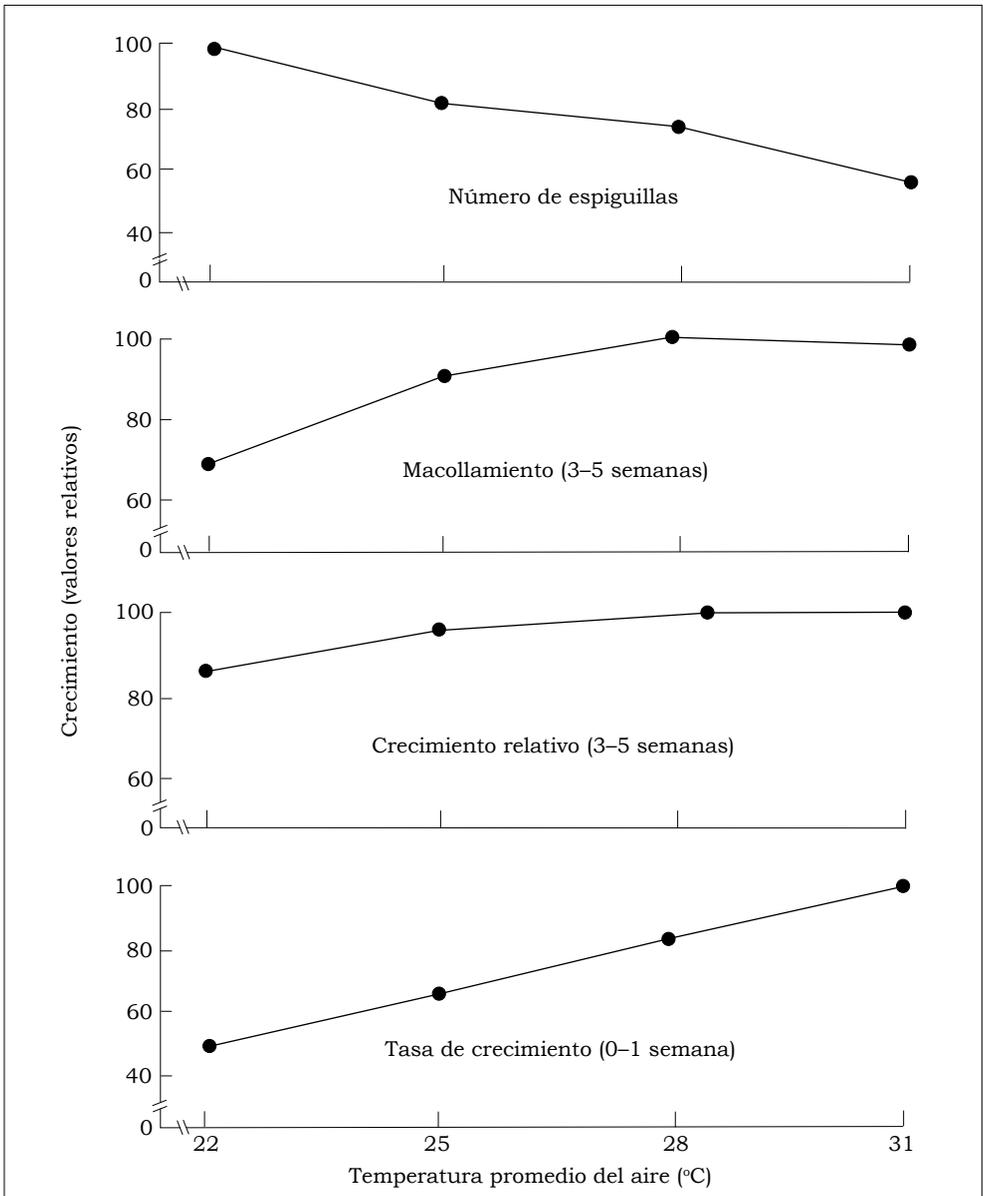
temperatura óptima para esta maduración.

**Efectos en el crecimiento y en el rendimiento de la planta**

Las temperaturas críticas altas pueden afectar el rendimiento de la planta porque tienen influencia en el macollamiento, en la formación de las espiguillas y en la maduración de éstas, efectos que varían también según la variedad.

Experimentos realizados por Yoshida (1973) demuestran que la *tasa de crecimiento* de la planta de arroz aumenta linealmente con la temperatura, en el rango de 22 a 31 °C (Figura 1). Durante el periodo inicial de crecimiento, la temperatura afecta muy levemente el macollamiento y la tasa de crecimiento relativo, excepto la temperatura más baja estudiada en los experimentos (22 °C).

El mismo autor encontró que el efecto de la temperatura en el *macollamiento* está regulado por el nivel de radiación solar. Sus resultados indican básicamente que, a temperatura alta,



**Figura 1.** Efecto de la temperatura en varios aspectos del crecimiento de la variedad IR8, en condiciones controladas. (Tomada de Yoshida, 1973.)

aumenta la tasa de emergencia de hojas y aparecen más yemas (de macollas) que las producidas a menor temperatura; cuando la iluminación es baja, algunas de las yemas no se desarrollan hasta convertirse en macollas, porque faltan

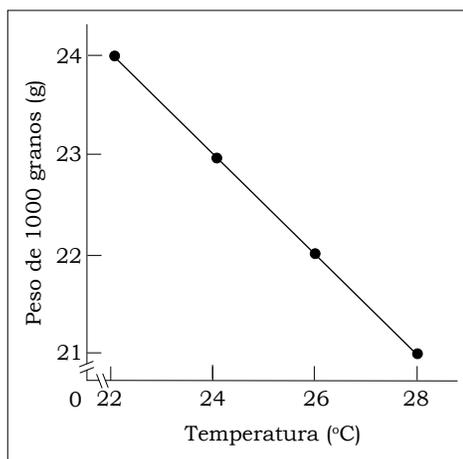
los carbohidratos necesarios para su crecimiento.

El mismo experimento mostró que, durante la fase reproductiva de la planta, el número de *espiguillas* por

planta aumentó cuando disminuyó la temperatura; esto indica que, a diferencia del resultado anterior, la temperatura óptima cambia de alta a baja a medida que avanza el crecimiento de la planta, es decir, de la fase vegetativa a la reproductiva.

La temperatura media óptima para la *maduración* de las variedades japónicas está en un rango de 20 a 22 °C, según varios informes (Matsushima y Tsunoda, 1957; Matsushima et al., 1957; Airni et al., 1959). Los resultados de los experimentos de Murata en 1976 mostraron que el peso de 1000 granos de una misma variedad varía de 24 a 21 g cuando la planta se expone, durante 21 días a partir de la floración, a un cambio de temperatura de 22 a 28 °C (Figura 2).

En el trópico, una temperatura diurna de 29 °C, en promedio, no resulta muy perjudicial (respecto a la producción de macollas y granos) cuando hay suficiente radiación solar. Por eso, las variedades

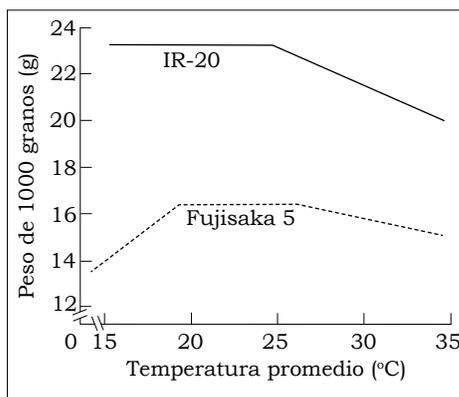


**Figura 2.** Efecto de la temperatura en el peso de 1000 granos de arroz en la etapa de maduración de la planta (21 días después de la floración). (Tomada de Murata, 1976.)

de tipo indica se adaptan mejor a las temperaturas altas, mientras que las de tipo japónica necesitan temperaturas bajas para lograr una adecuada madurez del grano. Yoshida y Hara (1977) encontraron, en experimentos hechos bajo condiciones controladas, que la temperatura diaria promedio que requiere el llenado del grano del arroz de tipo indica (Fujisaka 5) está entre 20 y 27 °C, mientras que la requerida por el arroz de tipo japónica (IR20) está entre 16 y 25 °C (Figura 3).

### Temperatura del agua y del aire

La temperatura afecta directamente el desarrollo de la planta de arroz que se cultive en condiciones de inundación y bajo láminas de agua de diferente espesor. La intensidad de ese efecto depende de la posición de los *puntos de crecimiento* de la planta respecto a la superficie del agua (Tsunoda y Matsushima, 1962). Desde los primeros estados de crecimiento hasta la iniciación de la panícula, las yemas responsables de las hojas, las macollas y la panícula permanecen bajo el agua; su



**Figura 3.** Relación entre el peso de 1000 granos de arroz y la temperatura promedio en que ocurre la etapa de llenado del grano en dos variedades de arroz (promedio de tres experimentos). (Adaptada de Yoshida y Hara, 1977.)

desarrollo, por tanto, recibe el influjo de la temperatura del agua. Ahora bien, el crecimiento y la elongación de toda la planta reciben la influencia de dos temperaturas, la del agua y la del aire, dado que el ciclo de vida se desarrolla, principalmente, en un medio aéreo.

A medida que la panícula se desarrolla y sobresale del nivel del agua, la influencia de la temperatura del agua en el crecimiento y en la madurez de la panícula disminuye, y estos fenómenos empiezan a depender cada vez más de la temperatura del aire (Tsunoda y Matsushima, 1962; Matsushima et al., 1964). Se puede concluir, por tanto, que el efecto de las temperaturas del aire y del agua varía según el estado de crecimiento de la planta. De este modo, como indican Matsushima et al. (1964), durante los estados iniciales del desarrollo de la planta la temperatura del agua afecta el *rendimiento* porque influye en el número de panículas por planta, en el número de granos por panícula, y en el porcentaje de granos maduros que se pueden obtener. En estados más avanzados del desarrollo, la temperatura del aire puede afectar el rendimiento, porque influye directamente en el porcentaje de granos llenos y en su peso.

El efecto de la temperatura del agua depende de la magnitud de ésta y de la profundidad de la lámina aplicada. En la mayoría de los casos, la temperatura del agua es mayor que la del aire; a medida que aumenta la profundidad de la lámina de agua, el crecimiento de la panícula depende más de la temperatura del aire. Cuando la planta se encuentra en el estado de reducción celular (en la división de las células del polen), y si la temperatura del aire desciende por debajo de su nivel crítico, se puede proteger la planta contra la *esterilidad* causada por esa temperatura baja aumentando la profundidad del agua hasta 15 ó 20 cm (Nishiyama et al., 1969).

### **Estrés causado por temperaturas bajas**

Según su estado de desarrollo, la planta puede sufrir daños cuando la temperatura desciende cada día, en promedio, por debajo de 20 °C. Este *daño por frío* puede ocurrir no sólo en las zonas templadas, sino en el trópico y en el subtropical durante las noches de la época seca o de verano. Los daños causados por el frío a los cultivos de arroz se han reportado en Australia, Bangladesh, China, Colombia, Corea, Cuba, Estados Unidos de América, India, Indonesia, Irán, Japón, Nepal, Pakistán, Perú, Sri Lanka, en la antigua Unión Soviética y en otros países. Los principales daños observados son los siguientes:

la semilla no germina, la emergencia de la plántula se retrasa, y aparecen las siguientes condiciones negativas: enanismo, amarillamiento de las hojas, esterilidad apical, emergencia parcial de la panícula, retraso en la floración, alto porcentaje de granos vanos y maduración no uniforme (Yoshida, 1978).

Los estudios realizados por Sasaki y Wada (1973) indican que la máxima susceptibilidad del arroz a las temperaturas bajas ocurre durante la época del 'embuchamiento', es decir, de 14 a 17 días antes de la emergencia de la panícula; después de esta época, la 'floración' es la etapa en que el arroz es muy susceptible al frío. No obstante, Shibata et al. (1970) encontró que la planta de arroz sometida a una temperatura baja durante 3 días era más sensible al frío en la floración, y que esa sensibilidad era igual, o incluso mayor, que la manifestada en el 'embuchamiento'.

### **Estrés causado por temperaturas altas**

Cuando la temperatura sobrepasa los 35 °C, en la antesis del arroz, y esta exposición al calor pasa de 1 hora, se observa en las plantas un alto porcentaje de esterilidad. Yoshida (1978) informa que las plantas de arroz expuestas a

temperaturas superiores a 35 °C sufren daños que dependen de su estado de desarrollo. Por ejemplo, durante la fase vegetativa se observan los siguientes síntomas: la punta blanca de la hoja, las bandas cloróticas, una reducción del macollamiento y una disminución de la altura de la planta. Durante la fase reproductiva aparecen síntomas como la panícula blanca, una reducción del número de granos y una mayor esterilidad; en la etapa de maduración se reduce el número de granos llenos por panícula.

El mismo autor concluye que el estado de desarrollo del arroz más sensible a las temperaturas altas es la floración; siguen a ésta los 9 días anteriores a la salida de la panícula en la etapa de ‘embuchamiento’. Durante la antesis, 1 ó 2 horas de temperatura alta aumenta definitivamente el porcentaje de esterilidad.

**Interacción entre la temperatura y el suministro de nutrientes**

En la mayoría de los casos, lo que determina el rendimiento es el número de granos por unidad de área. Yoshida (1978) informa que existe una alta correlación positiva entre el número de granos por unidad de área y el total de nitrógeno tomado por la planta al

momento de la floración. Él observó que el número de granos era mayor a medida que aumentaba la cantidad de nitrógeno (N) suministrado. Por otro lado, en un ensayo similar realizado bajo condiciones controladas, se encontró que el número de granos aumentaba a medida que la temperatura disminuía bajo un determinado nivel de N, siendo más evidente este resultado cuando el nivel de N era más alto. Sin embargo, la eficiencia del N para producir granos llegaba a su nivel máximo cuando la temperatura y el nivel de N eran los más bajos (Cuadro 2).

Los experimentos realizados por Sasaki et al. (1973) demostraron que el N puede hacer variar el porcentaje de esterilidad que causan las temperaturas bajas cuando las células reproductivas se hallan en la etapa de reducción de la división celular. Cuando la temperatura baja está por encima, o muy por debajo, de la temperatura crítica, el suministro de N tiene muy poco efecto en la esterilidad; en cambio, cuando la temperatura es moderada (16 °C), el porcentaje de esterilidad aumenta si hay un incremento en el nivel del N aplicado. Otros experimentos reportados por Sasaki y Wada (1975) indican que los efectos negativos de una alta dosis de N aplicada durante la fase reproductiva,

**Cuadro 2.** Efecto de la temperatura en el número de granos y en la eficiencia del nitrógeno (N) para producir granos.

| Temperatura diurna/<br>nocturna (°C) | Granos/m <sup>2</sup><br>(no.) <sup>a</sup> |        |        | Granos/mg de N absorbido<br>(no.) <sup>a</sup> |       |       |
|--------------------------------------|---|--------|--------|--|-------|-------|
|                                      | 50 N  | 100 N  | 150 N  | 50 N   | 100 N | 150 N |
| 35/27                                | 24.400                                      | 28.800 | 27.800 | 2.9  | 2.0   | 1.4   |
| 32/24                                | 27.500                                      | 30.800 | 29.900 | 3.0  | 2.2   | 1.6   |
| 29/21                                | 28.800                                      | 31.300 | 37.600 | 3.3  | 2.3   | 2.1   |
| 26/18                                | 32.600                                      | 40.900 | 48.200 | 3.2  | 2.5   | 2.2   |

a. N = kg/ha de N aplicados al suelo.

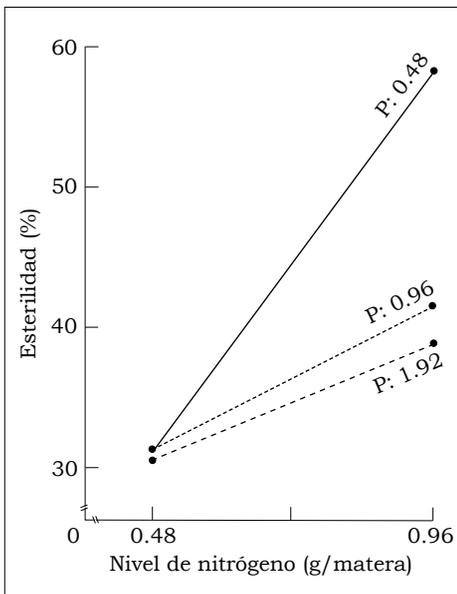
Tomado de IRRI (1979).

cuando la temperatura es baja, puede contrarrestarse con un aumento del nivel del fósforo aplicado (Figura 4).

## Radiación solar

La mayor parte de la energía radiante proveniente del sol tiene una longitud de onda comprendida entre 0.3 y 3.0 micras (o unidad  $\mu$  = 1 millonésima parte del metro) y por ello se considera, generalmente, como radiación de onda corta. La tierra emite, por su parte, una radiación de onda larga que mide de 3 a 50 micrones.

El tejido verde de las hojas utiliza en la fotosíntesis la energía solar cuya longitud de onda tenga de 0.4 a 0.7 micrones;



**Figura 4.** Efecto de la aplicación de fósforo ( $P_2O_5$ ) en el porcentaje de esterilidad causado por las temperaturas bajas durante la etapa de reducción de la división de las células reproductivas (Sasaki y Wada, 1975).

esta energía se denomina en biología 'radiación fotosintética activa' (PAR, del inglés) o, simplemente, radiación solar o luz solar. El total de radiación solar es de 0.50 micrones, aproximadamente, tanto en la zona intertropical (el trópico) como en la zona templada (Monteith, 1972).

La unidad de radiación solar que ha resultado más útil para la agricultura es la  $cal/cm^2$  por día, aunque un buen número de físicos y científicos emplean otras unidades. Yoshida (1978) observó que la radiación solar media en 26 sitios de 15 países arroceros variaba, por ejemplo, de  $50 cal/cm^2$  por día en Milán (Italia) a  $700 cal/cm^2$  por día o más (en junio-julio) en Lisboa (Portugal) y en Davis (California, EE.UU.). Sin embargo, la mayoría de los sitios mencionados por Yoshida recibe, en promedio,  $300 cal/cm^2$  por día o un poco más durante el periodo de maduración del arroz.

## Radiación solar durante el desarrollo del arroz

La radiación solar requerida para el cultivo del arroz varía según los diferentes estados de desarrollo de la planta. Una radiación solar baja afecta muy ligeramente los rendimientos y sus componentes durante la fase vegetativa, mientras que en la fase reproductiva causa una notoria disminución en el número de granos. Por otra parte, durante el periodo que va del llenado del grano a su maduración, baja drásticamente el rendimiento de la planta cuando se reduce (si se presenta un nivel bajo de radiación solar) el porcentaje de granos llenos.

Una relación cuantitativa entre el rendimiento y la radiación solar se puede observar en el Cuadro 3, elaborado por Yoshida y Parao (1976). El cuadro muestra que la radiación solar influye mucho en el rendimiento durante la fase reproductiva de la planta; influye también, aunque menos, en la fase de

**Cuadro 3.** Efecto del descenso de la radiación solar (medida en tres fases del desarrollo de la planta) en el rendimiento y en los componentes del rendimiento de la variedad de arroz IR-747B2-6.

| Luz solar (%)         | Rendimiento (kg/ha) | Granos (no./m <sup>2</sup> ) | Granos llenos (%) | Índice de cosecha | Peso de 1000 granos (g) |
|-----------------------|---------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| En fase vegetativa    |                     |                              |                   |                   |                         |
| 100                   | 7110                | 4160                         | 88.9              | 0.49              | 20.0                    |
| 75                    | 6940                | 4060                         | 89.9              | 0.48              | 19.9                    |
| 50                    | 6350                | 3830                         | 89.5              | 0.51              | 19.9                    |
| 25                    | 6300                | 3810                         | 84.3              | 0.51              | 19.8                    |
| En fase reproductiva  |                     |                              |                   |                   |                         |
| 100                   | 7110                | 4160                         | 88.9              | 0.49              | 20.0                    |
| 75                    | 5710                | 3030                         | 87.8              | 0.47              | 20.3                    |
| 50                    | 4450                | 2440                         | 89.4              | 0.40              | 19.5                    |
| 25                    | 3210                | 1650                         | 89.4              | 0.36              | 19.1                    |
| En fase de maduración |                     |                              |                   |                   |                         |
| 100                   | 7110                | 4160                         | 88.9              | 0.49              | 20.0                    |
| 75                    | 6530                | 4110                         | 81.1              | 0.49              | 20.0                    |
| 50                    | 5160                | 4060                         | 64.5              | 0.44              | 19.5                    |
| 25                    | 3930                | 4170                         | 54.9              | 0.38              | 19.1                    |

Tomado de Yoshida y Parao (1976).

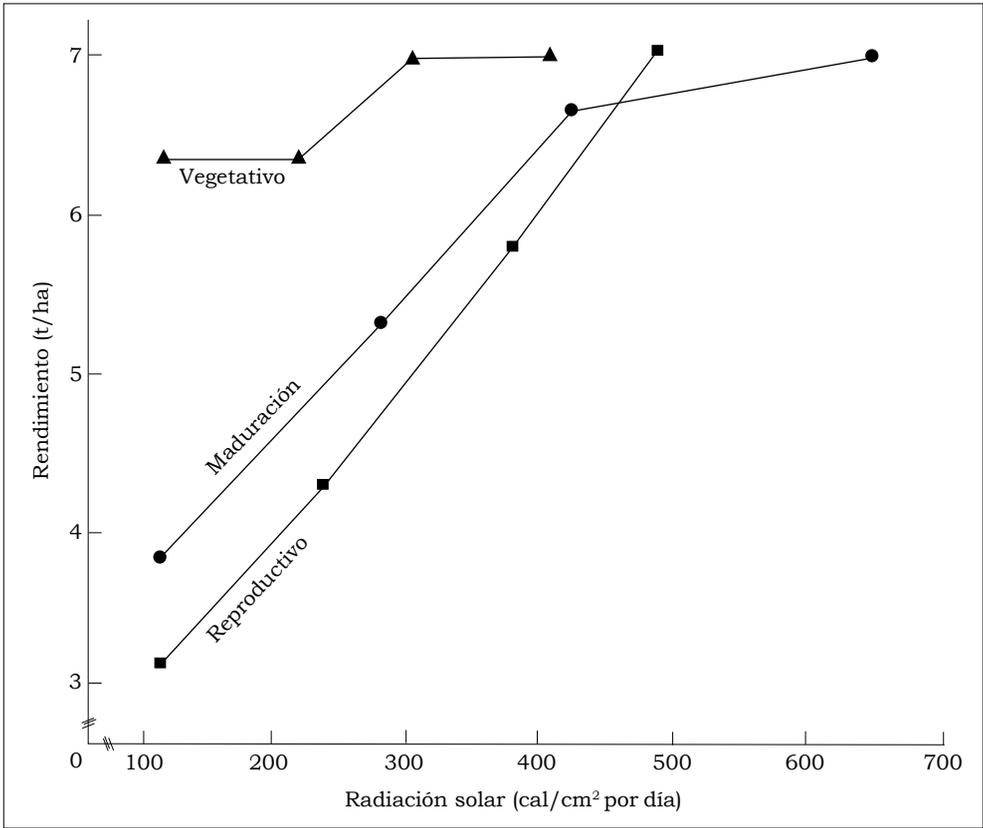
maduración, y tiene muy poco efecto durante la fase vegetativa (Figura 5).

Partiendo de muchas investigaciones realizadas en diferentes años, se ha concluido que la radiación solar influye en el rendimiento de la planta de arroz, principalmente durante la etapa de maduración del grano, ya que ejerce un notorio efecto en el número de granos llenos de la panícula. Esta conclusión permite afirmar que la traslocación de carbohidratos al grano de arroz ocurre principalmente durante el día, y que alrededor de  $\frac{3}{4}$  del total de los carbohidratos producidos por la planta se elaboran en el día. Bonner y Galston (1952) encontraron que, en general, la traslocación de carbohidratos desde la hoja hacia otros tejidos es inducida por el proceso fotosintético de acumulación específica de azúcar en la lámina foliar. Se puede afirmar entonces que la radiación solar es necesaria no solamente para la asimilación del carbono, sino también para desempeñar

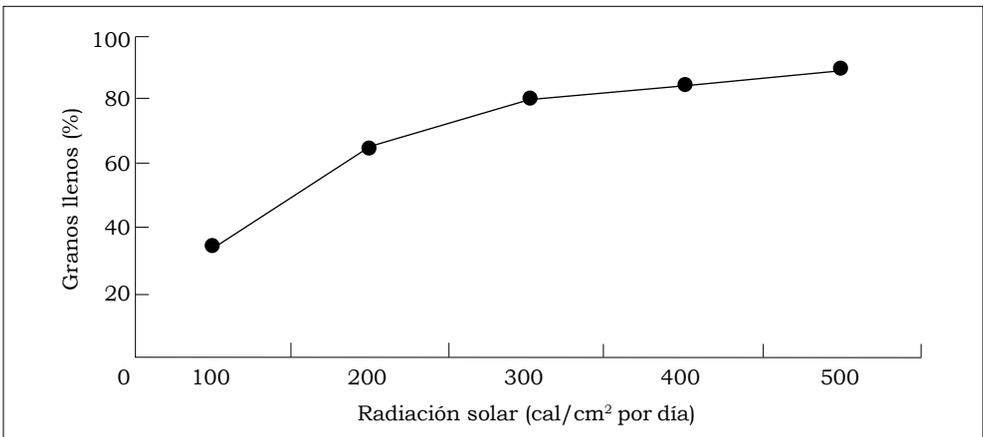
un papel importante en la traslocación al grano de los carbohidratos cuya síntesis sigue a la asimilación.

En la Figura 6 se observa que el porcentaje de *granos llenos* aumenta con la intensidad de la luz hasta un valor de ésta de 250 cal/cm<sup>2</sup> por día, y que se incrementa ligeramente cuando esa intensidad es mayor (entre 300 y 450 cal/cm<sup>2</sup> por día). El autor de este trabajo buscó una explicación de dicho resultado y encontró (Figura 7) lo siguiente: hay una relación similar entre la tasa de asimilación del carbono y la intensidad solar, y la intensidad solar superior a 0.6 cal/cm<sup>2</sup> por min no tiene casi influencia en la tasa de asimilación del carbono.

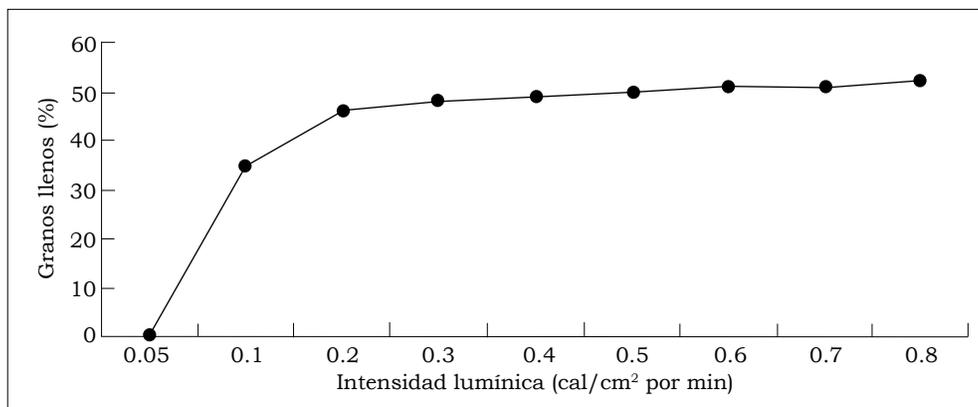
De las Figuras 6 y 7 se puede deducir que la relación entre el porcentaje de granos llenos y la intensidad de la luz se puede considerar dependiente de la relación entre la tasa de asimilación de carbono y la intensidad de la luz solar.



**Figura 5.** Efecto de la radiación solar, considerada en tres estados del crecimiento de la planta, en el rendimiento de IR-747B2-6. (Tomada de Yoshida y Parao, 1976.)



**Figure 6.** Efecto de la radiación solar en el porcentaje de granos llenos.



**Figura 7.** Relación entre la intensidad luminica y la tasa de asimilación de carbono.

Se puede afirmar finalmente que, cuando la intensidad de la luz es baja, el porcentaje de granos llenos puede aumentar si se incrementa la luz solar; en cambio, si la intensidad de la luz supera cierto nivel establecido como crítico, el porcentaje de granos llenos no aumentará al incrementar la luz solar en la forma en que lo hizo en el caso anterior.

### Energía solar y fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso en que la energía solar es atrapada por el tejido verde de las plantas y convertida en energía química, que es almacenada en forma de carbohidratos. De 80% a 90% (en peso) de la materia seca de las plantas verdes proviene de la fotosíntesis; el resto viene, normalmente, del suelo en los minerales absorbidos por las raíces de las plantas.

En un cultivo de arroz, la fotosíntesis depende, principalmente, de la incidencia (cantidad y ángulo) de la radiación solar, de su relación con el área foliar (tasa/ unidad de área), del índice de área foliar y de la orientación de las hojas. Si la radiación solar es baja, la tasa de fotosíntesis también será baja (Tsunoda, 1972; Tsunoda et al., 1968).

### Agua

El agua es indispensable para la planta de arroz. El contenido de agua de la planta varía según la estructura considerada (hoja, tallo) y el estado de desarrollo de la planta. La planta absorbe por las raíces la mayor parte del agua que necesita; emplea menos del 15% del agua absorbida y transpira el resto a través de los estomas de las hojas. El adecuado suministro de agua es uno de los factores más importantes de la producción de arroz. Muchas áreas productoras de arroz sufren por exceso de agua o por sequía, ya sea porque las lluvias son irregulares o porque falla el suministro de riego.

La principal razón para inundar un cultivo de arroz es que la mayoría de las variedades de arroz crecen mejor y dan mayor rendimiento cuando se cultivan en un suelo inundado. Esta agua cumple tres funciones esenciales:

- Modificar las características físicas de la planta.
- Cambiar las características fisico-químicas y el estado nutricional y físico de los suelos.

- Controlar las malezas, alterando la naturaleza de unas y restringiendo el crecimiento de otras.

En un cultivo de arroz con riego se pierde agua por la transpiración de las plantas, por la evaporación en la superficie del agua y por percolación a través del suelo. Las pérdidas por percolación son las más variables y dependen de condiciones del suelo como la textura, la topografía y el nivel freático.

La cantidad de agua requerida por el arroz en diferentes funciones y etapas del sistema con riego se presenta en el Cuadro 4. Las cifras son promedios de un rango de valores reportado por más de 40 países cultivadores de arroz.

### Precipitación

El arroz se cultiva no sólo con sistemas de riego, sino en zonas bajas con alta precipitación, en láminas de agua profunda y en condiciones de secano (lluvia estacional y suelo bien drenado). En las tierras bajas, las plantas de arroz están expuestas a daños debidos a la sumersión en los sistemas de inundación; en las zonas altas, en cambio, pueden sufrir los efectos de la sequía, que se presenta con frecuencia.

Se ha informado también que la precipitación fuerte puede agravar el volcamiento de las plantas, porque las hojas largas y cargadas de humedad son pesadas y, cuando tienden a juntarse, hacen volcar la planta (Kung, 1971).

Cuando se cultiva arroz con agua de lluvias y la temperatura está en el rango de los niveles críticos, la precipitación es el factor limitativo del desarrollo. Cuando se cultiva arroz con riego, el crecimiento y el rendimiento de las plantas están determinados, en gran parte, por la temperatura y por la radiación solar.

### Transpiración

La transpiración es la pérdida de agua en forma de vapor a través de la superficie total de la planta. La planta se marchitará o morirá, a menos que se le suministre agua para sustituir la que pierde por transpiración. Este fenómeno ocurre principalmente a través de los *estomas* de las hojas y, en pequeña proporción, por la cutícula foliar y la de otros tejidos.

La pérdida de agua por transpiración está directamente relacionada con la *tasa de crecimiento absoluto* (TCA), de manera que la transpiración puede considerarse

**Cuadro 4.** Agua requerida por el arroz cultivado con riego.

| Uso del agua   | Cantidad <sup>a</sup> |
|--|-----------------------|
| Por pérdida en plantas (uso fisiológico) y en suelo (agua subterránea) | (mm/día)              |
| Transpiración  | 1.5 – 9.8             |
| Evaporación  | 1.0 – 6.2             |
| Percolación  | 0.2 – 15.6            |
| Total (pérdida por día/ha)   | 5.6 – 20.4            |
| Por el agricultor (uso agronómico)                                     | (mm/ciclo)            |
| En semilleros  | 40                    |
| En preparación de tierras  | 200                   |
| En irrigación de lotes   | 1000                  |
| Total (gasto por cultivo/ha)   | 1240                  |

a. Son mm de lámina de agua equivalente a la que se emplea para medir la precipitación pluvial.

Tomado de Kung (1971).

como los gramos de agua transpirada por cada gramo de materia seca producida. Esta relación varía según la humedad del suelo, el clima, la variedad, el estado de desarrollo de la planta y el momento del cultivo. Según Matsushima et al. (1964) y Yoshida (1978), esta relación está entre 250 y 350 g de agua por gramo de materia seca producida.

### **Relación agua/suelo**

Los suelos en que puede desarrollarse el arroz son tan variados como el rango de climas a que se expone el cultivo. Su textura varía de arenosa a arcillosa; su pH oscila entre extremos de 3.0 y 10.0; su contenido de materia orgánica puede estar entre 1% y 50%; su concentración de sales entre 0 y 1%; y su disponibilidad de nutrientes puede ir desde la deficiencia notoria hasta el exceso. Dos factores determinan, en gran parte, la productividad de la tierra en que se siembra arroz: las condiciones del suelo y el agua disponible.

El arroz es la única especie comercial que se cultiva en *suelos saturados* de agua (en algunos sistemas, las plantas se mantienen sumergidas) durante una parte (o la totalidad) del ciclo de vida de las plantas; por tal razón, las propiedades físicas del suelo tienen menor importancia relativa que el suministro adecuado de agua.

La *textura del suelo* tiene un papel muy importante en el manejo del agua de riego y de la fertilización. Si la textura es fina, el tamaño pequeño de los poros del suelo sólo permite un movimiento lento del agua; en cambio, si la textura del suelo es liviana, el excesivo suministro de agua y de fertilizantes aumenta las pérdidas de ambos recursos por causa del lavado y de la percolación.

El arroz soporta bien los suelos cuyo pH esté entre 4.0 y 8.4; sin embargo, se

desarrolla mejor cuando la acidez de éstos no baja del pH 5.0 ni sobrepasa el pH 6.5. El arroz tolera bastante bien la salinidad y se obtienen buenas producciones de grano en suelos salinos; estos suelos, a su vez, son *lavados* por los continuos riegos que se dan a las plantas en el sistema con riego.

### **Viento**

El viento desempeña un papel importante en la vida de la planta de arroz. Se ha informado que, cuando el viento sopla con poca velocidad, el rendimiento de la planta aumenta gracias a la turbulencia que se crea en medio de la comunidad de plantas. En los años 70, algunos investigadores japoneses hallaron que la tasa de fotosíntesis era mayor cuando aumentaba suavemente la velocidad del viento, ya que la turbulencia incrementaba el suministro de gas carbónico (CO<sub>2</sub>); este resultado confirmaba el obtenido en los 60 por un investigador australiano de que una velocidad del viento mayor que el rango de 0.3 a 0.9 m/seg causaba un pequeño efecto en la fotosíntesis de la planta.

Por otro lado, los vientos fuertes con características de vendaval son perjudiciales para las plantas de arroz, puesto que incrementan el fenómeno del *volcamiento*. Los vientos muy secos han causado secamiento en las hojas, que es grave para los cultivos de secano. Los vientos secos y calientes han producido laceraciones en las hojas y en los granos y, en muchos casos, han hecho abortar las flores.

### **Humedad relativa**

La evaporación es un fenómeno inverso de la humedad relativa, que se puede definir como el vapor de agua ya contenido en el aire. Se ha demostrado

que, manteniendo los demás factores constantes, un aumento de la humedad relativa reduce la intensidad de la *evapotranspiración*, puesto que el gradiente de presión de vapor de agua entre la atmósfera y una superficie húmeda es alto. La capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta rápidamente con la temperatura: por tanto, el aire caliente del trópico contiene más vapor de agua que el aire frío de otras zonas.

## Referencias bibliográficas

- Airni, R.; Sawamura, H.; Konno, S. 1959. Physiological studies on mechanisms of crop plants: Effect of the temperature upon behavior of carbohydrates and related enzymes during the ripening of the rice plant. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 27:405-407.
- Bonner, J.; Galston, A.W. 1952. Principios de fisiología vegetal. Freeman, San Francisco, CA, EE.UU. 499 p.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1979. Annual Report 1978. Los Baños, Filipinas.
- Kung, P. 1971. Irrigation agronomy in monsoon Asia. FAO. Roma, Italia.
- Kusanagi, T.; Washio, O. 1973. The phytotron at Chugoku National Agricultural Experimental Station. Bulletin of the Chugoku National Agricultural Experimental Station 23:53-90.
- Matsushima, S. 1976. High yielding rice cultivation. University of Tokio Press, Tokio. p. 125-130.
- Matsushima, S.; Tsunoda, K. 1957. Analysis of developmental factors determining yield and its application to yield prediction and culture improvement of lowland rice. XLV: Effects of temperature and its daily range upon the growth, grain yield and its constitutional factors. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 26:243-244.
- Matsushima, S.; Manaka, K.; Tsunoda, K. 1957. Analysis of developmental factors determining yield and yield prediction and culture improvement of lowland rice. XXXIV: On the mechanism of ripening (5). On the mechanism of ripening (6). Proceedings of the Crop Science Society of Japan 26:203-206.
- Matsushima, S.; Tanaka, T.; Hoshino, T. 1964. Analysis of yield determining process and its application to yield prediction and culture improvement of lowland rice. LXXI: Combined effect of air temperature and water temperature at different stages of growth on the growth and morphological characteristics of rice plants. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 33:135-140.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9:747-766.
- Monteith, J.L. 1977. Climate. In: Alvim, P. de T.; Koziowski, T.T. (eds.). Ecophysiology of tropical crops. Academic Press, Nueva York. p. 1-27.
- Moriya, M.; Nara, M. 1971. Influence of air temperature on ripening of lowland rice. In: Studies on maximizing rice yield. Research Report 49. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. p. 110-115.

- Murata, Y. 1976. Productivity of rice in different climatic regions of Japan. In: Climate and rice. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Filipinas. p. 449-470.
- Nakayama, H. 1974. Panicle senescence in rice plant. Bulletin of the Hokiriku National Agricultural Experimental Station 16:15:17.
- Nishiyama, I.; Hayase, H.; Satake, T. 1969. Protecting effect of temperature and depth of irrigation water from sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage of rice plants. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 38:554-555.
- Sasaki, K.; Wada, S. 1973. Varietal differences in cold tolerance at different stages of panicle development in rice. Hoku-No (Japón) 40(8):7-14.
- Sasaki, K.; Wada, S. 1975. Effects of nitrogen, phosphoric acid and potash on the percentage of sterile grains in rice plants. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 44:250-254.
- Sasaki, K.; Moeda, H.; Wada, S. 1973. Effects of nitrogen and temperature on sterility at meiotic stage. Hoku-No (Japón) 40(90):1-7.
- Satake, T. 1969. Research on cool injury of paddy rice plant in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly 4(4):5-10.
- Sato, K.; Inaba, K.; Tozawa, M. 1973. High temperature injury of ripening in rice plant. 1: The effects of high temperature treatments at different stages of panicle development on the ripening. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 42:207-213.
- Shibata, M.; Sasaki, K.; Shimazaki, Y. 1970. Effects of air temperature and water temperature on the percentage of sterile grains. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 39:401-408.
- Tsunoda, K. 1972. Photosynthetic efficiency in rice and wheat. In: International Rice Research Institute (IRRI). Rice breeding. Los Baños, Filipinas. p. 471-482.
- Tsunoda K.; Khan, A.H. 1968. Differences among strains of rice in the photosynthetic tissues: Comparative leaf anatomy of Indica and Japonica. Tohoku Journal of Agricultural Research 19:17.
- Tsunoda, K.; Matsushima, S. 1962. Analysis of yield determining process and its application to yield prediction and culture improvement of lowland rice. LXII: Effects of irrigation water temperature under different water depths on the growth, grain yield and yield components of rice. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 31:19-22.
- Yoshida, S. 1973. Effects of temperature on growth of the rice plant (*O. sativa*) in a controlled environment. Soil Science and Plant Nutrition 19:29-34.

Yoshida, S. 1977. Rice. In: Alvim, P. de T.; Kozłowski, T.T. (eds.). *Ecophysiology of tropical crops*. Academic Press, Nueva York. p. 57-87.

Yoshida, S. 1978. Tropical climate and its influence on rice. IRRI Research Applications Service 20.

Yoshida, S.; Hara, T. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an Indica and a Japonica rice (*Oryza sativa*) under controlled environmental conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 23(1):93-107.

Yoshida, S.; Parao, F.T. 1976. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: International Rice Research Institute (IRRI). *Climate and rice*. Los Baños, Filipinas. p. 471-494.