

Artículo de revisión

Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz.

Importance of climate factors in rice crop.

Buelvas Jiménez Miguel¹

¹Ingeniero Agrónomo. Área de Asistencia Técnica de Fedearroz– Fondo Nacional del Arroz Fedearroz. Carrera 3 # 18-50. Bolívar, Colombia. Correo electrónico: miguelbuelvas@fedearroz.com.co

RESUMEN

Para un adecuado manejo del cultivo del arroz es importante conocer del crecimiento y desarrollo de la planta de arroz y su interacción con los factores climáticos, del suelo y agronómicos. En este documento se pretende mostrar como la temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación entre otros; son factores climáticos que en condiciones óptimas son fundamentales para el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo y alguna alteración de estos factores en exceso o déficit, ocasionan detrimento en el desarrollo y potencial de rendimiento del cultivo del arroz.

Palabras clave: Clima, crecimiento, interacción, rendimiento, productividad.

ABSTRACT

For proper management of rice cultivation, it is important to know the growth and development of the rice plant and its interaction with climatic, soil and agronomic factors. This document is intended to show how temperature, precipitation, relative humidity, radiation among others; They are climatic factors that in optimal conditions are fundamental for the growth, development and yield in the crop and any alteration of these factors in excess or deficit, cause detriment in the development and potential of yield of the rice crop.

Keywords: Climate, growth, interaction, performance, productivity.

Recibido: 03-03-2021

Aceptado: 28-04-2021

Publicado: 30-04-2021

Introducción

Importancia del cultivo del arroz

El arroz *Oryza sativa* L., es uno de los cultivos con mayor importancia a nivel mundial, es el cereal que más se consume en el mundo después del trigo.

Se trata de un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, pero también se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtrópicos y en climas templados y mediterráneos. El cultivo se extiende desde los 49-50° de latitud norte a los 35° de latitud sur. El arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2.500 metros de altitud.

Para el caso de Colombia, según IV Censo Nacional Arrocero informaron que para el 2016 se sembraron en todo el país 570.802 hectáreas y producción (2.971.975 toneladas de paddy verde); distribuidas en 211 municipios de Colombia, las cuales están ubicadas en las siguientes zonas: Zona Centro con 151.067 hectáreas; Zona Llanos con 258.292 hectáreas; Zona Costa Norte con 30.125 hectáreas; Zona Bajo Cauca con 90.751 hectáreas y la

Zona de Santanderes con 40.568 hectáreas. De las 570.802 hectáreas que se siembran en Colombia, el 54,87% se realiza con el sistema de secano mecanizado con un área de 313.240 hectáreas. Lo que indica que la siembra del cereal está condicionado a los factores climáticos imperantes en cada zona.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2004), menciona que los factores climáticos tales como la temperatura, la precipitación, la humedad del suelo, la radiación solar y el viento tienen influencia sobre el rendimiento del arroz ya que afectan el crecimiento de la planta y los procesos fisiológicos relacionados con la formación del grano.

La temperatura, la radiación solar y la precipitación pluvial afectan directamente los procesos fisiológicos de la planta de arroz. Estos factores inciden en la producción de grano, e indirectamente afectan en la presencia de plagas y enfermedades del cultivo. Aparte de lo anterior, los suelos deben ser aptos para el cultivo, con características que permitan una adecuada retención de agua y disponibilidad de nutrientes (Fernández, 2013; González-Pedraza *et al.*, 2019).

Autor de correspondencia: Buelvas Jiménez Miguel.

Ingeniero Agrónomo. Área de Asistencia Técnica de Fedearroz– Fondo Nacional del Arroz Fedearroz. Bolívar, Colombia. Correo electrónico: miguelbuelvas@fedearroz.com.co

Por tal motivo se realizó una revisión bibliográfica de los factores ambientales que inciden en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo del arroz a través de publicaciones electrónicas de revistas indexadas, no indexadas y libros que refieren al tema de la importancia de identificar cada una de las fases de desarrollo de la planta de arroz, la interacción con los factores climáticos como la precipitación, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, luminosidad y vientos y cómo influyen sobre el crecimiento, desarrollo de la planta y el potencial de rendimiento del cultivo.

Crecimiento y desarrollo de la planta de arroz

Se puede definir al crecimiento como el aumento irreversible de volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa celular y formación de nuevas estructuras que componen su arquitectura, se presenta la diferenciación gradual y se forman las raíces, los tallos, las hojas y al final las flores y los granos (Courtis, 2014).

El desarrollo comprende el crecimiento que indica los cambios cuantitativos que se dan durante el desarrollo y diferenciación. El desarrollo comprende tres procesos que conforman en conjunto el ciclo de vida de la planta; crecimiento, diferenciación y envejecimiento (senescencia) y muerte (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

El crecimiento de una planta de arroz depende de muchos factores y puede variar con las condiciones climáticas. El factor climático con mayor influencia en el ciclo del cultivo es la temperatura, donde para alcanzar los distintos eventos fenológicos se requiere una determinada cantidad de unidades de calor acumuladas; y las distintas variedades difieren en los valores de calor que necesitan (Roel, 1997). Durante la etapa de crecimiento de la planta de arroz la temperatura media, patrones de distribución y los cambios diarios, están altamente correlacionados con el rendimiento en grano (De Datta, 1981).

Según estudios realizados por Yoshida (1981), reportó las temperaturas óptimas en rangos entre 20 a 35 °C variando para las diferentes etapas de desarrollo de la planta de arroz. En cuanto a la radiación solar diaria promedio presento una correlación muy alta con la cantidad de macollas que producirán inflorescencia (Ferreira y Mountauban, 1998).

Los factores más críticos que afectan la producción del arroz son el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación que reduce la disponibilidad de humedad del suelo, primordialmente durante la etapa reproductiva del arroz (Toriyama y Heu, 1982).

Fases de crecimiento del cultivo de arroz

El ciclo del cultivo del arroz puede ser dividido en tres grandes fases: vegetativa, reproductiva y maduración. A su vez, estas fases de crecimiento pueden ser divididas en etapas fenológicas, las cuales determinan el estado de desarrollo del cultivo (Yoshida, 1981).

En un trabajo llevado a cabo por Fedearroz (2017), se realizó una adaptación de las etapas de desarrollo de la planta de arroz; en donde la etapa de crecimiento de la planta está codificada desde G0 a G3 correspondiente a la germinación; de V1 a V9 a la fase vegetativa que va desde la germinación de la semilla hasta el inicio del primordio floral; de R0 a R4 a la fase reproductiva que comienza con inicio de primordio floral hasta floración y de R5 a R9 a la fase de maduración que comienza desde inicio de llenado de grano hasta senescencia. En cada fase de crecimiento se determinaron los diferentes componentes de rendimiento del cultivo. La incidencia del clima como la temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa, energía solar, entre otras y un manejo agronómico como la nutrición, manejo integrado de plagas, manejo de malezas, entre otras, serán determinantes para que la planta pueda expresar todo su potencial genético en la definición de cada componente.

Fase vegetativa

Se inicia con la germinación de la semilla y termina con la diferenciación del primordio floral. En ella se determina el número de panículas por unidad de área. La duración de esta fase puede variar se acuerdo a la variedad y al clima, en términos generales la duración esta entre 35 y 50 días.

Estudios realizados por Sharma y Singh señalan que en ambientes tropicales una variedad de 120 días puede gastar alrededor de 60 días en la fase vegetativa (Sharma y Singh, 2001).

Durante la fase vegetativa máximo macollamiento, la elongación de entrenudos y la iniciación de la panícula ocurre casi simultáneamente en variedades de 105 a 120 días de duración y sucesivamente en variedades de larga duración, más de 140 días y depende básicamente de la variedad y las condiciones de clima, especialmente temperaturas (CIAT, 1985).

La planta de arroz requiere de temperaturas máximas y mínimas adecuadas, así como de diferente número de calorías/cm²/día para alcanzar su mayor potencial, en esta fase de desarrollo, requiere entre 350 y 400 calorías/cm²/día y comprende la germinación y emergencia, el estado de plántula, producción de macollas y formación de tallos, hojas y raíces (FEDEARROZ, 2018).

En esta fase las altas temperaturas incrementan la tasa de emergencia de hojas y se producen más macollas. Bajo condiciones de baja luz, afecta el desarrollo macollas debido a una falta de carbohidratos necesarios para el crecimiento. Esta fase es donde la planta de arroz se vuelve flexible y resistente a las condiciones de estrés hídrico (Garcés y Medina, 2018).

El arroz es un cultivo que ejerce una gran presión sobre el recurso hídrico (PSRH) (LIU 2013). anualmente el cultivo de arroz demanda 4.185 mm³ y de é Federación Nacional de Arroceros. Fondo Nacional del Arroz - FEDEARROZ.

stos, se estima que solo 962 mm³ son consumidos de forma efectiva (González *et al.*, 2010).

Se considera que una precipitación de unos 200-300 mm bien distribuidos por mes, durante el ciclo del cultivo, son necesarios para un buen rendimiento; no obstante, el requerimiento depende mucho del tipo de suelo. Los requerimientos de agua para el cultivo del arroz en suelos arenosos son tres veces mayores que en suelos arcillosos. El período más crítico por necesidad de agua, son los 10 días antes de la floración, la falta de agua en ese período es causa de una gran esterilidad de las flores y por ende los bajos rendimientos (Bebacchio y Avilán, 1991).

Información que coincide con lo expuesto por Garcés y Medina, donde mencionan que el cultivo del arroz requiere una cantidad de agua de alrededor de 700 milímetros bien distribuidos, para todo el ciclo del cultivo. Sin embargo, se necesitan alrededor de 1000 milímetros de precipitación durante la temporada, ya que no toda el agua lluvia puede ser aprovechada por el cultivo. Se calculan unas pérdidas del 30% aproximadamente (Garcés y Medina, 2018).

Fase reproductiva

Se inicia con la diferenciación del primordio floral y termina con la floración del cultivo. Esta fase es caracterizada por la elongación del tallo, emergencia de las hojas decaídas, embuchamiento y llenado de las espiguillas (DEGIOVANNI *et al.* 2004).

Para esta fase es sensible a altas temperaturas o baja radiación, los cuales pueden afectar este proceso. También prácticas inadecuadas como aplicaciones tardías de herbicidas o estrés hídrico. La fase del desarrollo dura hasta la maduración y está marcada por un incremento en el peso de la panícula acompañado por un decrecimiento en el peso de la paja (Sharma y Singh, 2001).

En esta fase la planta de arroz requiere de temperaturas máximas y mínimas adecuadas, así como de diferente número de calorías/cm²/día para alcanzar su mayor potencial, entre 401 y 500 calorías/cm²/día, para formar primordio floral, definir el número de granos por panícula, desarrollo de panícula, floración y polinización (FEDEARROZ, 2018).

Esta es la fase de mayor sensibilidad con respecto al estrés hídrico y que afecta significativamente el desarrollo normal de la planta y por ende la productividad del cultivo (Garcés y Medina, 2018).

Fase de maduración

Inicia con la etapa de floración y termina con la madurez del grano. En esta fase al igual que en la anterior, las condiciones ambientales juegan un papel importante en la fertilización de las flores: vientos cálidos, secos o húmedos, afectan seriamente la fecundación de los estigmas. Temperaturas excesivamente bajas o altas del agua inferior a 18 °C o superiores a 34 °C pueden ocasionar el efecto de vaneamiento (Garcés y Medina, 2018).

En este sentido, lograr un número adecuado de tallos fértiles que soporten espigas con alto número de granos y aumentar la capacidad y eficiencia fotosintética del cultivo, así como optimizar la partición de asimilados, constituyen propuestas fundamentales para el incremento de los rendimientos en el cultivo del arroz, sobre todo en las fases reproductiva y de maduración (Foulkes *et al.*, 2011).

Factores bióticos y abióticos, donde el comportamiento de las temperaturas y la radiación durante las fases fenológicas del cultivo, y sobre todo en la fase reproductiva juegan un papel fundamental por su relación con la esterilidad de las espiguillas (Maqueira *et al.*, 2018). En esta fase la planta de arroz requiere de temperaturas máximas y mínimas adecuadas, así como de diferente número de calorías/cm²/día para alcanzar su mayor potencial, mayor de 500 calorías/cm²/día, que comprende todo el proceso completo de translocación de asimilados para el llenado del grano hasta su madurez fisiológica (FEDEARROZ, 2018).

Relación clima y cultivo de arroz

Existen diferentes factores del clima que tienen efecto sobre la planta de arroz, favoreciendo o perjudicando su crecimiento y la productividad del cultivo. La luminosidad, la precipitación, la humedad relativa y los vientos son los principales elementos del clima que tienen incidencia sobre el cultivo (Castilla *et al.*, 2010).

Para el cultivo del arroz, la temperatura es un factor climático de gran influencia. Las temperaturas del día y de la noche regulan diferentes procesos en la planta como crecimiento, desarrollo y productividad. Durante el día, las temperaturas influyen en la tasa de fotosíntesis y dependen de las variedades; siendo temperaturas entre 32 a 35 °C los rangos óptimos. La floración del cultivo es uno de los momentos más susceptibles a las condiciones de alta temperatura (Garcés y Medina, 2018).

Trabajos realizados en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2009), mencionan que, para cultivar arroz, se debe tener en cuenta que temperaturas por debajo de los 20 °C y por encima de los 32 °C son críticas. Para la germinación del arroz, el crecimiento del tallo, el desarrollo de hojas y raíces, las guías aceptan una temperatura óptima entre 23 °C y 27 °C. Una temperatura superior se presta para que las plantas sean más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Por otra parte, temperaturas muy bajas influyen en la diferenciación de células reproductivas y por ende hay una alta esterilidad de las espigas, esto es determinante en la etapa de “embuchamiento” que ocurre a los 14 a 7 días antes de la formación de la panícula o de la floración del cultivo.

Por otro lado, las altas temperaturas del aire pueden detener la fotosíntesis, evitar la fertilización de los óvulos de las plantas e inducir a una deshidratación; en las plantas C3 la tasa máxima de fotosíntesis está entre temperaturas de 20 y 32 °C, a temperaturas superiores la tasa muestra una declinación y al alcanzar los 40 °C, cesa enteramente,

a esta temperatura la planta se encuentra en shock térmico, buscando la manera de subsistir (Fernández, 2013).

Para el cultivo del arroz se ha determinado que durante la floración un aumento de un grado centígrado en la temperatura entre 30 y 40 °C, reduce la fertilidad y la formación de grano en 10 % (Fernández, 2013).

En cuanto a la radiación solar los requerimientos de luz en el arroz son diferentes según la fase en la que esté el cultivo. Durante la fase vegetativa un sombreado que reduzca de 75 al 25 % de la radiación solar directa, afecta solo ligeramente el rendimiento final. Por el contrario, durante la fase reproductiva, el sombreado reduce notablemente el número de flores, y en consecuencia el rendimiento. El sombreado por cielo nublado durante el período de maduración también reduce el rendimiento; ya que, afecta el llenado del grano. La mayoría de las variedades del trópico son fotoperiódicamente sensitivas (Benacchio y Avilán, 1991).

Según estudios realizados por Martínez *et al.* (2015), indican que el crecimiento vegetativo excesivo del área foliar en las primeras etapas de la planta provoca una disminución de la captación de la radiación solar. Además, agregan que se aumenta la mortalidad de tallos, se debilita el proceso de maduración e incrementa el riesgo de encamado; aspectos que, por lo general, no supone ninguna ventaja al cultivo o incluso reduce su rendimiento.

La precipitación uno de los factores que más cobra importancia, en el sistema de arroz secano mecanizado; porque está sujeto es las condiciones de clima en la zona, la cantidad de milímetros que caigan y algo más importante, y es la frecuencia de dichas lluvias (Castilla *et al.*, 2010).

El nivel recomendado de agua o de humedad en el suelo es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, de las malezas y de las plagas y enfermedades. Bajo condiciones de secano la lluvia es un factor crítico, de lo contrario el cultivo sufre por falta o exceso de agua.

El nivel recomendado de humedad en el suelo es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, de las malezas y de plagas y enfermedades. Bajo condiciones de secano la lluvia es un factor crítico, de lo contrario el cultivo sufre por falta o exceso de agua (Olmos, 2007; González-Pedraza *et al.*, 2019).

Factores climáticos como falta de humedad del suelo, afectan la aparición y duración de las etapas fenológicas de la planta de arroz. Estos factores son capaces de modificar la anatomía, fisiología, morfología y la bioquímica de la planta de arroz (Ramírez *et al.*, 2007).

Aproximadamente la mitad de la superficie cultivable de arroz en el mundo no cuenta con agua suficiente para mantener las condiciones de inundación y el estrés por sequía intermitente en las etapas críticas puede provocar una considerable reducción del rendimiento (Bernier *et al.*, 2008).

La baja disponibilidad de agua representa un desafío para la producción de arroz, ya que cada año se necesita

producir más cereal con menos agua para el riego (Dunn y Gaydon, 2011).

Adicionalmente, es importante destacar que no sólo la falta de agua reduce el potencial de rendimiento, sino también la época y la duración de la sequía, en relación con los procesos fenológicos y a los periodos de inundación, los cuales provocan cambios fisiológicos, fisicoquímicos y microbiológicos en la interacción suelo-planta-agua (Winkel *et al.* 2013).

Se considera que una precipitación de unos 200-300 mm bien distribuidos por mes, durante el ciclo del cultivo, son necesarios para un buen rendimiento; no obstante, el requerimiento depende mucho del tipo de suelo y menciona que en suelos arenosos son tres veces mayores que en suelos arcillosos. El período más crítico por necesidad de agua, son los 10 días antes de la floración, la falta de agua en ese período es causa de una gran esterilidad de las flores y por ende los bajos rendimientos (Bebacchio y Avilán, 1991).

Información que coincide con lo expuesto por Garcés y Medina, donde mencionan que el cultivo del arroz requiere una cantidad de agua de alrededor de 700 milímetros bien distribuidos, para todo el ciclo del cultivo. Sin embargo, se necesitan alrededor de 1000 milímetros de precipitación durante la temporada, ya que no toda el agua lluvia puede ser aprovechada por el cultivo. Se calculan unas pérdidas del 30% aproximadamente (Garcés y Medina, 2018).

Según Castilla y colaboradores, mencionan que la cantidad de precipitación en el periodo del cultivo es importante, pero más relevante aun es la frecuencia con la cual se presentan las lluvias en una región, de manera que se logre mantener un buen contenido de humedad del suelo a lo largo de todo el ciclo de vida (Castilla *et al.*, 2010).

Alternativas para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo del arroz

Según investigadores del programa de CGIAR y CIAT mencionan que se debe definir las áreas como adecuadas o inadecuadas para el cultivo de arroz en Colombia; donde analizaron variables bioclimáticas (precipitación, temperatura), variables topográficas (pendiente, altitud) y de suelo (limo, arena y arcilla), con el propósito de conocer sus condiciones actuales y cómo cambiarán bajo los efectos del cambio climático, lo cual permite inferir que la aptitud de Colombia para el cultivo de arroz va a tener un cambio, por lo cual, si se siguen usando las mismas prácticas tradicionales de siempre, quizás a futuro el cultivo no vaya a tener el mismo rendimiento o simplemente las variedades no se adapten. En ese sentido, debe haber -modificaciones en la estructura agraria o en las zonas cultivadas, porque los cambios en las condiciones climáticas generarán igualmente cambios en la aptitud actual para la siembra de cultivos.

La Federación Nacional de Arroceros de Colombia viene buscando diferentes alternativas para incrementar el potencial de rendimiento de las variedades existentes,

como es el fortalecimiento del manejo integrado de cultivo con prácticas tales como: planificación, manejo agronómico, uso adecuado de la tecnología e implementación de nuevas prácticas que conlleven a mejorar la productividad, disminución de los costos por hectárea y el mejoramiento de la competitividad de los productores. mediante el proyecto Adopción Masiva de Tecnología - AMTEC (FEDEARROZ, 2012).

Como puntos básicos de para el manejo agronómico del cultivo es necesario tener en cuenta: época de siembra donde permita que el cultivo obtenga adecuadas condiciones climáticas que favorezcan su desarrollo y productividad, siendo uno de los factores que más incidencia tiene en el rendimiento del cultivo; en donde para zonas de irrigación las más aconsejables son aquellas que coincidan con periodos de mayor radiación solar y etapas finales del cultivo y en zonas de secano que coincidan con precipitación. Selección adecuada de la variedad de arroz porque presentan un comportamiento particular con respecto al clima (Garcés y Medina, 2018).

Componentes del suelo (físicos, químicos y biológicos), preparación y adecuación de suelos, riego, drenaje y uso racional del agua, entre las practicas que se plantean para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de arroz es necesario adecuar el terreno y realizar labores que ayudan a captar, dirigir, mantener y permanecer la humedad en el suelo e implementar el sistema riego en arroz por múltiples entradas (MIRI), esta tecnología fue diseñada en el año 2003 por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y las Universidades de Arkansas e Missouri. Esta tecnología, se convierte en una alternativa de riego, con su implementación se reduce las pérdidas de agua por infiltración durante la conducción del agua debido al uso de la manguera como sistema de conducción y aumenta la eficiencia de la distribución de una forma controlada debido a las compuertas reguladoras de caudal (ventanas), lo que se conoce como el principio de oportunidad. A diferencia del sistema convencional en el cual el agua ingresa al lote por una única entrada o por varias, pero sin un control de ingreso eficiente (Pineda y Morales, 2018).

Siembra y densidad de plantas para garantizar un mínimo número de plantas por unidad de área que garanticen un alto rendimiento. Nutrición oportuna y balanceada teniendo en cuenta las curvas de absorción de nutrientes, la cual es específica para cada variedad y el fraccionamiento de los nutrientes que está relacionado con las etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo y la oferta ambiental y el monitoreo y manejo fitosanitario (FEDEARROZ, 2018). Actualmente se está avanzando hacia una agricultura de precisión en el cultivo del arroz como una herramienta para medir y manejar la variabilidad espacial con el fin de aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental, para lograr la competitividad y la sostenibilidad del cultivo del arroz.

Conclusiones

Los factores climáticos son primordiales para la productividad, sostenibilidad y competitividad del cultivo del arroz, principalmente en el sistema de arroz secano.

Se debe tener en cuenta los registros históricos de rendimiento del cultivo, conocer la climatología de la región y la predicción climática con el fin de tomar mejores decisiones en cuanto a la época de siembra y variedad de arroz a cultivar en cada zona arroceras del país. Es de gran importancia para el desarrollo normal del cultivo del arroz el poner en práctica las diferentes alternativas para la conservación y uso eficiente del agua, que se verán reflejadas en la productividad.

Para mantener la competitividad y sostenibilidad de la producción arroceras es muy importante conocer los factores climáticos que influyen en cada zona arroceras.

Las aptitudes de las zonas arroceras se pueden ver influenciadas por el cambio climático.

Referencias

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2013): *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2 edición. Booksmedicos.org. McGraw-Hill-Interamericana.
- Benacchio, S. y Avilán, W. (1991): Zonificación agroecológica del cultivo de arroz en Venezuela. *Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, publicaciones FONAIAP*. Maracay. pp. 15.
- Bernier, J., Atlin, G., Serraj, R., Kumar, A. y Spaner, D. (2008). Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(6), 927-939. [archivo PDF]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.3153>
- Castilla, A., Pineda, D., Ospina, J., Echeverry, J., Perafan, R., Garcés, G., Sierra, J. y Diaz, A. (2010). Cambio climático y producción de arroz. *Revista Arroz*, 58 (489), 4-11.
- Centro Internacional De Agricultura Tropical-CIAT. (1985). Investigación y producción de arroz. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. *CIAT, Palmira*, p.19-37, 83- 100.
- Centro Internacional De Agricultura Tropical Ciat y CGIAR. (2019). El cambio climático podría reducir las zonas aptas para sembrar arroz en Colombia. <https://blog.ciat.cgiar.org/es/el-cambio-climatico-podria-reducir-las-zonas-aptas-para-sembrar-arroz-en-colombia/#:~:text=Esta%20informaci%C3%B3n%20seg%C3%BAn%20Fabio%20Castro,las%20variedades%20no%20se%20adaptan.>
- Courtis, A. (2014). *Crecimiento y desarrollo. Fisiología Vegetal*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste – Chaco. Argentina. pp. 1-5.

- De Datta, K. (1981). Principles and practices of rice production. New York, John Wiley and Sons. 618 p.
- Degiovanni, V., Gómez J. y Sierra J. (2004): Análisis de crecimiento y etapas de desarrollo de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). en Montería, Córdoba. *Temas Agrarios*, 9:(1), 21 – 29.
- Dunn, B. y Gaydon, D. (2011). Rice growth, yield and water productivity responses to irrigation scheduling prior to the delayed application of continuous flooding in south-east Australia. *Agricultural Water Management*, 98(12), 1799-1807. [archivo PDF]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377411001508>.
- Federación Nacional de Arrozeros. Fondo Nacional del Arroz - FEDEARROZ. (2012): *Adopción Masiva de Tecnología – AMTEC*. Bogotá D. C. Marzo. Colombia.
- Federación Nacional de Arrozeros. Fondo Nacional del Arroz - FEDEARROZ. (2017). *IV Censo Nacional Arroceros*. DANE– División de Investigaciones Económicas. Bogotá D. C. Mayo. Colombia.
- Federación Nacional de Arrozeros. Fondo Nacional del Arroz - FEDEARROZ. (2018). *Adopción Masiva de Tecnología – AMTEC para un sistema de producción*. Bogotá D. C. Noviembre. Colombia
- Fernández, M. (2013). *Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop. Evaluación Del Riesgo Agroclimático Por Sectores*. Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo – FONADE e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Banco Interamericano de Desarrollo – BID.
- Ferreira, E. y Mountauban, F. (1998). *Incidencia de factores climáticos sobre rendimiento y componentes y vías de construcción del rendimiento en cultivares de arroz*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 186 p.
- Foulkes, M., Slafer, G., Davies, W., Berry, P., Sylvesterbradley R. y Martre, P. (2011). Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 469-86. doi:10.1093/jxb/erq300
- Garcés, G. y Medina, J. (2018). Fisiología del cultivo del arroz en el programa AMTEC. Cartilla. *Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz*. 2018. p 6 – 19.
- González, M., Saldarriaga, G. y Jaramillo, O. (2010). *Estimación de la demanda de agua: Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial*. Estudio Nacional del Agua, Capítulo 5. IDEAM, Colombia.
- González-Pedraza, A. F., Orellana, R., y González-Lanza, R. (2019). Efecto del tiempo de inundación sobre la disponibilidad del fósforo (P) en un suelo arrocero de los Llanos Occidentales, Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 44-53. Recuperado a partir de <http://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcyta/article/view/985>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. (2009). *Guía Tecnológica para la Producción de Arroz*. Managua – Nicaragua. Recuperado: 17 de enero de 2021. Disponible en: <http://www.inta.gob.ni/project/guia-tecnologica-del-cultivo-de-de-secano-arroz/>
- Ju, H., Van Der Velde, M., Lin, E., Xiong, W. y Li, Y. (2013). The Impacts of Climate Change On agricultural production systems in China. *Clim. Chang.*, 120, 313–324.
- Liu, M., Lin, S., Dannenmann, M., Tao, Y., Saiz, G. y Zuo, K. (2013). Do water-saving ground cover rice production systems increase grain yields at regional scales. *Field Crops Research.*, 150, 19-28.
- Martinez-Eixarch, M., Catalá, M., Tomás, N., Pla, E., Zhu D. (2015): Tillering and yield formation of a temperate Japonica rice cultivar in a Mediterranean rice agrosystem. *Spanish Journal of Agricultural Research.*, 13(4), 1-12.
- Maqueira, L., Roján, O., Torres, K., Duque, D., Torres, W. (2018). Duración de las fases fenológicas, su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales.*, 39(1).
- Sharma, A. y Singh, B. (2001): Productivity of rice (*Oryza sativa*) as influenced by crop diversification in wheat (*Triticum aestivum*) rice cropping system on mollisols of foothills of Himalayas. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 71(1), 5-8.
- Olmos, S. (2007): *Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético de arroz*. Universidad de Nacional de Corrientes, Argentina.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y La Alimentación - FAO. (2004). *Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos*. (en línea). Recuperado: 15 de febrero de 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>.
- Pineda, D. y Morales, H. (2018). *Principios básicos para el manejo eficiente del agua en el cultivo de arroz en Colombia*. Cartilla. Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz. 27-39.
- Ramírez, E., Alfonso, R., Franco, I. y Rodríguez, S. (2007). *Fenología de la planta de arroz bajo condiciones de estrés hídrico en diferentes*

- fenofases y durante todo el ciclo.* Instituto de Investigaciones del Arroz. pp. 7.
- Roel, A. (1997): *Ecofisiología del cultivo.* In: Arroz; resultados experimentales 1996-1997. Treinta y Tres, Uruguay, INIA. pp. 2-7 (Actividades de Difusión no. 135).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura- UNESCO. (2014). *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.* (en línea). Disponible en: <http://unesco.unesco.org/images/0022/002269/226962s.pdf>. (Consultado: 3 de febrero de 2021).
- Toriyama, K. y Heu, M. (1982): *Rice research strategies for areas of nonoptimal temperatures.* In: International Rice Research Institute ed. Rice research strategies for the future. Los Baños, Philippines, IRRI. pp. 223-237.
- Winkel, A., Colmer, T., Ismail, A. y Pedersen, O. (2013). Internal aeration of paddy field rice (*Oryza sativa*) during complete submergence – importance of light and floodwater O₂. *New Phytologist*, 197(4), 1193-1203. [archivo PDF]. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.12048>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science.* International Rice Research Institute. IRRI. Los Baños, Filipinas

Ciencia y Tecnología Agropecuaria es una revista publicada por la Universidad de Pamplona bajo la licencia: [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (CC BY-NC-SA 4.0)

