





# Comportamiento probabilístico de los componentes de la estación de crecimiento para el arroz en el Valle del Cauca, Colombia

## Probabilistic behaviour of growing season components for rice in Valle del Cauca, Colombia

Jesica Natalia Valencia González <sup>1,3</sup>, Ramón Arteaga Ramírez <sup>1,4</sup>,  
Mario Alberto Vázquez Peña <sup>1,5</sup>, Abel Quevedo Nolasco <sup>2,6</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. <sup>3</sup>  [nvg.912@gmail.com](mailto:nvg.912@gmail.com);  
<sup>4</sup>  [rarteagar@taurus.chapingo.mx](mailto:rarteagar@taurus.chapingo.mx); <sup>5</sup>  [mvazquezp@chapingo.mx](mailto:mvazquezp@chapingo.mx); <sup>6</sup>  [anolasco@colpos.mx](mailto:anolasco@colpos.mx)



<https://doi.org/10.15446/acag.v72n3.108517>

2023 | 72-3 p 266-275 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2023-04-24 Acep.: 2024-03-04

### Resumen

El establecimiento temprano de los cultivos permite definir la época con menor riesgo para la siembra. De tal manera, el objetivo de este estudio es establecer las componentes de la estación de crecimiento para 2 épocas del cultivo de arroz en el sur del Valle del Cauca, Colombia, a los niveles del 20, 40, 60 y 80 % de probabilidad de excedencia y no excedencia. Para ello, se usaron 3 criterios: a) lluvia acumulada por 5 días que supere los 20 mm, b) lluvia acumulada por 5 días que supere los 20 mm; aceptando al menos 3 días de sequía y c) el total de 5 días de lluvia que supere la mitad de la evapotranspiración de referencia. Con la distribución normal estándar inversa se estimaron los componentes de la estación de crecimiento, lo cual arrojó que la fecha más probable de siembra se da al 80 % de probabilidad de no excedencia para ambas épocas de crecimiento. Igualmente, se representaron los resultados en mapas, que permitieron observar que la estación La Independencia es más representativa de la zona de estudio. El inicio de la temporada lluviosa (ILL) se estableció después del inicio de la época de crecimiento, con un 80 % de probabilidad de no excedencia. Respecto a la duración de la época de crecimiento, fue de mínimo 121 y 114 días para la primera y segunda época de crecimiento, respectivamente. Con base en el balance hídrico gráfico se estimó la duración del déficit de lluvias (DDL) y se identificó que la estación Ingenio Miranda tuvo 66 días de sequías y La Independencia fue la ubicación con menos días secos, entre épocas de crecimiento.

**Palabras clave:** época de crecimiento, época de lluvia, duración de la estación de crecimiento, *Oryza sativa* L., precipitación.

### Abstract

Early establishment of crops allows to identify the period with the least risk for planting. The objective of this study was to establish the components of two growing seasons for rice in the South of Valle del Cauca, Colombia, at 20, 40, 60, and 80 % probability of exceeding and not exceeding. Three criteria were used for this purpose: a) cumulative rainfall for five days exceeding 20 mm, b) cumulative rainfall for five days exceeding 20 mm, accepting at least 3 days of drought, and c) the total of five days of rain exceeding half of the reference evapotranspiration. With the inverse standard normal distribution, the components of the growing season were estimated and showed that the most probable planting time is given at 80 % probability of not exceeding for both growing seasons. The results were represented in maps that allowed observing that La Independencia station is the most representative location of the study area. The onset of the rainy season (ORS) was established after the onset of the growing season at 80 % probability of no exceedance. The length of the crop cycle was at least 121 and 114 days for the first and second growing seasons, respectively. Based on the graphical water balance, the duration of the rainfall deficit (DRD) was estimated. It was identified that the Ingenio Miranda station had 66 days of drought and La Independencia was the location with the fewest dry days between growing seasons.

**Keywords:** length of growing season, *Oryza sativa* L., rainfall, rainy season, season.

## Introducción

La disponibilidad de agua durante el ciclo de un cultivo es esencial para el óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas, por ello, la precipitación es un factor altamente crítico, pues, dependiendo de esta, la planta puede sufrir excesos o déficit hídrico (Arunrat *et al.*, 2020). En la agricultura se ha vuelto importante el registro de las variables climáticas; la información contenida en estos registros, integrada a diversas prácticas, permite identificar características específicas de cada lugar de producción (Delerce *et al.*, 2016).

Según explican Degiovanni *et al.* (2010), se ha creído erróneamente que la mayoría de las regiones tropicales arroceras cuentan con las condiciones ambientales propicias para producir arroz en forma continua y competitiva durante casi todo el año. Dada esta creencia, en el sur del Valle del Cauca, Colombia, se ha prestado poca atención a la fecha de siembra; la mayoría de los cultivos de arroz del trópico se siembran según las tradiciones o las épocas de lluvias, y rara vez se programan partiendo de información técnica adecuada.

De acuerdo con Villalba *et al.* (2017), las plantas bianuales requieren de dos estaciones de crecimiento para lograr de manera exitosa sus procesos fisiológicos, ya que no es posible mantener un ambiente constante para la producción, pues este cereal necesita de combinaciones distintas de calor y humedad. En el sur de China, el calendario de siembra se ajusta a menudo, junto con prácticas adecuadas de nitrógeno para aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático (Liu *et al.*, 2020). La necesidad de establecer una fecha oportuna de siembra implica determinar otros componentes, como el inicio de la temporada lluviosa y la duración de la estación de crecimiento, para realizar una oportuna planificación de las actividades agrícolas. Por ende, el objetivo de este estudio es establecer las componentes de la estación de crecimiento para 2 épocas del cultivo de arroz en el sur del Valle del Cauca a los niveles del 20, 40, 60 y 80 % de probabilidad de excedencia y no excedencia. De igual manera, se presenta un procedimiento probabilístico para definir las fechas de los componentes de la estación de crecimiento, además de los que presenta la FAO. También se propone la duración del déficit de lluvia, así como su variabilidad temporal y espacial en el Valle del Cauca para mejorar las prácticas actuales de gestión y aplicación de insumos en el cultivo de arroz.

## Materiales y métodos

Esta sección describe una metodología gráfica-numérica para estimar fechas de siembra, épocas de lluvias y duración de la época de crecimiento del arroz. Se utilizaron datos diarios de estaciones climáticas para elaborar un calendario de cultivo,

dada la falta de este en el sur del Valle del Cauca como fuente de seguimiento y previsión de la producción de arroz en la zona.

## Localización del área de estudio

La ubicación arroceras al sur del Valle del Cauca se extiende aproximadamente entre los 3°5'0" a los 3°20'0" de latitud Norte y entre los 76°10'0" y 76°50'0" de longitud Oeste (Figura 1). El cultivo del arroz estuvo establecido en 2741 hectáreas aproximadamente.

## Información climática

Se emplearon los registros diarios de precipitación (mm) de un periodo de 50 años (1969-2018) para estimar el inicio de la época de crecimiento (IEC) de 9 estaciones climáticas (Figura 1). Para determinar el inicio de la temporada lluviosa (ILL), se emplearon datos diarios de precipitación, temperatura, humedad relativa y horas sol de un periodo de 28 años (1989-2016) de 5 estaciones que poseen la información completa (Tabla 1, Ingenio Bengala, Ciat Quilichao, Independencia, Ingenio Cauca e ingenio Miranda).

## Cantidad de días lluviosos y precipitación (mm)

Se realizó una regresión lineal entre cantidad de días lluviosos y precipitación; con los valores acumulados de 6 meses en ambas secciones del año (de enero a junio y de julio a diciembre), por todo el periodo de estudio de las 5 estaciones que establece el ILL (Tabla 2).

## Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

Se calculó la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Montheith (Allen *et al.*, 2006) a partir de los datos diarios de la temperatura máxima y mínima, humedad relativa y horas sol para el periodo de 1989-2016; de 5 estaciones que tienen información para obtener la ET<sub>o</sub> (Tabla 1, estaciones cod: 1, 2, 3, 4 y 5).

## Componentes de la estación de crecimiento

### Criterios del inicio de la época de crecimiento (IEC)

Se utilizó un registro histórico de 50 años de información diaria de precipitación de 9 estaciones para identificar los componentes de la estación de crecimiento. Esta información fue introducida al programa Instat v+3.37; a través de la sección de herramientas climáticas para la agricultura, con la información adecuada de la capacidad almacenable del suelo (CAS = 100 mm) (Bekele *et al.*, 2017). Los criterios utilizados fueron:

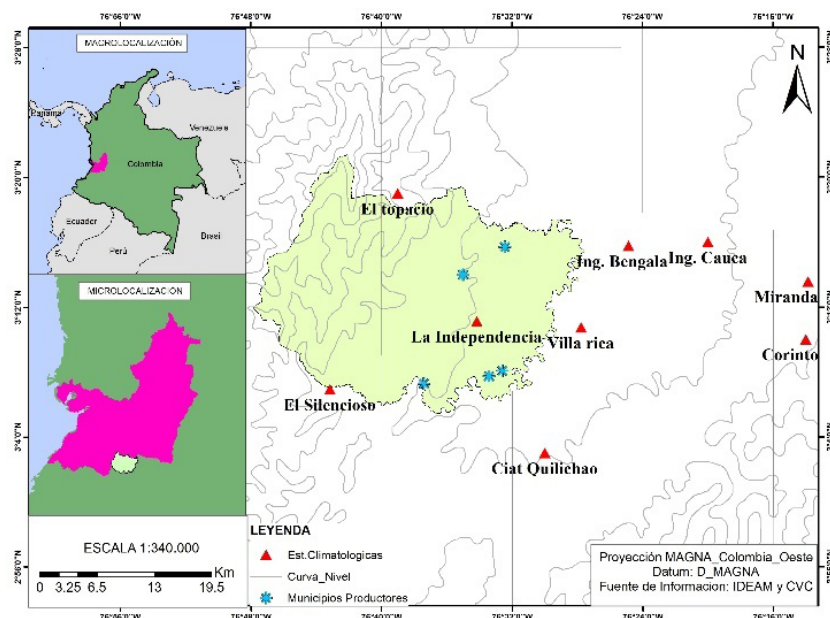


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

**Primero:** primer día en que la lluvia acumulada durante 5 días consecutivos supere los 20 mm (en la zona y los meses correspondientes a febrero y agosto) (Gbangou et al., 2018).

**Segundo:** primer día en que la lluvia acumulada por 5 días supere los 20 mm, aceptando al menos 3 días de sequía (en la zona en los meses correspondientes a febrero y agosto) (Bekele et al., 2017).

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones climatológicas usadas

Código	Estación	Altitud (m s. n. m.)	Latitud (N)	Longitud (W)
1	Ciat Quilichao	977	03°03′	76°30′
2	Ingenio Bengala	1000	03°15′	76°24′
3	Ingenio Cauca	1000	03°14′	76°13′
4	Independencia	963	03°11′8″	76°34′9″
5	Ingenio Miranda	1128	03°16′	76°20′
6	El Topacio	1676	03°19′	76°39′
7	El Silencioso	1151	03°06′	76°43′
8	Villa Rica	1000	03°10′	76°28′
9	Corinto	1100	03°10′	76°14′

Tabla 2. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre la cantidad de días lluviosos y la precipitación en ambas épocas de crecimiento para el periodo 1989-2016

Estación	$R^2$ (1 época de siembra)	$R^2$ (2 época de siembra)
Ciat Quilichao	0.5534	0.4087
Ingenio Bengala	0.4475	0.2819
Ingenio Miranda	0.582	0.5989
Ingenio Cauca	0.6204	0.7375
Independencia	0.2546	0.165

**Tercero:** la primera vez después del 1 de febrero y del 1 agosto cuando el total de 5 días de lluvia supere la mitad de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) (Gbangou et al., 2018).

### Procedimiento probabilístico del inicio de la época de crecimiento (IEC)

Para identificar el día del año en que se da el inicio de la época de crecimiento (IEC) a los niveles del 20, 40, 60 y 80 % de probabilidad de no excedencia, se aplica la *distribución Normal estándar inversa* y se obtiene el valor de  $z$ , que corresponde a cada una de las probabilidades mencionadas previamente (Infante y Zarate, 2012). De la ecuación de  $z$  (Ecuación 1) se despeja el valor de  $x_i$  (Ecuación 2), que corresponde al valor del inicio de la estación de crecimiento en días julianos (Stern et al., 2006).

$$z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde:

$z$ : probabilidad de no excedencia (20, 40, 60, 80 %)  
 $x_i$ : fecha media en que se ha iniciado la época de crecimiento (expresada en días julianos)

$\mu$ : media de días julianos en los que ha iniciado la época de crecimiento para los años de los que se disponen datos en las estaciones

$\sigma$ : desviación estándar

$$x_i = \mu + z \cdot \sigma \quad \text{Ecu. 2}$$

Las probabilidades de  $z$  y el cálculo del  $x_i$  se calcularon en el programa Excel 2018.

## Balance hídrico gráfico para estimar el inicio de la temporada lluviosa (ILL) y la duración de la época de crecimiento (DEC)

Los componentes de la estación de crecimiento del arroz suelen establecerse por el periodo de siembra y cosecha adaptado a las condiciones locales (FAO, 2019). Estos permiten identificar:

a. **Inicio de la estación de crecimiento:** dicha fase indica la transición del periodo seco al periodo intermitente (poca presencia de lluvia y la evapotranspiración de referencia /2).

b y c. **Inicio y fin de las lluvias:** es el periodo durante el cual las precipitaciones superan a la evapotranspiración de referencia.

d. **Fin de periodo vegetativo:** esta fase se produce en el punto en el que la curva de crecimiento se cruza con la evapotranspiración potencial/2.

Se elaboró el gráfico de balance de agua para cada uno de los años de cada estación por medio de los registros diarios precipitación (Figura 2). La intersección de estos define épocas relacionadas con las actividades agrícolas, como: el inicio de la temporada lluviosa, la fecha de siembra y la duración de la época de crecimiento (Gbangou *et al.*, 2019). Así, se determinó el ILL como todos aquellos puntos de intersección “b” y la DEC como la diferencia de los puntos “d-a”. Se obtuvieron fechas en días julianos y la duración de los periodos respectivamente para las 2 secciones de cada año (Gbangou *et al.*, 2018). A ambos procedimientos se les realizó un análisis probabilístico al 20, 40, 60 y 80 %. En el caso de ILL se calculó la probabilidad de no excedencia y para la DEC probabilidad de excedencia.

### Duración del déficit de lluvia (D DLL)

Para conocer la cantidad de días de déficit de lluvia entre ambos periodos de crecimiento (DEC), para las 5 estaciones empleadas, se restó el punto “a” de la segunda época de crecimiento y el punto de “d”

de la primera sección de cada año. Igualmente, Se calcularon estadísticos como: desviación estándar, media y varianza, y se realizó un análisis probabilístico al 20, 40, 60 y 80 % de probabilidad de excedencia con la distribución normal estándar inversa.

Tal es el caso de la estación Ingenio Cauca, que para el año 1994 visualizó los componentes de la estación de crecimiento para ambas épocas: inicios de la estación de crecimiento y su duración, el inicio y fin de las lluvias con su respectiva duración y, además, se detectó el déficit de días sin lluvia.

## Resultados

### Cantidad de días lluviosos y precipitación (mm)

De la regresión lineal elaborada se encontró que en ambas épocas de crecimiento se oferta la precipitación necesaria y adecuada para establecer este cereal; ambas agrupaciones de 6 meses exhiben precipitaciones mayores a 900 mm en más de 90 días; en la segunda época del año las precipitaciones pueden ser similares a las del primer periodo, pero con una cantidad inferior en días; dicha correspondencia se corroboró con los valores del coeficiente de determinación (Tabla 2); se podría pensar que, con una mayor precipitación semestral o altos valores de precipitación acumulada, puede presentarse un IEC anticipado o una DEC reducido.

### Componentes de la estación de crecimiento

#### Establecimiento del inicio de la época de crecimiento (IEC)

En este trabajo se han clasificado los niveles de probabilidad de no excedencia, como: al 20 % probabilidad fecha temprana, al 40 y 60 % fechas promedio, y al 80 % fechas tardías (Ruíz *et al.*, 2012).

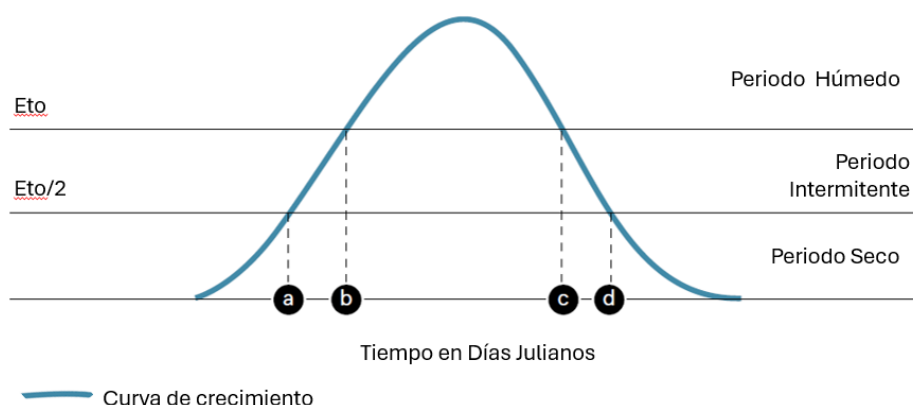


Figura 2. Época normal de crecimiento. Fuente FAO (2019).



Los criterios usados para identificar las fechas de IEC alcanzadas para cada estación exhiben la fecha potencial de siembra, e indican los días con mayor probabilidad de iniciar el ciclo vegetativo del cultivo. Para la primera sección del año, al 20 % de probabilidad de no excedencia, el primer criterio presenta una variación entre estaciones de 1 día; para el segundo criterio, una variación de 5 días; y para el último de 2 días, lo que indica que el inicio de la época de crecimiento temprano se establece al mismo tiempo en toda la zona. La diferencia entre criterios para una misma estación a dicha probabilidad puede ser de 1 a 2 días. En cuanto al 80 % de probabilidad de no excedencia se identifica, que el primer criterio varía entre estaciones 9 días, el segundo 12 días y el tercero 5 días. De hecho, existe una variación de hasta 12 días entre el segundo tercer criterio en la estación Corinto, en la primera época de siembra (Figura 3). En tal sentido, para el 20 % de probabilidad 1 de cada 5 años se establecerá en esa fecha o antes; y al 80 % de probabilidad de no excedencia indica que en 4 de cada 5 años el IEC se establecerá en esa fecha o antes; con este nivel de probabilidad se elimina la posibilidad de un falso comienzo de la temporada de crecimiento (Mupangwa *et al.*, 2011).

Respecto a la segunda sección del año, el 20 % de probabilidad de no excedencia para el primer criterio varía entre estaciones 12 días, el segundo en 19 días y el tercero en 8 días; pero la diferencia entre criterios para una misma estación varía de 2 a 20. En cambio, al 80 % el primer criterio varía en 25 días, el segundo en 23 días y el tercer criterio en 22 días; sin embargo, la diferencia entre criterios para una misma estación puede ser de 5 a 27 días; excepto la estación Ingenio Bengala, que presenta diferencias de hasta 36 días (Figura 4). Moeletsi y Walker (2012)

enfatan que no es ideal establecer las siembras al 20 % de probabilidad de no excedencia, ya que es posible que los cultivos no tengan suficiente agua en el suelo para sostenerse durante las primeras etapas del crecimiento vegetativo; en cambio, el nivel de probabilidad del 80 % se asocia con un bajo riesgo de fracaso de los cultivos durante las primeras etapas de crecimiento y desarrollo.

Con los resultados obtenidos por criterio se puede determinar la época de siembra de cada estación; así mismo el tiempo de ocurrencia entre una fecha de siembra al 80 % de probabilidad de no excedencia respecto a una del 20 % de probabilidad de no excedencia. Es decir, si se decide sembrar bajo el primer criterio, al 80 % de probabilidad de no excedencia, este acontecerá hasta 19 y 38 días después de haber sembrado al 20 % de probabilidad, para la primera y segunda sección del año. El segundo criterio acontecerá 26 y 39 días después de haber sembrado al 20 % para la primera y segunda sección del año y el tercer criterio acontecerá 12 y 33 días después la primera y segunda temporada del año (Figura 5).

### Identificación del inicio de la temporada lluviosa (ILL)

La temporada de lluvias se ha identificado como el primer día de enero o febrero (primera sección del año) y de agosto o septiembre (segunda sección del año), cuando la cantidad de lluvia es igual o excede a la ETo. El ILL suele estar determinado en aquellos días en los que se produce este evento (Tablas 3 y 4). El uso de diferentes niveles de probabilidad de no excedencia pone de manifiesto las fechas de inicio de la temporada lluviosa, en el que se producen más tarde y más temprano para ambas secciones del año.

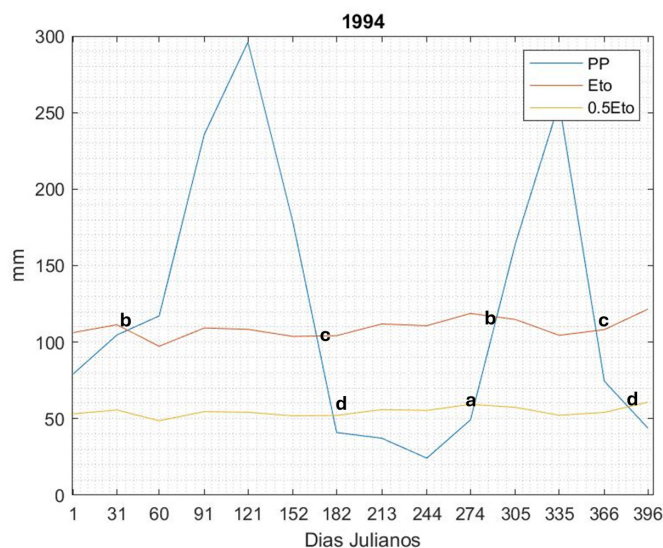
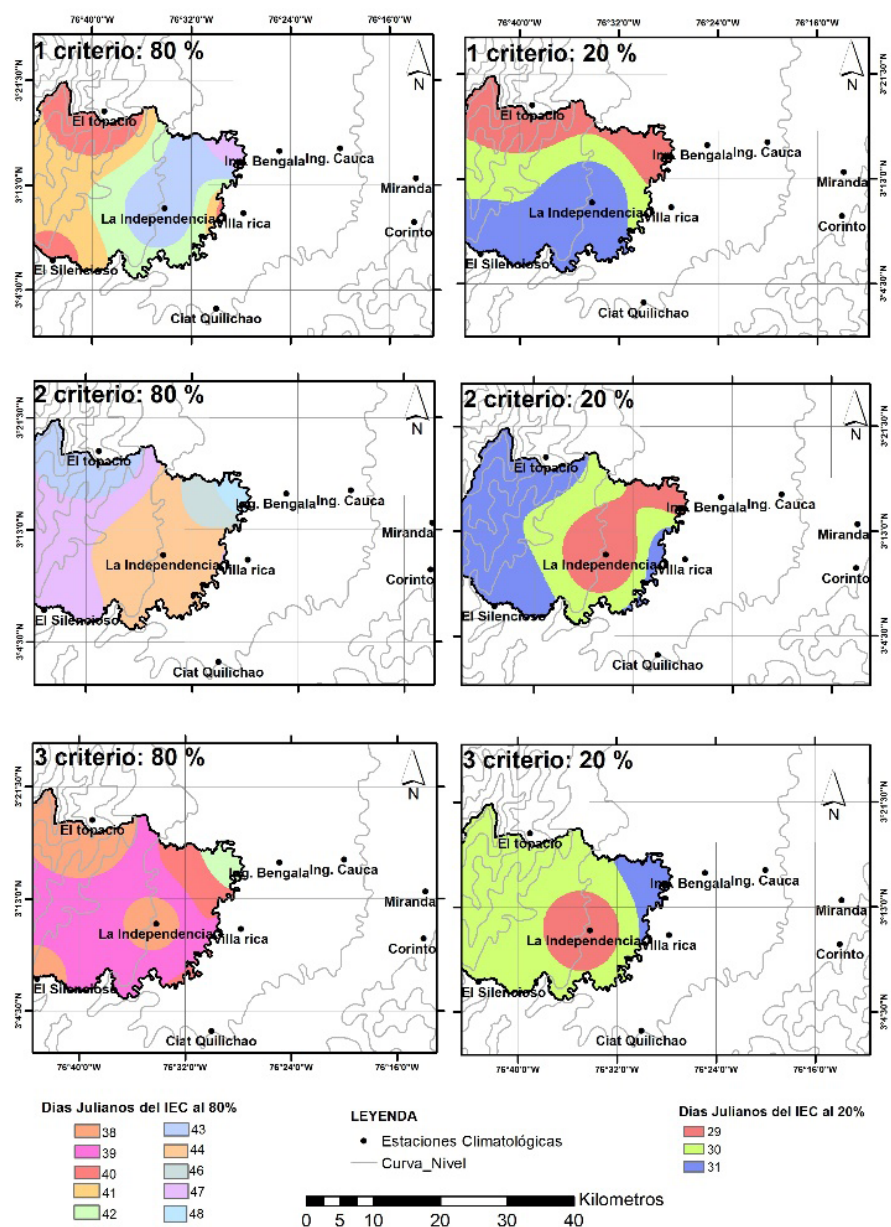


Figura 3. Componentes de la estación de crecimiento para el Ingenio Cauca en el año 1994.



**Figura 4.** Distribución espacial de los 3 criterios al 80 y 20 % de probabilidad de no excedencia para la primera época de crecimiento del arroz en el Valle del Cauca, Colombia. IEC: inicio de la época de crecimiento

### Duración de la época de crecimiento (DEC)

La DEC se presenta a diferentes niveles de probabilidad de excedencia, de los cuales se identifica variación de hasta 7 días en ambas épocas de siembra del año, dentro de cada nivel. Es notorio que a medida que disminuye la probabilidad, los valores de DEC aumentan, lo cual indica que es menos frecuente que ocurran estas cantidades (Tabla 5 y 6).

Estos resultados coinciden con Caicedo (2008), quien observó que, en el corregimiento de Zacarías, Buenaventura, Valle del Cauca, esta variedad ha cumplido su ciclo en un período entre 115 a 130 días e, incluso, se ha extendido hasta 132 días después de la germinación.

### Duración del déficit de lluvia (DDL)

La reducción consistente de días lluviosos se aprecia al 80 % de probabilidad de excedencia, cuyas duraciones serán las que acontezcan en 4 de 5 años, aceptando hasta 9 días de diferencia entre la estación Ingenio Bengala e Ingenio Miranda. No obstante, este nivel de probabilidad indica que en la región se cuenta con alrededor de 2 meses en todas las estaciones, tiempo suficiente para poder llevar una planificación adecuada de la segunda temporada de cultivo (Tabla 7).

Sin embargo, cuando se evalúa la DDL entre las estaciones de crecimiento de diciembre y febrero, se identifica que este periodo es más corto; excepto para

**Tabla 3.** Días julianos del inicio de la temporada lluviosa (ILL) de la primera época del año, para los diferentes niveles de probabilidad

Estación	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	25	39	51	66
Ingenio Bengala	25	46	65	87
Ingenio Cauca	24	32	40	48
Ingenio Miranda	23	34	44	56
La Independencia	19	31	40	52

**Tabla 4.** Días julianos del inicio de la temporada lluviosa (ILL) de la segunda época del año, para los diferentes niveles de probabilidad

Estación	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	247	259	270	282
Ingenio Bengala	269	282	293	306
Ingenio Cauca	256	270	282	296
Ingenio Miranda	242	256	268	282
La Independencia	233	247	258	272

**Tabla 5.** Duración de la época de crecimiento (DEC) en días de la primera época del año, para los diferentes niveles de probabilidad de excedencia

Estación	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	138	133	129	123
Ingenio Bengala	138	134	131	127
Ingenio Cauca	133	130	128	125
Ingenio Miranda	135	132	129	126
La Independencia	134	130	126	121

**Tabla 6.** Duración de la época de crecimiento (DEC) en días de la segunda época del año, para los diferentes niveles de probabilidad de excedencia

Estación	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	134	128	123	118
Ingenio Bengala	134	127	121	114
Ingenio Cauca	133	128	125	120
Ingenio Miranda	129	126	124	121
La Independencia	134	129	124	119

**Tabla 7.** Diferentes niveles de probabilidad de excedencia para la duración del déficit de lluvia (DDLL) entre las 2 épocas de crecimiento de junio-julio

Estación	$\sigma$	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	26	103	88	75	60
Ingenio Bengala	25	101	86	73	58
Ingenio Cauca	19	93	82	73	62
Ingenio Miranda	21	102	89	79	66
La Independencia	16	84	74	66	57

$\sigma$ : Desviación estándar de una muestra

la estación La Independencia, que presentó 23 días de sequía (Tabla 8). La duración de esta sección presenta variaciones de 16 días secos para Ciat Quilichao, 18 para el Ingenio Bengala y el Ingenio Cauca, y 19 para el Ingenio Miranda. Tales variaciones fueron muy similares entre sí, excepto los 21 días secos que exhibió La Independencia. Esto indica que, en la zona de estudio, el periodo de lluvias acontece más pronto entre diciembre y febrero que entre junio y agosto.

## Discusión

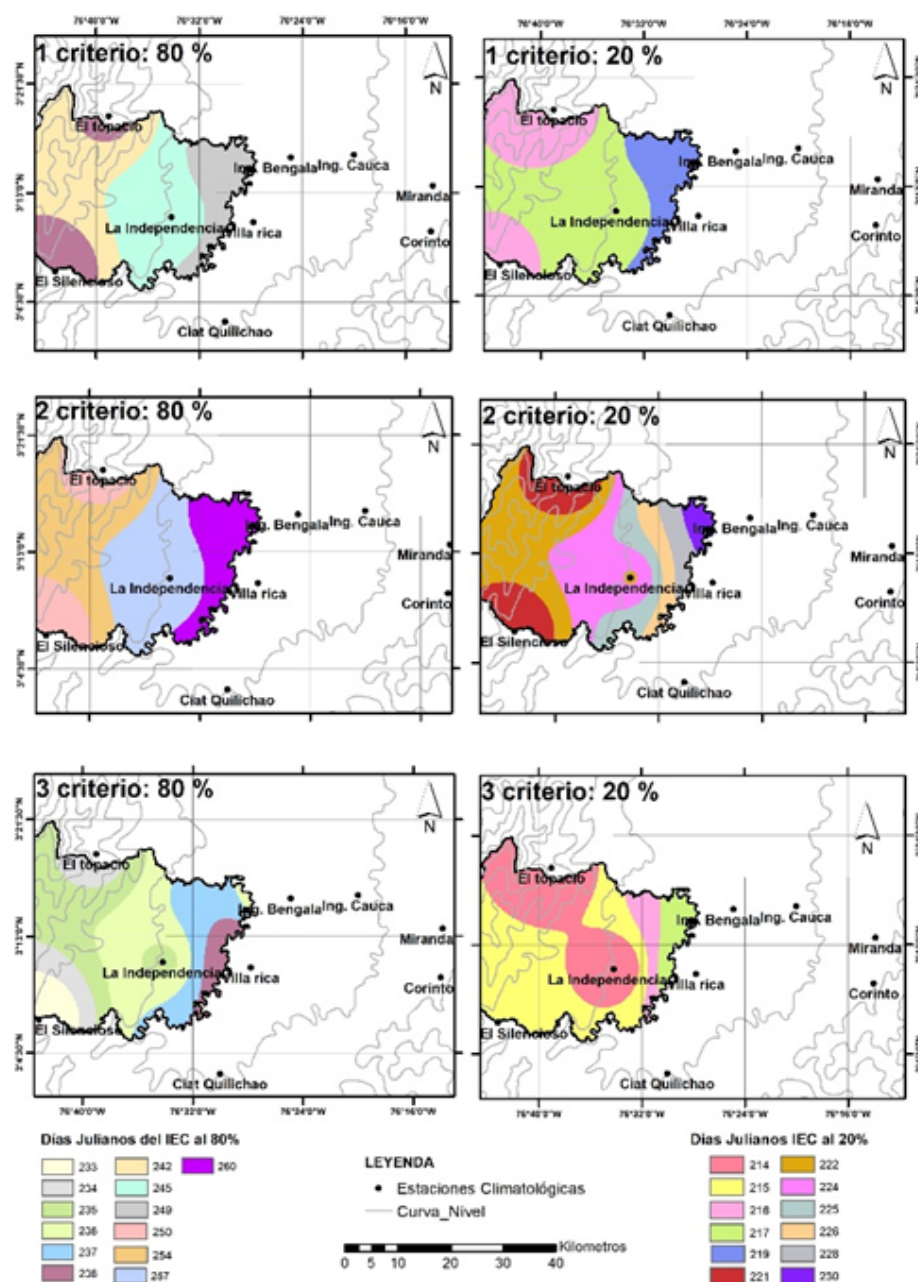
### Componentes de la estación de crecimiento

#### Establecimiento del inicio de la época de crecimiento (IEC)

Una característica apreciable es que los valores obtenidos en los diferentes niveles de probabilidad de no excedencia para el IEC del tercer criterio son días julianos más tempranos que los del primero; los del primer criterio son fechas intermedias y los del segundo criterio son fechas un poco más tardías. El primer criterio señala el inicio de la temporada lluviosa de la zona, y como los cultivos en germinación no evapotranspiran a la tasa completa de la ETo, se eliminan los falsos inicios durante la temporada lluviosa, ya que es la transición de un periodo seco a un periodo intermedio de lluvias (FAO, 2019). Se asume que el intervalo de fechas que promete mayores expectativas de éxito en el establecimiento del cultivo es el que deriva del segundo criterio, ya que este considera un mínimo acumulado de 20 mm de lluvia en, al menos, 2 días y esto expondría al productor a sembrar bajo intensas precipitaciones con cortos periodos de sequía (de 3 días), sin que fracase el cultivo. El tercer criterio no sería suficiente para garantizar el IEC, pues el éxito de este depende de un periodo húmedo que no someta la plantación a estrés durante su desarrollo.

#### Identificación del inicio de la temporada lluviosa (ILL)

Es evidente que, aunque las estaciones no superan los 50 km de diferencia horizontal, unas exhiben el evento lluvioso días antes que otras al mismo nivel de probabilidad (Tabla 3 y 4). Estos valores son discutibles, ya que al 80 % de probabilidad de no excedencia, existe una brecha de 39 y 34 días entre las estaciones, para la primera y segunda temporada de crecimiento respectivamente. Esto indica que las áreas donde se hallan las estaciones poseen diferente oferta climática, lo cual establece la duración del cultivo de forma diferente. Al contrastar la información del IEC e ILL se puede enunciar que la estación que presenta menos días entre el IEC y el ILL a un 80 % de probabilidad de no excedencia es el Ingenio Cauca, seguido por La Independencia,



**Figura 5.** Distribución espacial de los 3 criterios al 80 y 20 % de probabilidad de no excedencia para la segunda época de crecimiento del arroz en el Valle del Cauca, Colombia. IEC. Inicio de la época de crecimiento.

Ingenio Miranda, Ciat Quilichao e Ingenio Bengala para la primera sección del año; y para la segunda sección del año, Ingenio Miranda, La Independencia, Ciat Quilichao, Ingenio Cauca e Ingenio Bengala. A este nivel de probabilidad, la estación Ingenio Bengala se presenta como la estación con más días de diferencia entre el IEC y el ILL, cuyos valores son 38 y 53 días para la primera y segunda época de siembra respectivamente. En este caso, dichas diferencias indican que durante este tiempo pueden ocurrir escenarios desfavorables para el cultivo. En esta estación, será conveniente tomar medidas para

evitar el daño a la siembra por falta de humedad edáfica, ya que el establecimiento de las lluvias a este nivel de probabilidad debe evitar la pérdida de plantas o disminuciones en la densidad de siembra (Ahmed et al., 2014).

Otra característica observada a partir de los valores obtenidos del IEC del segundo criterio y el ILL al 80 % de probabilidad de no excedencia es que la duración entre estos eventos es menor que en los criterios primero y tercero, en ambas épocas de siembra. Este criterio indicaría una fecha ideal para la siembra, ya que recibiría la lluvia de manera oportuna.



Sin embargo, las fechas al 20 % de probabilidad de no excedencia deben ser consideradas en la planeación de la siembra; pues estas indican que el establecimiento de las lluvias tempranas ocurre 1 de cada 5 años. Para este estudio se identifica que a este nivel de probabilidad hay una diferencia del ILL entre la estación La Independencia y Ciat Quilichao de hasta 5 días para la primera temporada del año y entre La Independencia e Ingenio Bengala de 36 días para la segunda época de siembra; lo cual revela que la estación La Independencia establecerá su cultivo de forma exitosa y más temprana que las demás estaciones.

### Duración de la época de crecimiento (DEC)

Para la primera época del año el total de las estaciones cumple con la duración de 115 días de ciclo del cultivo de arroz (Tabla 5); pero no es así en la segunda temporada del año, en la que la estación Ingenio Bengala presenta un valor de 114 días (Tabla 6). Teniendo en cuenta la interpretación de la probabilidad, se libra de esta limitante.

Por otro lado, en Colombia existe una distribución bimodal de lluvias, lo que propicia que exista la plantación de arroz 2 veces al año; esto permite establecer el cultivo garantizando humedad en sus ciclos y el uso de variedades precoces que se caracterizan por presentar ciclos de 115 a 130 días como la Fedearroz 50 (Degiovanni *et al.*, 2004), cuyo rango de días concuerda con el hallazgo de este trabajo.

Es notorio que los valores máximos en la primera sección del año los exhibió la estación Ingenio Bengala y en la segunda época del año, la estación Ingenio Miranda; esto indica que las localidades de esas estaciones tienen las mejores oportunidades para el desarrollo óptimo del cultivo, puesto que la precipitación anual está por encima de 1900 mm con más de 170 días de lluvia para ambas estaciones. En el resto de las estaciones será necesario conocer el agua disponible por precipitación (puntos b y c de la Figura 2) o generar una alternativa de riego para implementar en alguna sección del año.

### Duración del déficit de lluvia (DDLL)

Del análisis del conjunto de datos obtenidos para cada estación, surgió que existe una variación de 25 días carentes de lluvia para las estaciones Ingenio Bengala y Ciat Quilichao, 21 para Ingenio Miranda, 19 para Ingenio Cauca y 16 para La Independencia; lo que indica diferentes umbrales de déficit de lluvia para cada estación (Tabla 7). Esto confirma que la estación La Independencia se ha manifestado como la localización con mayor oferta hídrica para el arroz. Un estudio realizado por Bekele *et al.*, (2016), sobre 12 estaciones en Etiopía, informa que, entre los meses de junio y agosto, existe un descenso de lluvias que genera más de 15 días de sequía, lo que afecta el fin de la época de crecimiento de la primera sección del año y el inicio de la segunda.

Las pérdidas ocasionadas por falta de agua en un cultivo se pueden minimizar con prácticas agronómicas tempranas. Por ende, los resultados y las evidencias expuestas proporcionan soporte concluyente para inferir que el IEC acontecerá antes del inicio de la temporada lluviosa. Esto permite al cultivo establecerse obteniendo una cantidad considerable de lluvias. Adicionalmente, los mapas de distribución espacial exhibieron continuamente un dominio en el IEC en la estación La Independencia. Es así que al presentar mayor precipitación en todo el año, con al menos 57 días de déficit hídrico a mitad de año, se puede catalogar como la estación más representativa del área de estudio. Por último, se han identificado varios documentos que informan épocas de siembra que son equivalentes a los periodos y a la DEC obtenidos como resultados de este trabajo (Tabla 9).

## Conclusiones

Las fechas de inicio de la época de crecimiento (IEC) procesadas con la distribución normal estándar inversa al 80 % de probabilidad de no excedencia permite establecer el cultivo con menor riesgo de fracaso para ambas secciones del año, dado que los 3 criterios empleados dependen de la precipitación acumulada que oferte la zona de estudio. Los datos mensuales han servido como indicadores generales de las estaciones climáticas utilizadas, para estimar

**Tabla 8.** Duración del déficit de lluvia (DDLL) entre las 2 épocas de crecimiento de diciembre-febrero para diferentes niveles de probabilidad de excedencia

Estación	$\sigma$	20 %	40 %	60 %	80 %
Ciat Quilichao	16	36	26	18	9
Ingenio Bengala	18	40	30	21	11
Ingenio Cauca	18	47	37	28	17
Ingenio Miranda	19	43	31	21	10
La Independencia	21	58	46	36	23

$\sigma$ : Desviación estándar de una muestra

**Tabla 9.** Periodos de crecimiento y DEC para el cultivo de arroz en diferentes regiones del mundo

Periodo de la EC	DEC (Días)	Ubicación	Fuente
Enero - mayo	120	Laguna, Filipinas	Alberto <i>et al.</i> (2014)
Enero - mayo	130	Omusati, Namibia	Suzuki <i>et al.</i> (2014)
Enero - mayo, agosto - diciembre	140, 114	Noreste Bangladesh	Hossen <i>et al.</i> (2011)
Mayo - septiembre	150	Provincias de Heilongjiang, Jilin y Liaoning (China)	Zhang <i>et al.</i> (2019)
Junio - noviembre	138	Nanjing, China	Qiu <i>et al.</i> (2019)

otros componentes de la época de crecimiento como: el inicio de la temporada lluviosa y la duración de la época de crecimiento. El balance hídrico gráfico permite apreciar la oferta hídrica para ambas secciones del año. Asimismo, la duración del déficit de lluvia determina que el área de estudio cuenta con alrededor de 2 meses para realizar la planificación de la segunda época de siembra.

## Referencias

- Ahmed, S.; Humphreys, E.; Salim, M. y Chauhan, B. S. (2014). Optimizing sowing management for short duration dry seeded aman rice on the High Ganges River Floodplain of Bangladesh. *Field Crops Research*, 169, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.009>
- Alberto, M. C. R.; Quilty, J. R.; Buresh, R. J.; Wassmann, R.; Haidar, S.; Correa, T. Q. y Sandro, J. M. (2014). Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry-seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, 136, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.005>
- Allen, R. G.; Pereira L. S.; Raes D. y Smith M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. n.º 56 Roma: FAO.
- Arunrat, N.; Pumijumng, N.; Sereenonchai, S.; Chareonwong, U. y Wang, C. (2020). Assessment of climate change impact on rice yield and water footprint of large-scale and individual farming in Thailand. *Science of The Total Environment*, 137864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137864>
- Bekele, D.; Alamirew, T.; Kebede, A.; Zeleke, G. y Melese, A. M. (2016). Analysis of rainfall trend and variability for agricultural water management in Awash River Basin, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 8(1), 127-141. <https://doi.org/10.2166/wcc.2016.044>
- Bekele, F.; Korecha, D. y Negatu, L. (2017). Demonstrating effect of rainfall characteristics on wheat yield: Case of Sinana District, southeastern Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 8, 371-384. <https://doi.org/10.4236/as.2017.85028>
- Caicedo, O. Y. J. (2008). Evaluación de las características agronómicas de cuatro líneas interespecíficas de arroz (*Oryza sativa*/*Oryza latifolia*) comparadas con dos variedades comerciales y una nativa en el corregimiento #8 de Zacarías Municipio de Buenaventura. [Tesis doctoral]. Universidad del Pacífico, Colombia.
- Degiovanni, M. V.; Gómez, J. A. y Sierra, J. M. (2004). Growth, development, and yield components analysis of three rice varieties (*Oryza sativa* L.) in Montería, Córdoba. *Temas Agrarios*, 9(1), 21-29.
- Degiovanni, B. V.; Martínez, R. C. P. y Motta, O. F. (2010) *Producción ecoeficiente del arroz en América Latina* (tomo I). Cali: CIAT, FLAR y Unicórdoba.
- Delerce, S.; Dorado, H.; Grillon, A.; Rebolledo, M. C.; Prager, S. D.; Patino, V. H.; Varon, G. G. y Jiménez, D. (2016). Assessing weather-yield relationships in rice at local scale using data mining approaches. *PLoS ONE*, 11(8), 1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161620>
- FAO. (2019). *Handbook on climate information for farming communities. What farmers need and what is available*. Roma: FAO.
- Gbangou, T.; Sylla, M. B.; Jimoh, O. D. y Okhimamhe, A. A. (2018). Assessment of projected agro-climatic indices over Awun river basin, Nigeria for the late twenty-first century. *Climatic Change*, 151, 445-462.
- Gbangou, T.; Ludwig, F.; van Slobbe, E.; Hoang, L.; y G. Kranjac-Berisavljevic. (2019). Seasonal variability and predictability of agro-meteorological indices: Tailoring onset of rainy season estimation to meet farmers' needs in Ghana. *Climate Services*, 14, 19-30. [10.1016/j.cliser.2019.04.002](https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.04.002)
- Hossen, M. S.; Mano, M.; Miyata, A.; Baten, M. A.; y Hiyama, T. (2011). Surface energy partitioning and evapotranspiration over a double-cropping paddy field in Bangladesh. *Hydrological Process*, 26, 1311-1320.
- Infante, S.; y Zarate, L. (2012). *Métodos estadísticos* (3.ª ed.). Ciudad de México: Trillas.
- Liu, C.; Wang, L.; Le Cock, K.; Chang, C.; Li, Z.; Chen, F.; Liu, Y. y Wu, L. (2020). Climate change and environmental impacts on and adaptation strategies for production in wheat-rice rotations in southern China. *Agriculture and Forest Meteorology*, 292-293, 108136. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108136>
- Moeletsi, M.; y Walker, S. (2012). Rainy season characteristics of the Free State Province of South Africa with reference to rain-fed maize production. *Water SA*, 38(5). [10.4314/wsa.v38i5.17](https://doi.org/10.4314/wsa.v38i5.17)
- Mupangwa, W.; Walker, S. y Twomlow, S. (2011). Start, end and dry spells of the growing season in semi-arid southern Zimbabwe. *Journal of Arid Environments*, 75(11), 1097-1104. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.05.011>
- Qiu, R.; Liu, C.; Cui, N.; Wu, Y.; Wang, Z.; y Li, G. (2019). Evapotranspiration estimation using a modified Priestley-Taylor model in a rice-wheat rotation system. *Agricultural Water Management*, 224, 105755. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105755>
- Ruiz, O. Á.; Arteaga, R. R.; Vázquez, P. M. A.; Ontiveros, C. R. E. y López, L. R. (2012). Inicio de la estación de crecimiento y periodos secos en Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(2), 85-102.
- Stern, R.; Rijks, D.; Dale, I. y Knock, J. (2006). *Instat climatic guide*. Reading University. <https://www.researchgate.net/publication/264879427>
- Suzuki, T.; Ohta, T.; Hiyama, T.; Izumi, Y.; Mwandemele, O. y Iijima, M. (2014). Effects of the introduction of rice on evapotranspiration in seasonal wetlands. *Hydrological Process*, 28, 4780-4794. [10.1002/hyp.9970](https://doi.org/10.1002/hyp.9970)
- Villalba, J. V.; Jarma, A. J. y Combatt, E. M. (2017). Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en Córdoba, Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 9-19.
- Zhang, H.; Zhou, G. S.; Liu, D. L.; Wang, B.; Xiao, D. P. y He, L. (2019). Climate-associated rice yield change in the Northeast China Plain: A simulation analysis based on CMIP5 multi-model ensemble projection. *Science of the Total Environment*, 666, 126-138. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.415>