

EFECTO DEL ÁCIDO ABCSÍCSICO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL ARROZ (*Oryza sativa* L) EN TRES LOCALIDADES DEL NORORIENTE DEL PERÚ

Alan M. Cardoza Sánchez¹, Alan Diaz Sánchez¹, Rene Aguilar Ancocota², Julián Velásquez Guerrero³ y Rosany Facundo Meza³

RESUMEN

El arroz es un cultivo de gran importancia económica en el Perú; sin embargo, el rendimiento se mantiene estable en los últimos años, incluso bajo sistemas de manejo intensivo. En este contexto, el ácido abscísico ha mostrado efectos favorables sobre la regulación del llenado de grano y la mejora de la eficiencia productiva del cultivo. El objetivo del estudio fue evaluar su efecto en el rendimiento y calidad del cultivo de arroz en tres localidades de la provincia de Rioja, región San Martín, Perú. Se emplearon tres dosis (0, 30 y 60 g·ha⁻¹) del producto comercial InGrain® (20 % de ácido S-Abscísico) en un diseño de bloques completamente al azar en cada localidad con tres repeticiones. Posteriormente, se realizó un análisis combinado con el ambiente como factor fijo, evaluándose los efectos de las dosis, el ambiente y su interacción. La dosis de 60 g·ha⁻¹, incrementó significativamente el rendimiento en Yuracyacu (12.135,00 kg·ha⁻¹; 14 % humedad) y en Rioja (11.723,33 kg·ha⁻¹; 19 % humedad), además que redujo en 38 % los granos vanos en esta última localidad. Asimismo, aumentó el rendimiento de pila en 2 % y el porcentaje de granos enteros en 5 %. La variación entre localidades evidenció la influencia del ambiente en la magnitud del efecto, destacando la importancia de la interacción genotipo por ambiente en la expresión productiva. Se concluye que el ácido abscísico puede mejorar el desempeño del cultivo bajo condiciones de campo, aunque su eficacia depende de las condiciones agroclimáticas locales.

Palabras clave adicionales: Hormonas, interacción genotipo por ambiente, llenado de grano, rendimiento de pila

ABSTRACT

Effect of abscisic acid on rice yield quality (*Oryza sativa* L) in three locations of northeastern Peru

Rice is a crop of great economic importance nationally; however, yields have remained stable in recent years, even under intensive management systems. In this context, abscisic acid has shown favorable effects on grain filling regulation and improved crop yield efficiency. The objective of this study was to evaluate its effect on rice yield and quality in three locations in the Rioja province, San Martín region, Peru. Three doses (0, 30, and 60 g·ha⁻¹) of the commercial product InGrain™ (20% S-abscisic acid) were used in a completely randomized block design at each location with three replicates. A combined analysis was subsequently performed with the environment as a fixed factor, evaluating the effects of dose, environment and their interaction. The 60 g·ha⁻¹ dose significantly increased yield in Yuracyacu (12,135.00 kg·ha⁻¹; 14 % humidity) and Rioja (11,723.33 kg·ha⁻¹; 19 % humidity), in addition to reducing empty grains by 38 % in the latter location. It also increased pile yield by 2 % and the percentage of whole grains by 5 %. The variation between locations demonstrated the influence of the environment on the magnitude of the effect, highlighting the importance of the genotype-by-environment interaction in productive expression. It is concluded that abscisic acid can improve crop performance under field conditions, although its effectiveness depends on local agroclimatic conditions.

Additional Keywords: Genotype environment interaction, grain filling, hormones, milling yield

Editor Asociado: Prof. María Elena Sanabria Chópíte.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos a nivel mundial y su importancia radica en su papel fundamental en la

alimentación humana y su contribución a la generación de empleo en áreas rurales (Fukagawa y Ziska, 2019; Uma *et al.*, 2025). Globalmente, en el mundo se cultivan aproximadamente 165 millones de hectáreas, con una producción

Recibido: Agosto 25, 2025

Aceptado: Marzo 4, 2026

¹Universidad Católica Sedes Sapientiae, Jr. Santa Cruz– Sector Nuevo Edén. Nueva Cajamarca, Perú.

e-mail: amcardoza@hotmail.com. (autor de correspondencia); 2021102708@ucss.pe

²Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario Urb. Miraflores. Piura, Perú. e-mail: raguilara@unp.edu.pe

³Instituto Nacional de Innovación Agraria, estación experimental el Chira, Carretera Sullana. Piura, Perú.

e-mail: julsjan@hotmail.com; roxyannaa@gmail.com

superior a 770 millones de toneladas anuales (FAO, 2024). En Perú, éste abarca aproximadamente 441140 ha, siendo el primer productor la región San Martín con 109325 ha (FAO, 2024; MIDAGRI, 2025). A pesar del uso intensivo de fertilizantes, el rendimiento no ha mostrado un incremento significativo, tanto que el promedio nacional se mantiene en alrededor de 8 t.ha⁻¹ (FAO, 2024; MIDAGRI, 2025), lo que sugiere la necesidad de utilizar estrategias complementarias, aunado a la variabilidad climática que puede afectar negativamente al cultivo, especialmente durante las fases reproductivas, al reducir el llenado del grano y el peso final (Zhao *et al.*, 2017; Mahmood, 2022).

La aplicación de productos hormonales a base de ácido abscísico (ABA) representa una alternativa prometedora para optimizar el desempeño ecofisiológico y productivo del cultivo del arroz. Esta fitohormona, cumple funciones clave en la respuesta adaptativa de las plantas al estrés, debido a que promueve el cierre estomático, mejora la eficiencia en el uso del agua y activa los mecanismos de tolerancia celular, favoreciendo la productividad en condiciones adversas (Yang y Zhang, 2010; Alcántara *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2022). El ABA interviene en la regulación del llenado de grano y en la acumulación de reservas durante la fase reproductiva (Tang *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2023).

Chen *et al.* (2019), reportaron que la aplicación de ABA más sacarosa sobre este cultivo, aumentó la producción, la calidad y el peso del grano al mejorar la relación fuente-destino y la acumulación de carbohidratos. Además, Liu *et al.* (2022) demostraron que la aplicación de ABA durante la etapa de espigazón-floración incrementó la proporción de espiguillas llenas, el peso de 1000 granos y el rendimiento en cámara de crecimiento. De manera similar, Liu *et al.* (2023) hallaron que la aplicación exógena de ABA al inicio de espigazón, aumentó la acumulación de almidón y mejoró el peso del grano. No obstante, existe limitada información sobre la respuesta del cultivo ante la aplicación en condiciones de campo y bajo diferentes ambientes en la amazonia peruana. Con base a este planteamiento, se evaluó el efecto de diferentes dosis de ABA, sobre el rendimiento y la calidad del arroz en tres localidades de la provincia de Rioja, región San Martín, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental. El experimento se ejecutó en tres localidades en la región San Martín, Perú: Centro Poblado San Francisco, Yuracyacu y Rioja. Las variables del clima se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones ambientales de las localidades experimentales.

Variable	San Francisco	Yuracyacu	Rioja
Altitud (msnm)	825	817	819
Temperatura máx. (°C)	29	29	28
Temperatura mín. (°C)	17	19	18
Temperatura media (°C)	23	24	23
Humedad relativa (%)	83	85	84
Precipitación (mm)	94	94	94

Valores promedio según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Diseño experimental. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres dosis de aplicación del producto comercial InGrain® (20 % de ácido S-abscísico): 0, 30 y 60 g·ha⁻¹ con tres repeticiones de manera independiente en cada localidad: Yuracyacu (5°55' S; 77°19' W), San Francisco (5°55' S; 77°13' W) y Rioja (6°03' S; 77°08' W), ubicadas en la provincia de Rioja, región San Martín.

Posteriormente, se realizó un análisis combinado donde la dosis fue un factor fijo y la localidad se manejó como factor de ambiente. Cada localidad presentó nueve unidades experimentales de 10 x 10 m y estuvieron separadas entre sí por 5 m. El área total del experimento en cada localidad fue de 40 m de ancho por 40 m de largo. La aplicación se efectuó a los 115 días después del trasplante, en la etapa

Cardoza et al. El ABA y el rendimiento y calidad del arroz en tres localidades del Perú

de inicio de llenado de grano, utilizando un equipo portátil de aspersión a motor, con una capacidad 15 L, para asegurar la distribución uniforme del producto en cada unidad experimental. El uso del producto en esta fase se fundamenta en que el inicio del llenado de grano es un periodo crítico en el cual se intensifica la acumulación de almidón en el endospermo y la movilización de fotoasimilados hacia las espiguillas, procesos que determinan el peso final del grano (Yang y Zhang, 2010; Jiang et al., 2021).

Manejo del experimento. Se utilizó la variedad de arroz “Valor”. El almácigo se estableció en un suelo nivelado y previamente mullido. La siembra se realizó de forma manual y al voleo con semilla certificada previamente desinfectada. Durante el periodo de almácigo se mantuvo la humedad constante mediante riego superficial y se realizaron controles manuales de malezas. Así mismo, el trasplante se efectuó de forma manual a los 15 días después de la siembra a una distancia de 25 x 25 cm utilizando cinco plantas por golpe. La fecha de trasplante fue el 20 de enero del 2024 en Yuracyacu, el 12 de febrero del 2024 en San Francisco, y el 15 de febrero del 2024 en Rioja. El riego se efectuó mediante inundación y durante el desarrollo del cultivo no hubo déficit de agua en las tres localidades, las cuales se encuentran en el valle del Alto Mayo, zona caracterizada por suelos aluviales de textura media a franco arcillosa, aptos para el cultivo de arroz bajo riego. De acuerdo con la zonificación ecológica y económica de la región, estos suelos presentan fertilidad moderada y condiciones de drenaje para sistemas de cultivo bajo sistemas de inundación. El agua de riego proviene de fuentes superficiales de la cuenca del río Mayo, utilizadas tradicionalmente en la producción arrocería y consideradas aptas para uso agrícola en la zona.

Fertilización. Se aplicó de forma manual, en cada zona, 100 kg·ha⁻¹ de fosfato diamónico y 150 kg·ha⁻¹ de urea a los 45 días, al momento y después del trasplante (ddt); además, 150 kg·ha⁻¹ de Nitro S (32-1-2) y 50 kg·ha⁻¹ de cloruro de potasio a los 60 ddt, y 100 kg·ha⁻¹ de cloruro de potasio a los 75 ddt.

Control de malezas, plagas y enfermedades. Se realizó con la aplicación del herbicida pre-emergente butaclor en dosis de 3 L·ha⁻¹, 3 ddt. Para el control de insectos plaga se aplicaron lambdacialotrina + thiametoxam en dosis de 300

mL·ha⁻¹ a los 45 ddt y 100 g·ha⁻¹ de benzoato de emamectina a los 75 ddt. Para la prevención y control de enfermedades se aplicaron 350 mL·ha⁻¹ de propiconazol + difenoconazole a los 75 ddt, 500 mL·ha⁻¹ de difenoconazole + piraclostrobina al 10 % de floración y 500 mL·ha⁻¹ de azoxistrobina + difenoconazole en estado lechoso (etapa posterior a la antesis, caracterizada por la acumulación inicial de almidón en el endospermo, el cual presenta una consistencia blanca y lechosa al presionar el grano). El control químico no interfirió con la acción del ABA.

Cosecha. Se realizó en forma manual el 23 de junio del 2024 en Yuracyacu, en San Francisco el 14 de julio del 2024 y en Rioja el 13 de julio del 2024.

Variables evaluadas

-Número de panículas por m². Se determinó en la cosecha, mediante tres conteos por unidad experimental utilizando un marco de madera de 1 m² colocado aleatoriamente dentro del área útil de cada parcela. El valor final correspondió al promedio de los datos y se utilizó para el análisis estadístico.

-Número total de granos por panícula, número de granos llenos y vanos. Se seleccionaron al azar 10 panículas de cada unidad experimental en la cosecha. Se contabilizaron los granos totales, llenos y vanos, registrándose el valor promedio de los datos.

-Peso de 1000 granos. Se pesaron tres muestras al azar por cada unidad experimental. Cada muestra fue pesada con balanza (Mettler Toledo®) y se determinó el promedio de los datos.

-Rendimiento. Se cosecharon al azar tres muestras de 1 m² de cada unidad experimental; se registró el valor promedio y luego se calculó el rendimiento en kg·ha⁻¹ ajustado al 14 % de humedad del grano.

-Rendimiento de pila. Se pesó una muestra de 500 g de arroz de cada unidad experimental, la cual se trilló usando un equipo eléctrico (Zaccaria®). El rendimiento se calculó como el porcentaje del peso del grano apilado con relación al peso de la muestra.

-Porcentaje de granos enteros y quebrados. Se seleccionó una muestra de 200 g de cada unidad experimental en la que se separaron los granos enteros, de los quebrados, utilizando un tamiz de acero de 20 mesh (Gilson®). Luego se calculó el porcentaje de ambos, dividiendo la cantidad de cada uno entre el total de la muestra.

Análisis estadístico.

Se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5 %. Previamente, se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. El procesamiento de la información se llevó a cabo con el programa Infostat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto en el número de panículas por m².

Con respecto al número de panículas, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos en todas las localidades ($p > 0,05$) (Cuadro 2). Estos resultados coincidieron con lo reportado por Liu *et al.* (2023), quienes mostraron que la aplicación de ABA mejoró el peso de 1000

granos y el porcentaje de espiguillas llenas, pero no se registraron diferencias en el número de panículas entre los tratamientos. De manera similar, Chen *et al.* (2019), mostraron que el ABA incrementó la eficiencia del llenado y el rendimiento del grano, sin afectar la formación de panículas. Por su parte, Chen *et al.* (2022) señalaron que el número de panículas efectivas permaneció constante entre los tratamientos con ABA, mientras que se observaron mejoras en la fotosíntesis, la actividad antioxidante y el peso de grano. En conjunto, estos estudios avalan que el efecto del ABA aplicado en la etapa de llenado se manifestó principalmente sobre la calidad y rendimiento del grano, más que sobre la arquitectura vegetativa del cultivo, como el macollaje o la formación de panículas.

Cuadro 2. Análisis de varianza del efecto del ácido absísico (ABA) y localidad sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del arroz (p -valor).

Fuente/Variable	gl	N° panículas por m ²	N° total granos por panícula	N° granos llenos por panícula	N° granos vanos por panícula	Peso 1000 granos	Rendimiento
Dosis InGrain®	2	0,8327	0,2199	0,0002	<0,0001	0,0009	<0,0001
Localidad	2	0,1469	0,1063	0,3259	0,3370	0,4953	0,0001
Dosis x Localidad	4	0,4139	0,9773	0,9271	0,3436	0,5827	0,00053
CV (%)		4,85	1,29	1,56	12,78	2,82	2,36

gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación. p -valor $\leq 0,05$ indica existencia de significancia.

Efecto en el número total de granos por panícula, número de granos llenos y vanos. El análisis de varianza (Cuadro 2) reveló que el ABA, la localidad y la interacción dosis x localidad, no tuvieron efecto significativo sobre el número total de granos por panícula ($p > 0,05$). Esto indicó que la formación de espiguillas fue estable entre tratamientos y ambientes. La prueba de Tukey (Cuadro 3) confirmó la ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada localidad, con valores entre 128,33 y 132,00 granos por panícula.

Con respecto al número de granos llenos, solo en Rioja existieron diferencias estadísticas con la dosis 60g·ha⁻¹ de InGrain®, resultando en una mejora del 5 % con respecto al testigo. De igual manera, el número de granos vanos fue menor con los tratamientos con InGrain®, pero solo existieron diferencias estadísticas en la localidad

de Rioja ($p \leq 0,05$). La dosis de 60 g·ha⁻¹ de InGrain® redujo el número de granos vanos en Rioja en un 38 % con respecto al testigo. A pesar de que los datos climáticos (Cuadro 1) muestran que no hubo diferencias drásticas en la temperatura media, la humedad relativa ni la precipitación entre las localidades, Rioja presentó una amplitud térmica más moderada (temperatura máxima y mínima sin variaciones extremas), lo que habría favorecido una mayor estabilidad fisiológica durante el llenado de grano. Fluctuaciones diarias de temperatura influyen fuertemente en la traslocación de carbohidratos y la acumulación de almidón (Liu *et al.*, 2021; Shrestha *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2025). Pequeñas variaciones de temperatura (1-2 °C) pueden alterar el equilibrio hormonal y afectar significativamente el desempeño productivo y la calidad del grano, especialmente durante la etapa reproductiva (Xing

Cardoza *et al.* El ABA y el rendimiento y calidad del arroz en tres localidades del Perú

et al., 2024; Liu *et al.*, 2025). Además, temperaturas por encima del rango óptimo (28 °C) durante el llenado de grano, está asociado con una disminución de los granos llenos (Hossain *et al.*, 2024). El ácido absícico juega un papel clave en la regulación de los procesos fisiológicos asociados con el llenado del grano, incluyendo la redistribución de fotoasimilados y la actividad de enzimas relacionadas con la síntesis de almidón (Liu *et al.*, 2023). Chen *et al.* (2019) y Yu *et al.*

(2024) demostraron que aplicaciones de ABA exógeno aumentan la capacidad de llenado y mejoran la proporción de granos llenos, especialmente bajo condiciones ambientales variables. La interacción entre el ABA y el régimen térmico más moderado registrado en Rioja, podría haber favorecido una mayor eficiencia en el llenado del grano, explicando la menor proporción de granos vanos con la dosis de 60g·ha⁻¹.

Cuadro 3. Prueba de medias para el número de total de granos por panícula, número de granos llenos y vanos.

Dosis Ingrain® (g·ha ⁻¹)	Localidad	N° total granos por panícula	N° granos buenos por panícula	N° granos vanos por panícula
0	Yuracyacu	130,00 a	119,33 b	10,67 ab
30	Yuracyacu	130,67 a	122,33 ab	8,33 abc
60	Yuracyacu	131,00 a	123,33 ab	7,67 bc
0	San Francisco	128,33 a	119,00 b	9,33 abc
30	San Francisco	129,67 a	122,00 ab	7,67 bc
60	San Francisco	130,33 a	123,00 ab	7,33 c
0	Rioja	130,67 a	119,33 b	11,33 a
30	Rioja	131,00 a	123,67 ab	7,33 c
60	Rioja	132,00 a	125,00 a	7,00 c

Medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Efecto en el peso de 1000 granos y rendimiento. El rendimiento fue afectado significativamente con la aplicación de ácido absícico en Yuracyacu y Rioja (Cuadro 4). La dosis de 60 g·ha⁻¹ de InGrain® obtuvo el mayor rendimiento con incrementos del 14 % en Yuracyacu y 19 % en Rioja en comparación con el testigo. Con respecto al peso de 1000 granos, los valores de los tratamientos con InGrain® fueron superiores al testigo, pero no se encontraron diferencias estadísticas.

Desde el punto de vista ambiental, las tres localidades presentaron temperaturas medias similares (Cuadro 1); sin embargo, en San Francisco, la menor temperatura mínima (17 °C) combinada con máximas de 29 °C, generó una mayor amplitud térmica diaria durante la fase reproductiva. Aunque estos valores no representan estrés térmico severo, se ha demostrado que variaciones térmicas moderadas afectan la eficiencia del llenado de grano (Zhao *et al.*, 2017; Shrestha *et al.*, 2022; Xing *et al.*, 2024; Liu *et al.*,

2025). Asimismo, una variación de 1 o 2 °C por encima o debajo de la temperatura óptima (22-27 °C) durante el llenado del grano de arroz, acelera o disminuye la acumulación de almidón, reduciendo el peso del grano y el rendimiento total (Liu *et al.*, 2021; Guo *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2025). Estos efectos podrían explicar los resultados en San Francisco. Fluctuaciones térmicas diurnas, además de las condiciones específicas del microclima local, pueden modular la tasa de acumulación de almidón, la proporción de espiguillas llenas y el rendimiento (Krishnan *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2025).

De igual manera, la interacción entre el ABA y las condiciones ambientales específicas de cada localidad podrían haber influido en la magnitud de la respuesta productiva, debido a que el ABA participa en la regulación del llenado de grano y en la movilización de compuestos fotoasimilados hacia las espiguillas, especialmente bajo variabilidad climática (Yang y Zhang, 2010; Liu *et al.*, 2023). El ABA mejora el rendimiento de los

cultivos bajo estrés térmico o altas temperaturas al regular el cierre estomático para controlar la pérdida de agua y de peso del grano; a bajas

temperaturas, promueve la resistencia al frío al aumentar las enzimas antioxidantes y acumular prolina (Liu *et al.*, 2023; Sharma y Sharma, 2023).

Cuadro 4. Prueba de medias para el rendimiento y peso de 1000 granos.

Dosis Ingrain® (g·ha ⁻¹)	Localidad	Peso de 1000 granos(g)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
0	Yuracyacu	33,67 ab	10638,33 de
30	Yuracyacu	35,33 ab	11913,33 ab
60	Yuracyacu	36,33 a	12135,00 a
0	San Francisco	33,33 b	10526,67 de
30	San Francisco	35,33 ab	10996,67 cd
60	San Francisco	35,67 ab	11200,00 bcd
0	Rioja	34,00 ab	9886,67 e
30	Rioja	34,33 ab	11570,00 abc
60	Rioja	35,33 ab	11723,33 abc

Medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Liu *et al.* (2022), demostraron que la aplicación previa de ABA a plantas de arroz sometidas a estrés térmico en condiciones controladas, reportaron un aumento en el porcentaje de espigas llenas y del peso de 1000 semillas, así como mejoras en el rendimiento entre 12,73 y 20,77 %. De manera similar, Liu *et al.* (2023) reportaron que el pretratamiento con ABA, bajo estrés térmico incrementó el rendimiento de grano en 16,5 %. Zhu *et al.* (2022), en condiciones de campo, en plantas de arroz pretratadas con ABA, reportaron incrementos del rendimiento entre 10 y 18 %, principalmente asociados a un aumento en el porcentaje de espiguillas llenas, mientras que el peso de 1000 granos mostró incrementos más moderados, generalmente inferiores al 8 %. El efecto beneficioso de la aplicación exógena de ABA también ha sido reportado en otros cultivos. Yu *et al.* (2024) observaron incrementos del rendimiento en maíz de entre 5,85 y 7,02 % con el uso de ABA en condiciones de campo sin estrés térmico; sin embargo, el ABA no afectó el número de mazorcas ni el de granos por mazorca. Así mismo, Zulfqar *et al.* (2024) reportaron un aumento del 14,34 % en el peso de mil granos de trigo y del 26,93 % en el rendimiento.

Efecto en el rendimiento de pila, porcentaje de granos enteros y quebrados. El análisis de varianza (Cuadro 5) reveló que la dosis de ABA tuvo un efecto significativo ($p \leq 0,05$) sobre el rendimiento de pila y el porcentaje de granos

enteros y quebrados. La localidad afectó únicamente el rendimiento de pila, sin efecto significativo sobre las demás variables. La interacción dosis x localidad no fue significativa para el rendimiento de pila, pero si para granos enteros y quebrados, evidenciando que la respuesta de estas variables dependió del ambiente de evaluación.

La aplicación de ABA afectó de manera significativa la calidad del grano de arroz en todas las localidades evaluadas, aunque con diferencias en magnitud dependiendo del lugar (Cuadro 6). En Rioja y Yuracyacu, la dosis de 60 g·ha⁻¹ fue la que generó el mayor incremento en el rendimiento de pila, alcanzando mejoras del 2 % en ambas localidades, en comparación con el tratamiento sin aplicación. En San Francisco, si bien se observó un aumento en el rendimiento de pila con ABA, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Con respecto al porcentaje de granos enteros, se obtuvieron mejoras en las tres localidades: 5 % en Yuracyacu, 3 % en San Francisco y 2 % en Rioja, lo que refleja un efecto positivo del ABA sobre la calidad molinera del grano.

En conjunto, estos resultados confirman que la aplicación de ABA mejora tanto el rendimiento y la calidad del cultivo de arroz, debido a que esta fitohormona favorece el desarrollo reproductivo y la acumulación de reservas en el grano (Alcántara *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2023). Sin embargo, la magnitud de dicha respuesta, está

Cardoza et al. El ABA y el rendimiento y calidad del arroz en tres localidades del Perú

influenciada por la interacción genotipo x ambiente (G x A) dado que el desempeño de una variedad se incrementa o se reduce en función del

clima o las prácticas de manejo (Saltz *et al.*, 2018; Bratković *et al.*, 2024).

Cuadro 5. Análisis de varianza del efecto del ABA y localidad sobre la calidad en el cultivo del arroz (*p*-valor).

Fuente /Variable	gl	Rendimiento de pila	Granos enteros	Granos quebrados
Dosis InGrain®	2	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Localidad	2	0,0031	0,5342	0,5342
Dosis x Localidad	4	0,1550	0,0201	0,0201
CV (%)		0,51	0,82	4,74

gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación. *p*-valor ≤0,05 indica existencia de significancia.

Cuadro 6. Prueba de medias para la calidad del grano.

Dosis Ingrain® (g·ha ⁻¹)	Localidad	Rendimiento de pila (%)	Granos enteros (%)	Granos quebrados (%)
0	Yuracyacu	70,75 b	82,50 d	17,50 a
30	Yuracyacu	71,13 ab	86,87 a	13,13 d
60	Yuracyacu	72,10 a	86,97 a	13,03 d
0	San Francisco	70,23 b	83,47 cd	16,53 ab
30	San Francisco	70,79 b	85,87 ab	14,13 cd
60	San Francisco	70,97 b	86,23 a	13,77 d
0	Rioja	70,71 b	83,90 bcd	16,10 abc
30	Rioja	70,76 b	85,40 abc	14,60 bcd
60	Rioja	72,02 a	85,93 a	14,07 d

Medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (*p*≤0,05).

Las variaciones térmicas mínimas alrededor del óptimo durante la etapa de llenado de grano pueden producir granos inmaduros, delgados y con peso reducido (Liu *et al.*, 2021; Guo *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2025). Esta respuesta explicaría los hallazgos en la localidad de San Francisco, donde se registraron temperaturas máximas altas combinadas con las mínimas más bajas. Así mismo, coincidieron con lo observado en ensayos que evalúan la interacción genotipo x ambiente en arroz bajo condiciones de campo, donde pequeños cambios en los factores ambientales determinan la variabilidad en la productividad de los genotipos (Ghazy *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2025). Huang *et al.* (2021), en ensayos multilocales con variedades de arroz cultivadas en ambientes

templados, subtropicales y tropicales evidenciaron que la interacción genotipo x ambiente contribuyó de forma significativa a la variación del rendimiento de grano, representando cerca del 37 % de la variación total en algunos experimentos, lo que indica que las condiciones climáticas locales influyeron fuertemente en la expresión de los caracteres agronómicos entre genotipos. De forma similar, Sharifi *et al.* (2017), demostraron que la variación fenotípica en el rendimiento del arroz bajo diferentes ambientes, se debió en gran parte a la interacción entre los genotipos con las condiciones ambientales, llegando a explicar hasta el 41 % de la variación total. Estos resultados indicaron que pequeños cambios en factores como temperatura, humedad o disponibilidad de agua

pueden ocasionar respuestas distintas entre similares o diferentes materiales genéticos (Lee *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

La aplicación de ácido abscísico (InGrain®) tuvo un efecto positivo y significativo sobre el rendimiento y la calidad del cultivo de arroz. cv. Valor, con diferencias dependientes del ambiente. La dosis de 60 g·ha⁻¹ mostró el mejor efecto, al alcanzar los mayores rendimientos y una reducción de granos vanos en Yuracyacu y Rioja. Además, la mejora productiva estuvo acompañada de un efecto relevante en la calidad molinera, reflejado en un mayor rendimiento de pila y porcentaje de granos enteros, lo que refuerza la relación entre la regulación hormonal y la eficiencia en el llenado de grano. Aunque en San Francisco la respuesta no alcanzó significancia estadística, la tendencia observada mantiene coherencia con el comportamiento general registrado en los otros ambientes. Finalmente, estos hallazgos respaldan el potencial del ABA para optimizar el desempeño productivo del cultivo de arroz de manera más sostenible y con mayor capacidad de adaptación.

LITERATURA CITADA

- Alcántara, J., J. Acero, J. Alcántara y R. Sánchez. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova* 17(32): 109-129.
- Bratković, K., K. Luković, V. Perišić, J. Savić, J. Maksimović, S. Adžić *et al.* 2024. Interpreting the interaction of genotype with environmental factors in barley using partial least squares regression model. *Agronomy* 14(1): 194.
- Chen, T., G. Li, M. Islam, W. Fu, B. Feng, L. Tao y G. Fu. 2019. Abscisic acid synergizes with sucrose to enhance grain yield and quality of rice by improving the source-sink relationship. *BMC Plant Biology* 19: 525.
- Chen, G., D. Zheng, N. Feng, C. Zhou, D. Mu, L. Liu *et al.* 2022. Effects of exogenous salicylic acid and abscisic acid on growth, photosynthesis and antioxidant system of rice. *Chilean Journal of Agricultural Research* 82(1): 21-32.
- FAO. 2024. FAOSTAT Statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fukagawa, N. y L. Ziska. 2019. Rice: Importance for Global Nutrition. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 65: S2-S3.
- Ghazy, M. I., M. Abdelrahman, R. El-Agoury, T. El-hefnawy, S. EL-Naem, E. Daher y M. Rehan. 2023. Exploring Genetics by Environment Interactions in Some Rice Genotypes across Varied Environmental Conditions. *Plants* 13(1): 74.
- Guo, Y., H. Luo, J. Yi, Y. Zhu, X. Ma, Y. Jiang *et al.* 2025. Effects of High Temperature at Grain Filling Stage on Grain Quality and Gene Transcription in Heat-Sensitive Versus Heat-Tolerant Rice Cultivars. *Agronomy* 15(3): 668.
- Huang, X., S. Jang, B. Kim, Z. Piao, E. Redona y H. Koh. 2021. Evaluating genotype × environment interactions of yield traits and adaptability in rice Cultivars Grown under temperate, subtropical and tropical environments. *Agriculture* 11(6): 558
- Jiang, Z., Q. Chen, L. Chen, H. Yang, M. Zhu, Y. Ding *et al.* 2021. Efficiency of sucrose to starch metabolism is related to the initiation of inferior grain filling in large panicle rice. *Frontiers in Plant Science* 12: 732867
- Lee, S.Y., H. Lee, C. Lee, S. Ha, H. Park, S. Lee *et al.* 2023. Multi-environment trials and stability analysis for yield-related traits of commercial rice cultivars. *Agriculture* 13(2): 256.
- Liu, W., T. Yin, Y. Zhao, X. Wang, K. Wang, Y. Shen *et al.* 2021. Effects of high temperature on rice grain development and quality formation based on proteomics comparative analysis under field warming. *Frontiers in Plant Science* 12 :746180
- Liu, X., P. Jing, H. Yang, Y. Ding, J. Fu, J. Liang y C. Yu. 2022. Priming effect of abscisic acid on high temperature stress during rice heading-flowering stage. *Chinese Bulletin of Botany* 57(5): 596-610.

14. Liu, X., X. Zhong, J. Liao, P. Ji, J. Yang, Z. Cao *et al.* 2023. Exogenous abscisic acid improves grain filling capacity under heat stress by enhancing antioxidative defense capability in rice. *BMC Plant Biology* 23: 619.
15. Liu, Z., D. Xu, R. Wang, X. Guo, Y. Song, M. Wang y Y. Cai. 2025. Effects of Temperature Fluctuations on the Growth Cycle of Rice. *Agriculture* 15(1): 99.
16. Mahmood, A., I. Ali, W. Wang, S. Ata-Ul-Karim, B. Liu, L. Liu *et al.* 2022. Individual and Combined Effects of High-Temperature Stress at Booting and Flowering Stages on Rice Grain Yield. *Agronomy* 12(12): 3092
17. Ma, H., Y. Jia, W. Wang, J. Wang, D. Zou, J. Wang *et al.* 2025. Effects of low-temperature stress during the grain-filling stage on carbon-nitrogen metabolism and grain yield formation in rice. *Agronomy* 15(2): 417.
18. MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2025. Perfil productivo regional. Arroz.
19. Rahman, M., Z. Alam, A. Islam, M. Hossain, N. Munna, M. Islam *et al.* 2025. Evaluating genotype \times environment interactions for selecting high-yielding stable rice varieties under water stagnant conditions. *Ecological Genetics and Genomics* 37: 100398.
20. Saltz, J., A. Bell, J. Flint, R. Gomulkiewicz, K. Hughes y J. Keagy. 2018. Why does the magnitude of genotype-by-environment interaction vary? *Ecology and Evolution* 8(12): 6342-6353.
21. Sharifi, P., H. Aminpanah, R. Erfani, A. Mohaddesi y A. Abbasian. 2017. Evaluation of Genotype \times Environment Interaction in Rice Based on AMMI Model in Iran. *Rice Science* 24(3): 173-180.
22. Sharma, R. y P. Sharma. 2023. Role of Abscisic Acid in Plant Stress. *In: A. Basharat y I. Javed (eds.). New Insights Into Phytohormones (IntechOpen)*. pp.1-27
23. Shrestha, S., J. Mahat, J. Shrestha y K. Paudel. 2022. Influence of high-temperature stress on rice growth and development. A review. *Heliyon* 8(12): e12651
24. Tang, T. H. Xie, Y. Wang, B. Lü y J. Liang. 2009. The effect of sucrose and abscisic acid interaction on sucrose synthase and its relationship to grain filling of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany* 60(9): 2641-2652
25. Uma, A., D. Okello y F. Opondo. 2025. Rice production potential and potential benefits from rice area expansion in Kenya: a literature review. *Discover Sustainability* 6: 1160.
26. Yang, J. y J. Zhang .2010. Grain-filling problem in 'super' rice, *Journal of Experimental Botany* 61(1): 1-5.
27. Yu, T., Y. Xin y P. Liu. 2024. Exogenous abscisic acid (ABA) improves the filling process of maize grains at different ear positions by promoting starch accumulation and regulating hormone levels under high planting density. *BMC Plant Biol* 24(1): 80
28. Zhao, C., B. Liu, S. Piao, X. Wang, D.B. Lobell, Y. Huang *et al.* 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (35): 9326-9331.
29. Zhu, A., J. Li, W. Fu, W. Wang, L. Tao, G. Fu *et al.* 2022. Abscisic acid improves rice thermo-tolerance by affecting trehalose metabolism. *International Journal of Molecular Sciences* 23(18): 10615.
30. Zulfiqar, B., M.A.S. Raza, M. Saleem, M. Mushtaq, G.A. Shah, A. Rehman *et al.* 2024. Abscisic acid improves drought resilience, growth, physio-biochemical and quality attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.) at critical growth stages. *Scientific Reports* 14: 20411.

