



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

**EVALUACIÓN DE TRES FUENTES DE FÓSFORO
EN ARROZ (ORYZA SATIVA L.) EN UN
INCEPTISOL DEL BOSQUE HÚMEDO
TROPICAL DEL PACÍFICO COLOMBIANO**

**EVALUATION OF THREE SOURCES OF PHOSPHORUS IN RICE
(ORYZA SATIVA L.) IN AN INCEPTISOL FROM THE TROPICAL
HUMID FOREST OF THE COLOMBIAN PACIFIC**

Dagoberto Torres Valencia

Universidad del Pacífico, Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13441

Evaluación de Tres Fuentes de Fósforo en Arroz (*Oryza Sativa L.*) en un Inceptisol del Bosque Húmedo Tropical del Pacífico Colombiano

Dagoberto Torres Valencia¹

dtorres@unipacifico.edu.com

<https://orcid.org/0000-0001-8111-0647>

Universidad del Pacífico

RESUMEN

Los suelos del Pacífico vallecaucano se destacan por su acidez y su alta capacidad de retención de fósforo, que es esencial en nutrición vegetal. De hecho, los contenidos de fósforo asimilable son insuficiente en estos ambientes tropicales. Además, la productividad local del cultivo de arroz es inferior a la media producida en Colombia, debido a: (i) las prácticas utilizadas por la mayoría de los productores agrícolas, (ii) la no de fertilización y (iii) las condiciones climáticas del bosque húmedo tropical. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la aplicación de tres fuentes de fosfatos al suelo y sus respectivas mezclas sobre el rendimiento de dos variedades de arroz; chino grande (variedad local) y Fortaleza 5-30 (variedad comercial). La investigación se realizó en un inceptisol con un pH ácido (<5.4), ubicado en la vereda Zacarías en la zona rural de Buenaventura, en el Valle del Cauca-Colombia. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con 24 unidades experimentales para evaluar el impacto de las tres fuentes de fósforo: Roca Fosforita Huila (RFH), Fosfato Di amónico (DAP) y Abono Paz del Río (APR) en el rendimiento de las variedades de arroz "chino grande" y Fortaleza 5–30, sembradas en condiciones de secano. Los tratamientos RFH [Roca Fosforita Huila(T2)] produjeron los mayores rendimientos en este estudio, produciendo 3,5 toneladas por ha⁻¹ en la variedad Fortaleza 5–30, y los tratamientos 70/30 [70%RFH–30%APR(T6)] produjeron 3,4 toneladas por ha⁻¹ en la variedad china grande. El documento discute los resultados de la investigación.

Palabras clave: h₂po⁻⁴, hpo₄²⁻, roca fosforita huila (rfh), fosfato di amónico (dap), abono paz del río (apr).

¹ Autor principal: Docente investigador, Programa de Agronomía –
Correspondencia: dtorres@unipacifico.edu.com

Evaluation of Three Sources of Phosphorus in Rice (*Oryza Sativa* L.) in an Inceptisol from the Tropical Humid Forest of the Colombian Pacific

ABSTRACT

The soils of the Pacific region of Valle del Cauca are characterized by their acidity and high phosphorus retention capacity, which is essential for plant nutrition. In fact, assimilable phosphorus levels are inadequate under these tropical conditions. In addition, local rice productivity is lower than the average produced in Colombia due to: (i) the practices used by most farmers, (ii) the lack of fertilization, and (iii) the rainforest climatic conditions. The objective of this study was to evaluate the effects of the application of three phosphate sources to the soil and their respective mixtures on the yield of two rice varieties; Chino Grande (local variety) and Fortaleza 5-30 (commercial variety). The research was carried out in an inceptisol with an acid pH (<5.4), located in the village of Zacarías, in the rural area of Buenaventura, Valle del Cauca-Colombia. A split-plot design with 24 experimental units was used to evaluate the effect of three phosphorus sources: Roca Fosforita Huila (RFH), Di Ammonium Phosphate (DAP) and Abono Paz del Rio (APR) on the yield of rice varieties "chino grande" and Fortaleza 5-30, grown under rainfed conditions. The highest yields in this study were obtained by the treatments RFH [Roca Fosforita Huila (T2)] with a production of 3.5 tons ha⁻¹ in the variety Fortaleza 5-30; and 70/30 [70%RFH - 30%APR(T6)] with 3.4 tons ha⁻¹ in the variety Chino Grande. The paper includes a discussion of the research results.

Keywords: H₂PO₄⁻; HPO₄²⁻, huila phosphorite rock (rfh), diammonium phosphate (dap), paz del río fertilizer (apr)

Artículo recibido 05 agosto 2024

Aceptado para publicación: 10 septiembre 2024



INTRODUCCIÓN

La carencia de fósforo (P) es uno de los factores a tener en cuenta cuando se pretende cultivar un cereal importante como el arroz (Saito *et al.*, 2019) situación que igualmente se demuestra en suelos del Trópico Húmedo del Pacífico colombiano los cuales son ácidos y poco productivos, en consecuencia, las respuestas de los cultivares (no amoldados a esta biósfera reseñada) frente a la demanda de este elemento alcanzan valores más altos que las del nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y elementos menores. Conjuntamente de la escasez de (P) se suma al gran poder de adherencia del mismo.

El nitrógeno (N), el potasio (K) y el fósforo (P), son macronutrientes fundamentales para la evolución y progreso de las vegetaciones y su disponibilidad afecta el rendimiento de los cultivos entre estos el arroz. (Wang *et al.*, 2020), el fósforo es escaso; este es uno de los principales nutrientes y su falta en las plantas dificulta el crecimiento y la productividad. Este elemento es aprovisionado al suelo en como abonos fosfatados (sintéticos) como también de forma orgánica pero una parte es consumida por las plantas y la otra dinámicamente forma compuestos insolubles con otras sustancias. Los fosfatos solubles son las fuentes más comunes utilizadas actualmente en la producción de cultivos en suelos tropicales; sin embargo, presentan baja eficiencia y son más costosos que la roca natural (Bettoni-Tales *et al.*, 2020).

Los fertilizantes fosfatados convencionales suelen ser altamente solubles en agua y se solubilizan rápidamente cuando se humedecen con la solución del suelo. Sin embargo, si el P puede reaccionar con la fase coloidal del suelo, volviéndose menos disponible con el tiempo, en esta situación es más pronunciado en suelos tropicales ácidos con alta capacidad de adsorción de P. (Raniro *et al.*, 2021).

De acuerdo con Alves *et al.*, (2020) los suelos de la sabana brasileña son generalmente ácidos y tienen baja disponibilidad de nutrientes, por lo que se debe investigar el uso de insumos alternativos para mejorar su fertilidad; estas condiciones son similares a las del Pacífico colombiano y es importante estudiar cómo se mantiene más la materia orgánica para equilibrar la acidez y proporcionar mejor disponibilidad nutricional para las plantas.

Los óxidos en suelos ácidos en la desintegración de la materia orgánica en circunstancias de inundación junto con el hidróxido de calcio pueden ser responsables de la disminución de la movilidad del P (Zhang



et al., 2022), pero hay unas bacterias que son microorganismos especializados capaces de mejorar la solubilidad del P y es factible para mejorar la presencia de este componente en la solución del suelo, con miras a la productividad de cultivos. Los óxidos de hierro son unos minerales importantes de los cuales se puede decir que están distribuidos en diferentes porcentajes y entre mayor sea la proporción así mismo será la disponibilidad del P.

En ese sentido, los estudios realizados por Eslamian *et al.*, (2021) mostraron que el polvo de horno de cal como subproducto a modo de enmienda podría ser una mejora prometedora para aumentar la capacidad de adsorción de P de un suelo agrícola como una alternativa económica y así mismo, la reacción química entre los iones de Ca^{2+} y el fosfato en el suelo es la principal forma de mantener la disponibilidad de P (Tiantian *et al.*, 2022).

Para el caso del Pacífico Centro donde se realizó el estudio tenemos suelos jóvenes, las circunstancias de este elemento debido a su acidez, contenido de Al^{3+} y poca acumulación de materia orgánica del suelo, hacen que el contenido del P sea bajo y para lograr una mejor producción de arroz en condiciones de secano o riego hay que suministrar P en cantidades suficientes de acuerdo con los análisis de suelo antes de establecer el cultivo.

De acuerdo con El Bamiki *et al.*, (2023), la serie sedimentaria del Cretácico Superior-Paleógeno del Alto Atlas alberga sedimentos ricos en fosfatos poco explorados y presenta un excelente ejemplo de cómo las interacciones complejas entre varios procesos geológicos controlan la acumulación y distribución de fosfatos. La anterior localización se asemeja a la del Trópico Húmedo colombiano.

En suelos con bajos niveles de P y niveles medios de K con la fertilización de estos elementos el rendimiento del grano en arroz podría aumentar un 21% (Gomes –Lima *et al.*, 2020), en este estudio se comprobó que con los diferentes niveles de fertilización de fósforo y sus respectivas mezclas más la adición de potasio efectivamente el rendimiento del grano de arroz creció.

De acuerdo con Gomes – Lima *et al.*, 2020; López-Hernández, 2022; El Bamiki *et al.*, 2021; Valle, *et al.*, 2022; Avelar, *et al.*, 2022, los fosfatos solubles generalmente son utilizados en suelos tropicales para la nutrición de plantas, sin embargo, el uso de roca fosfórica (RF) y estruvita (ST) son fuentes de minerales naturales que se utilizan también como fuentes de fósforo, sabiendo que pueden ser una



alternativa natural importante para la suplementación del fósforo para producción de cultivos a nivel mundial.

Tanto para cultivos de secano e inundado, el procedimiento de suministrar el fosfato puede ser de relevancia. Es muy probable que el uso de fosfatos solubles para cultivos en sequío su distribución al voleo ligero no sea muy eficiente, no obstante, esta experiencia es conveniente con RF en arroz riego. Si se quiere implantar el cultivo con pequeña o ausencia de labranza, seguramente las concentraciones delimitadas de fosfatos solubles o RF obtuvieran unos validos dividendos. Es viable que esta técnica se vea beneficiada por el clima existente en la zona del Pacífico, porque la escorrentía, lixiviación y degradación del suelo son preponderantes.

La amenaza ambiental debido a la explotación de reservas de roca fosfórica RF requieren estrategias para sostener la productividad del suelo y el rendimiento de siembras (Saliou-Sarr *et al.*, 2020); así mismo, los suelos podrían modificarse con abonos enriquecidos con roca fosfórica y rizósfera, como otra posibilidad a los superfosfatos de sinopsis química (Sagnon *et al.*, 2022); de igual manera si contaminamos con microorganismos iniciadoras del incremento para plantas sería una probabilidad de disminuir la aplicación de abonos nitrogenados y los costos de producción (Díaz-Lezcano *et al.*, 2020), por ejemplo, con la materia orgánica se podrían implementar arreglos de compostaje incluyendo RF y teniendo en cuenta la característica del suelo y sus deficiencias para aportar los elementos que se necesiten, también es necesario resaltar que el uso desproporcionado de fertilizantes nitrogenados son una amenaza que se refleja en el calentamiento del planeta.

Por lo expresado anteriormente y por causa de la bibliografía en el país metódicamente no registra ensayos de esta índole ejecutados en suelos en esta zona. La actual exploración evaluó el cultivo arroz secano y las objeciones del uso de distintos orígenes de fertilizantes fosfatados en un entisol del andén Pacífico. Entre los objetivos de este estudio se encuentra, valorar el resultado después de usar tres fuentes de fósforo al suelo y su analogía con la producción de dos diversidades de arroz.

MATERIALES Y METODOS

Implantación de la experiencia

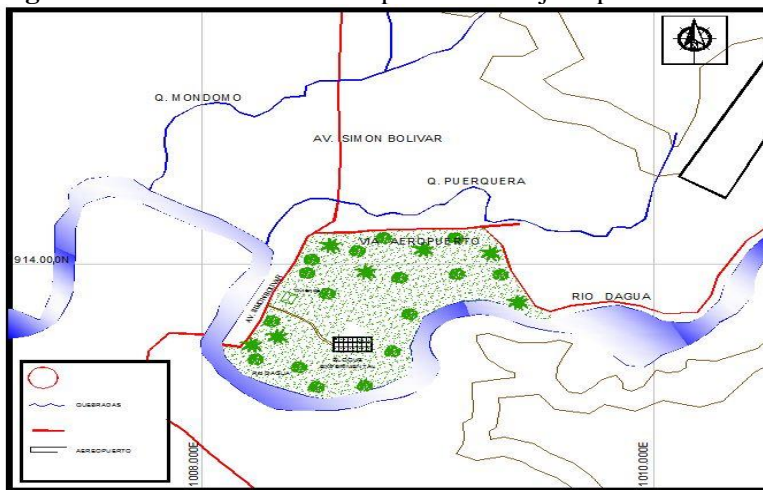
Para este estudio se escogió la verada Zacarías, ubicada en el distrito de Buenaventura - Valle (03°49'22.2" de latitud Norte y 077° 00'15.5" de longitud Oeste) con altura de 23.5 m.s.n.m, el



promedio anual de temperatura es 25.5°C, humedad del aire mayor al 85% y la media anual de precipitación pluvial es de 7407mm. Atendiendo las peculiaridades climáticas y en el desarrollo geomorfológico de la zona se identificaron los ecosistemas de bosques de terrazas y riberas aluviales. El brillo solar efectivo promedio es de tres horas/día. (Eslava, 1994).

El esquema descriptivo fue en parcelas fragmentadas con tres (3) duplicaciones, cada unidad con ocho (8) tratamientos y un testigo por duplicidad, sumando 24 parcelas experimentales. Cada módulo experimental fue de (6 m x 5 m) = 30 m². La tabla 1 - Figura 1, muestra el arreglo de las variedades sembradas y los tratamientos aplicados en campo:

Figura 1. Localización del sitio para el montaje experimental




Tomado de (Torres Valencia, 2010)

Tabla 1. Variedad sembrada, tratamientos aplicados en diseño experimental

Siglas	Descripción
V1	Variedad 1: arroz Fortaleza 5-30
V2	Variedad 2: arroz chino grande
T1	DAP (fosfato Diamónico)
T2	RFH (roca Fosforita Huila)
T3	APR (abono Paz del río – Escorias Thomas)
T4	70/30 (70% RFH – 30%DAP)
T5	30/70 (30%RFH – 70%DAP)
T6	70/30 (70%RFH – 30%APR)
T7	30/70 (30%RFH – 70%APR)
TA	Testigo absoluto

Figura 2. Representación gráfica del diseño experimental utilizado.

	CALLE								
BLOQUE 3	T6	T3	T1	T4	T2	T5	T7	TA	
	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	
	CALLE								
BLOQUE 2	T1	T4	T2	T7	T3	T6	T5	TA	
	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	
	CALLE								
BLOQUE 1	T7	T5	T3	T2	T1	T4	T6	TA	
	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	
	CALLE								

La parcela principal conformada por los tratamientos (T1 hasta T8) y por los niveles de fertilización fosfórica como se muestra en las fórmulas anteriores; esta se subdivide y en ella se establecen las diversidades de arroz (*Oryza sativa* L.) Fortaleza 5-30 y chino grande; además se tuvieron en cuenta las variables independientes y las dependientes; la primera conformada por los tratamientos, las diversidades y los bloques y la segunda por el fósforo (mg/kg) y la producción del cereal en toneladas por hectáreas.

En el ensayo para el cultivo del arroz fue seleccionada la siembra de secano, el suelo; de acuerdo con la taxonomía correspondiente al Orden Inceptisol, (Schwyter and Vaughan, 2022). La clase textural de acuerdo con Andrades Rodríguez *et al.*, (2015) se utilizó el método del densímetro de Bouyoucos y se clasificó el suelo como franco.

La siembra se realizó tomando un puñado de semillas y aplicándolo suavemente al suelo con densidad 110 kg/ha. En cada parcela se establecieron 22 surcos, obteniendo 11 surcos por variedad, la distancia entre ellos fue de 20 cm; el espacio de siembra entre una y otra variedad de arroz en la unidad experimental fue de 50 cm, el material vegetal manejado para el experimento fue: chino grande (local) y Fortaleza 5-30 (comercial).

Las fuentes de P utilizadas fueron: Roca Fosforita Huila (22 %), Abono Paz del Río (Escorias Thomas) (10 %), Fosfato Diamónico (DAP) (46 % de Fósforo y 18 % de Nitrógeno), las cuales se aplicaron a razón de 50 kg/ha en el momento de la siembra.

La fuente de nitrógeno utilizada fue la urea (46 %), se empleó a razón de 44 kg/ha fragmentada en tres aplicaciones, (15-45-60) DDE (días después de la emergencia); para el suministro de K se usó Kcl 60 % a razón de 100 kg/ha, realizando dos aplicaciones durante el periodo vegetativo del cultivo de arroz (30 y 60) DDE.

La cosecha se realizó manualmente cortando panoja por panoja, la variedad Fortaleza 5-30 se cosechó a los 125 días, la variedad chino grande a los 140 días ambas después de la siembra; para cada variedad de arroz se tomó una muestra representativa de cosecha de un metro cuadrado.

Luego de cosechar las panículas, el desgrane se hizo manualmente mediante un golpeo suave con garrote, en seguida se registró el peso de la cantidad de semilla húmeda colectada para cada bloque, tratamiento y variedad, inmediatamente se colocaron por cinco días al sol para iniciar el proceso de secado, después se tomó una submuestra de 100 g de cada bloque, tratamiento y variedad para llevarlas al horno a 50 °C por 48 horas, para terminar el secado del grano y obtener una humedad del 15 %. Inmediatamente se aplicó la siguiente relación para hallar el peso del grano seco.

$$PSgr = \frac{pHm \times pSSm}{pHSm}; \text{ donde}$$

PSgr = peso seco del grano

pHm = peso húmedo de la muestra

pSSm = peso seco de la submuestra

pHSm = peso húmedo de la submuestra

Simultáneamente a la cosecha del arroz se procedió a tomar las muestras de suelo en el mismo espacio para cada bloque, tratamiento y variedad de arroz y así conocer el contenido de fósforo al final de la recolección.

El análisis estadístico se realizó empleando el Stastical Analysis System (Sistema de Análisis de Estadístico-SAS) y la comparación de medias a través de la prueba múltiple de Duncan, con un nivel de significancia del 5%, para las variables producción del grano de arroz y contenidos de fósforo en el suelo al final del estudio.



Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos se utilizaron pruebas de ANOVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos, donde se fijó un nivel de significancia de 0,05 y la prueba de comparación de promedios de Tukey, de acuerdo con cada una de las técnicas estadísticas de las que se hace mención se realizó utilizando el software estadístico S.A.S en su versión 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con las tablas 2 y 3, el estudio químico con base en el rango de acidez del suelo tanto al inicio como al final muestra que el suelo estudiado no cambió conforme a los datos de pH inicial y final de 5.4 y 5.5 proporcionalmente. Pero la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} se mantuvo dentro de los valores ideales en el experimento. (Torres Valencia, 2010, p.41)

Tabla 2. Características químicas del suelo del área experimental (profundidad: 0-20 cm) antes del establecimiento.

COMPONENTE	UNIDADES	VALOR	INTERPRETACIÓN
pH (relación 1:1)		5.4	Ácido
Materia Orgánica	%	5.17	Alta
Calcio Intercambiable	mg/kg	486	Alto
Magnesio Intercambiable	mg/kg	81.4	Alto
Potasio Intercambiable	mg/kg	5.0	Bajo
Sodio Intercambiable	mg/kg	3.45	Bien
CICE	Meq/100g	35.54	Alta
Fósforo Asimilable	mg/kg	1	Muy Bajo
Cobre	mg/kg	19.8	Alto
Zinc	mg/kg	2.8	Medio
Manganeso	mg/kg	79.3	Alto
Hierro	mg/kg	150.2	Alto
Boro	mg/kg	0.47	Medio

Fuente: laboratorio de química de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

La relación $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / K^{+}$ desde que inició el estudio hasta finalizarlo los niveles altos se mantuvieron. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) igualmente mostró valores elevados antes y posteriormente al estudio, el valor inicial de la CIC fue de 27.08 (Cmol/kg) y subsiguientemente de 23.6 (Cmol/kg), este dato elevado de CIC es consecuencia de que la materia orgánica (M.O) del suelo



tiene una CIC alta, por lo que los suelos con un alto porcentaje de M.O como el experimentado presentan por lo general una CIC mayor que la de los suelos con un bajo contenido de materia orgánica (Bohn, 1993).

En un suelo los valores altos o bajos de bases intercambiables como Ca y Mg, definen en un alto grado su poder de fertilidad refiriéndose específicamente al uso agronómico, para este estudio antes del establecimiento del cultivo de arroz el contenido de Ca y Mg fueron 486 mg/kg y 81.4mg/kg respectivamente considerados altos y después de la cosecha los valores de Ca y Mg fueron de 222 mg/kg y 57.1mg/kg equitativamente, manteniendo valores altos finalizado el periodo vegetativo del arroz. Por otro lado, el P intercambiable antes de la siembra fue de 5.0 mg/kg analíticamente bajo y después de la cosecha con valor de 3.1 mg/kg consecuentemente bajo, este valor bajo de K intercambiable podría obedecer a diversos factores como el pH ácido del suelo que afecta la disponibilidad de este elemento en la solución del suelo sabiendo que el Al^{3+} ocupa espacios intercambiables, el tipo de arcillas 2:1 que predomina en el pacifico vallecaucano también pueden fijar el P, además este elemento lo encontramos en forma iónica lo cual lo hace muy soluble, siendo la alta precipitación y la lixiviación factores que dejan este elemento con baja disponibilidad.

De acuerdo con los valores de (Na) intercambiable tomados antes de establecer el cultivo y después de cosechar fueron 3.45 mg/kg antes de siembra y 0.69 mg/kg después de cosechar, presentando valores aceptables donde el suelo no presento inconvenientes de conductividad hidráulica o flujo de agua antes durante y después de la cosecha.

En suelos ácidos tropicales la capacidad de adsorción es preponderante en un elemento fundamental como el P y de acuerdo con la analítica en el suelo antes y después del establecimiento del cultivo, los datos fueron de 1 mg/kg y 2.2 mg/kg equitativamente siendo muy bajo y bajo el P asimilable para las plantas, resultado muy consecuente con la condición de estos suelos como son: el alto contenido de Al^{3+} , poca acumulación de la materia orgánica (M.O), la alta temperatura y el pH bajo pueden ocasionar que el contenido de P en el suelo sea ineficiente en la solución del suelo que es donde las plantas lo aprovechan en forma iónicas simples como ortofosfato primario e ion fosfato secundario ($H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-}).



Los niveles de Cu en el suelo desde el inicio hasta el final del estudio se encuentran elevados 19.8 mg/kg antes de la siembra y 6.6 mg/kg después de la cosecha, indicando que el cultivo tomo cierta parte durante su desarrollo vegetativo, además estos niveles de nutrientes son indicadores de baja fertilidad en un suelo agrícola y una probable disminución en la actividad bacteriana afectando la sanidad del suelo.

En otro aspecto concentraciones altas de Mn como es el caso de este mineral que obtuvo cifras de 79.3 mg/kg antes de establecer la siembra y 187.6 mg/kg después de la cosecha, se considera que este aumento al final de la investigación, probablemente obedeciendo a un aumento de temperatura en del suelo que trae como resultado un aumento de disponibilidad reduciéndose este a una forma soluble Mn^{2+}

El Fe según el análisis, antes de implementar el cultivar fue de 150.2 mg/kg y después de la cosecha con cifra de 72.8 mg/kg, entendiéndose que altas concentraciones del elemento en los suelos, podría afectar el proceso de fotosíntesis, así como perturbar el normal crecimiento de las raíces y disminuir el pH aumentando el grado de acidez como el suelo estudiado.

Tabla 3. Características químicas del suelo del área experimental (profundidad 0-20 cm) después de cosechar el cultivo de arroz.

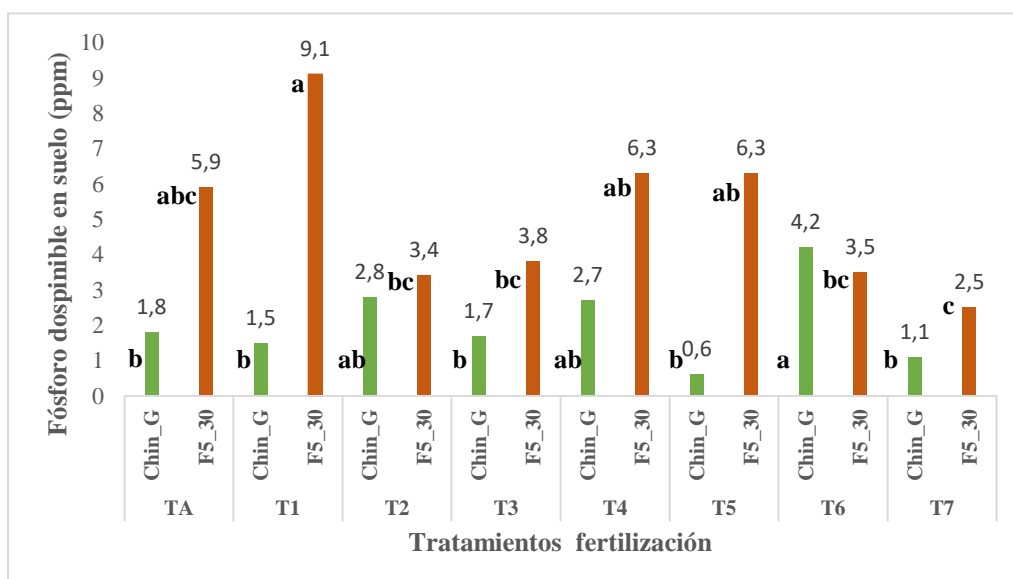
COMPONENTE	UNIDADES	VALOR	INTERPRETACIÓN
pH (relación 1:1)		5.5	Ácido
Materia Orgánica	%	8.1	Alta
Calcio Intercambiable	mg/kg	222	Alto
Magnesio Intercambiable	mg/kg	57.1	Alto
Potasio Intercambiable	mg/kg	3.1	Bajo
Sodio Intercambiable	mg/kg	0.69	Bien
CICE	Meq/100g	23.6	Alta
Fósforo Asimilable	mg/kg	2.2	Bajo
Cobre	mg/kg	6.6	Alto
Zinc	mg/kg	3.4	Alto
Manganeso	mg/kg	187.6	Alto

Hierro	mg/kg	72.8	Alto
Boro	mg/kg	0.48	Alto

Fuente: laboratorio de química del Centro internacional de Agricultura tropical CIAT.

En la figura 3, se hallaron diferencias estadísticamente explicativas entre los tratados con surtidores de fósforo proporcionados en el estudio, para el tratamiento seis formado por una mezcla de 70% de roca fosfórica y 30% de abono Paz del Río, que registra 4.2 mg/kg de P que quedó en el suelo posteriormente a la cosecha en la variedad de arroz chino grande.

Figura 3. Valores medios de fósforo a disposición en el suelo en seguida de cosechar en cada tratamiento y bloque en las dos variedades de arroz utilizadas en la investigación.



*TA: testigo absoluto; T1: DAP; T2: -RFH; T3: APR; T4:30%-DAP-+70%-RFH; T5:-30%RFH+70%DAP; T6:70%RFH+30%APR; T7:30%RFH+70%APR

Tratamientos

Para la variedad Fortaleza 5-30 se encontró diferencias estadísticas con respecto a los Tratamientos T1, T4 y T5, confrontados con T2, T3, T6 y T7, el tratamiento con mayor cantidad de P residual en el suelo después de la cosecha fue el T1 que consistió en emplear a 50 kg/ha de fosfato diamónico (DAP), con 9.1 mg/kg de P Figura 2. Con referencia al (testigo absoluto) T8, presentó un contenido de P equivalente a 5.9 ppm, valor superior a T2, T3, T6 y T7; esta situación factiblemente se presentó debido a las lluvias presentadas en la franja experimental las cuales activan la acción de los microorganismos del suelo que facilitan la descomposición de la materia orgánica de ahí que aumenta los niveles de P, situación que en el momento del muestreo reflejó significativa importancia en el análisis.



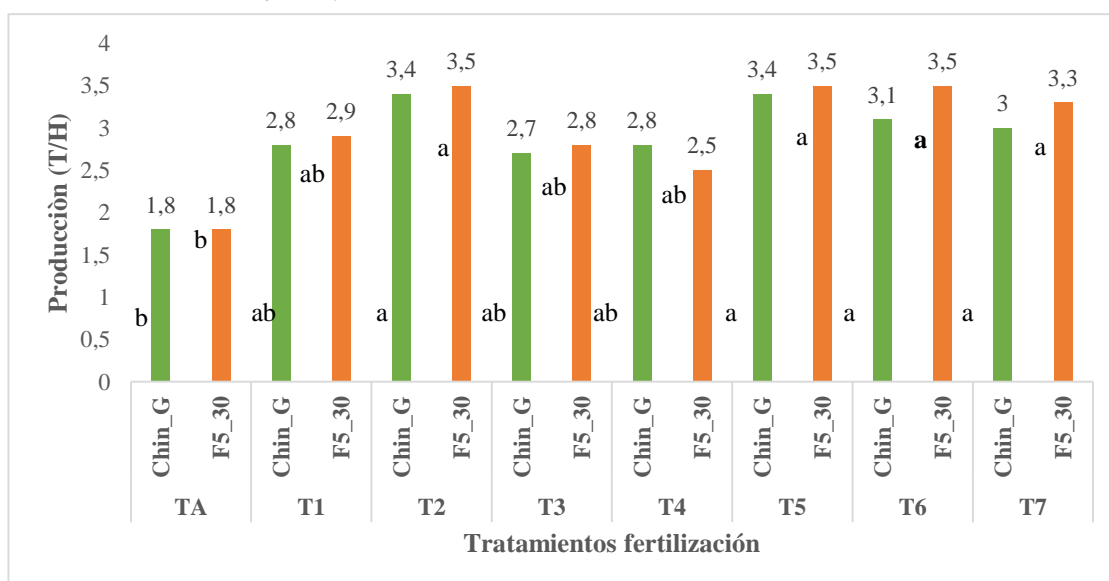
Otro aspecto a tener en cuenta es que al parecer los niveles de P en el suelo tienen una relación directa con los contenidos de zinc residual (después de la cosecha) en este estudio antes de la siembra los niveles de Zn fueron medios 2.8 (mg/kg) y después de la cosecha los niveles fueron altos 3.4 (mg/kg).

Rendimiento del grano de arroz

Tsujimoto *et al.*, (2021) realizaron un estudio en tres sitios con suelos altamente fijadores de fósforo en Madagascar para ver el rendimiento del grano de arroz, y los resultados mostraron que el P es un elemento clave para la fertilización localizada en microdosis observando que el rendimiento del grano mejoró significativamente con la aplicación de fósforo, aumentando el rendimiento entre 55 % y 67 % en los sitios con deficiencias severa y moderada de fósforo.

El comparar la producción media del cereal estudiado con el testigo absoluto (TA) y las variadas fuentes de fósforo en suelos con deficiencia de este elemento revelan diferencias estadísticas entre usar fertilización con contenidos de fósforo y no realizar aplicación de fosfatos para el estudio. (Figura 4). La discordancia de emplear y no dicho elemento en los tratamientos de más ganancia fue de 1.6 toneladas por hectarea para la variedad de arroz chino grande y en la variedad de arroz Fortaleza 5-30 fue de 1.7 toneladas por hectarea. (Torres Valencia, 2010,p.47)

Figura 4. Rendimiento promedio en grano para los tratamientos de fertilización aplicados en las variedades de arroz chino grande y Fortaleza 5-30.



*TA: testigo absoluto; T1: DAP; T2: RFH; T3: APR; T4:30%DAP+70%RFH; T5:30%RFH+70%DAP; T6:70%RFH+30%APR; T7:30%RFH+70%APR.

Teniendo en cuenta el rendimiento por uso de RF en el tratamiento dos (T2) con 3,4 ton/ha (Figura 4), es significativo resaltar que la tasa de disolución de la RF en el suelo obedece a la concentración de los protones (H⁺) cerca de los gránulos de la RF, por lo tanto de acuerdo con Hammond *et al.*, (1986) la disolución de este mineral puede ser conveniente si el pH del suelo es bajo, por lo que en muchos suelos del trópico exhiben escenarios favorables para emplear roca fosforada; lo que hace indiscutible la generosidad de aplicar este mineral solo y como mezcla abonadura en suelos de pH bajo.

Rakotoarisoa *et al.*, (2020) en estudios realizados en África se coincide en que la fertilización con fuentes de fosfato edáfica aumenta la productividad del grano para el sembrado de arroz en condiciones de secano, cuando en un experimento aplicando P a 30 kg/ha de P₂O₅ con relación al testigo cero P el aumento del rendimiento en grano fue de 59 a 171 % en suelos con mucha deficiencia de fósforo en tierras bajas de África subsahariana, de igual manera cabe anotar que (Caicedo, 2008) obtuvo resultados similares a los presentes respecto a productividad de arroz (1,8 ton/ha) para la heterogeneidad chino grande en la experimentación del testigo absoluto (TA).

CONCLUSIONES

Las fertilizaciones basadas en fuentes de fósforo inciden positivamente en los niveles de este mineral en el suelo particularmente en el tratamiento seis T6 (70% RFH y 30% APR) aplicando P a 50 kg/ha para la diversidad de arroz chino grande con 4.2 mg/kg en el suelo posteriormente a la cosecha; y el tratamiento uno T1 (DAP) con aplicación de P a 50 kg/ha en la variedad de arroz Fortaleza 5-30 con 9.1 mg/kg en el suelo luego de segar.

Teniendo en cuenta la metodología desde la siembra y plan de fertilización con las distintas fuentes de fósforo, para un suelo ácido de la franja rural de Buenaventura, y la participación de pequeños productores de la zona. Notamos un aumento en los rendimientos para producción de grano de arroz con respecto a la media productiva en el Pacífico vallecaucano la cual es menos de una tonelada por hectárea, evidenciándose la carencia de fósforo en dichos suelos y la respuesta positiva de las plantas después de probar tratamientos con fuentes de dicho elemento.

En esta investigación también se pudo evidenciar que los tratamientos con fuentes de fósforo relativamente empleados en campo, que para el tratamiento seis formado por una mezcla de fertilizantes [70% roca fosfórica y 30% abono Paz del Río], registra un contenido residual de fosforo en el suelo de



4.2 mg/kg posteriormente a la cosecha según el análisis de suelo en la variedad de arroz chino grande afirmando que la variedad local es más eficiente en el uso del fósforo en el suelo en comparación con la variedad comercial Fortaleza 5-30.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves Torres, W.G., Colen, F., Dogra Pandey, S. y Almeida Frazão, L. (2020). Phosphorus availability in soil amended with biochar from rice husk and cattle manure and cultivated with common bean. *Journal Ciência e Agrotecnologia*, 44(1),1-5.

<https://doi.org/10.1590/1413-7054202044014620>

Andrades Rodríguez, M., Moliner Aramendia, A. y Masaguer Rodríguez, A. (2015). *Prácticas de edafología: Métodos didácticos para análisis de suelos*. Universidad de la Rioja. España, 78 p. ISBN 978-84-608-5117-2

Avelar, A.N., Brandão, P.R.G. y Neumann, R. (2022). Trace-element content and partition in apatite-group minerals in phosphate ore from Catalão, Brazil. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 74(6), 1- 5.

<https://doi.org/10.1007/s42461-022-00559-3>

Bettoni, Teles, A.P., Rodrigues, M. y Pavinato, P. S. (2020). Solubility and Efficiency of Rock Phosphate Fertilizers Partially Acidulated with Zeolite and Pillared Clay as Additives. *Agronomy*, 10(7),1-7

<https://doi.org/10.3390/agronomy10070918>

Bohn, H. L. *Química del Suelo*. Editorial Limusa, S.A. México. 1993, 367 p, ISBN 27093056

Caicedo Ordoñez, Y.J. (2008) Evaluación de características Agronómicas de cuatro líneas interespecificas de arroz "*Oryza sativa* / *Oryza latifolia*" comparadas con dos variedades comerciales y una nativa en el corregimiento # 8 Zacarías Municipio de Buenaventura [Trabajo de grado Agronomía, Universidad del Pacífico.

<https://repositorio.unipacifico.edu.co/handle/unipacifico/89>

Díaz -Lezcano, M. I., Fiori Fernández, C., Ayala Aguilera, L., Yubero, F., Martínez López, R. y López, M. (2020). Actividad de fosfatasa-alcalina y crecimiento del arroz con inoculación biológica y micronutrientes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,11(3),1



<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1873>

El Bamiki, R., Raji, O., Ouabid, M., Elghali, A., Khadiri Yazami, O. y Bodinier, J. L. (2021). Phosphate Rocks: A Review of Sedimentary and Igneous Occurrences in Morocco. *Journals Minerals*, Volúmen 11, Number 1137 (10),1-2,12-14

<https://doi.org/10.3390/min11101137>

El Bamiki, R., Séranne, M., Parat, F., Aubineau, J., Chellaï, E. H., Marzoqi, M. y Bodinier, J. L. (2023). Post-phosphogenesis processes and the natural beneficiation of phosphates: Geochemical evidence from the Moroccan High Atlas phosphate-rich sediments. *Chemical Geology*, 631, 121523. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121523>

Eslamian, F; Qi, Z; Qian, C. (2021). Lime Amendments to Enhance Soil Phosphorus Adsorption Capacity and to Reduce Phosphate Desorption. *Springer*, v. 232, n. 2. DOI:10.1007/s11270-021-05024-3

Ei, F., QI, Z. y Qian, C. (2021). Lime Amendments to Enhance Soil Phosphorus Adsorption Capacity and to Reduce Phosphate Desorption. *Springer*, 232(2),1-2.

<https://doi.org/10.1007/s11270-021-05024-3>

Eslava Ramírez, J.A. (1994). *Climatología del Pacífico colombiano*. Academia colombiana de ciencias geofísicas. Santa fe de Bogotá. Gente Nueva, 79 p.

Gomes Lima, Gustavo; De Castro Pias, O.H., Posselt- Martins, A., Tiecher, T. y De Campos - Carmona, F. (2020). Yield and profitability of flooded rice genotypes in relation to nitrogen doses and phosphorus and potassium application. *Journal Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 50(1), 4- 6.

<https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5064561>

Hammond, Lawrence L ; Chien, Sen ; Mokwunye, A.Uzo. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Advances in Agronomy*, v 40, 1986,

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60281-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60281-3)

López Hernández, D. (2022). Dissolution of Monte Fresco phosphate rock and their effects on phosphorus fractionation in Venezuelan soils. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 39(1), 3-4.

[https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n1.16](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n1.16)



Rakotoarisoa, N.M., Tsujimoto, Y. y Oo, A.Z. (2020). Dipping rice seedlings in P-enriched slurry increases grain yield and shortens days to heading on P-deficient lowlands in the central highlands of Madagascar. *Field Crops Research*, 254, 2-3.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107806>

Raniro, H R., Teles, Betoni, A. P., Adam, C. y Pavinato, P.S. (2022). Phosphorus solubility and dynamics in a tropical soil under sources derived from wastewater and sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, 302, 1-2.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113984>

Sagnon, A., Iwasaki, S., Bionimian Tibiri, E., Armel Zongo, N., Compaore, E; O. B., Isidore J., Nakamura, S., Traore, M., Barro, N., Tiendrebeogo, F. y Saliou Sarr, P. (2022). Amendment with Burkina Faso phosphate rock-enriched composts alters soil chemical properties and microbial structure, and enhances sorghum agronomic performance. *Scientific Reports*, 12(13945), 2 -9.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-18318-1>

Saito, K., Vandamme, E., Johnson, J. M., Tanaka, A., Senthilkumar, K., Dieng, I., Akakpo, C., Gbaguidi, F., Segda, Z., Bassoro, I., Lamare, D., Gbakatchetche, H., Abera, B. B., Jaiteh, F., Bam, R. K., Dogbe, W., Sékou, K., Rabeson, R., Kamissoko, N., Mossis, I. M., Wopereis, M. (2019). Yield-limiting macronutrients for rice in sub-Saharan Africa. *Geoderma*, 338, 1-2

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.036>

Saliou Sarr, P., Bionimian Tibiri, E., Fukuda, M., Nongma Zongo, A., Compaore, E. y Nakamura, S. (2020). Phosphate-Solubilizing Fungi and Alkaline Phosphatase Trigger the P Solubilization During the Co-composting of Sorghum Straw Residues with Burkina Faso Phosphate Rock. *Frontiers in Environmental Science*, 8(559195), 3-8.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.559195>

Schwyter, A.R. y Vaughan, K.L. (2022). Introducción al Manual de Laboratorio de Ciencias del Suelo En Introducción a la taxonomía de suelos. UW open Education Resources (OER) University of Wyoming. 2022. 3: Taxonomía de Suelos - LibreTexts Español



- Tiantian, Y., Xiangyu, M., Xuzi, J., Mingyue, S. y Xinju, L. A (2022). Adsorption and Desorption of Coal Gangue toward Available Phosphorus through Calcium-Modification with Different Ph. *Minerals*, 12(7), 3-4
<https://doi.org/10.3390/min12070801>
- Torres Valencia, D. (2010). *Influencia de la fertilización con diferentes fuentes de fósforo en el rendimiento del cultivo de arroz (oriza sativa L) en el Pacífico Colombiano* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7117>
- Tsujimoto, Y., Tanaka, A. y Rakotoson, T. (2021). Sequential micro-dose fertilization strategies for rice production: Improved fertilizer use efficiencies and yields on P-deficient lowlands in the tropical highlands. *European Journal of Agronomy*, 131, 6-7
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126381>
- Valle, S. F., Giroto, A. S., Dombinov, V., Robles Aguilar, A.A., Jablonowski, N.D. y Ribeiro, C. (2020). Struvite-based composites for slow-release fertilization: a case study in sand. *Scientific Reports*, 12(14176). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18214-8>
- Wang, Y., Chen, Y.F. y Wu, W.H. (2020). Potassium and phosphorus transport and signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. 63(1), 34-52.
<https://doi.org/10.1111/jipb.13053>
- Zhang, Shua., Chen, S., Jin, J., Wu, G., Bolan, N. S., White, J. R., Shaheen, S. M., Rinklebe, J. y Chen, Q. (2022). Incorporation of calcium cyanamide and straw reduces phosphorus leaching in a flooded agricultural soil. *Geoderma*, 7, (422), 1-2.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116150>

