



INDICADORES FISICOQUÍMICOS DEL SUELO CON MANEJO CONVENCIONAL DEL ARROZ (*Oriza sativa* L.) BAJO RIEGO

PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF SOIL WITH CONVENTIONAL RICE (*Oriza sativa* L.) MANAGEMENT UNDER IRRIGATION

Daniel Trigos-Becerril¹, Nelino Florida-Rofner*¹, y Alex Rengifo-Rojas²

¹Departamento de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

²Departamento de Ciencias Económicas. Facultad de Ciencias Económicas y administrativas. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

*Autor para correspondencia: nelinof@hotmail.com

Manuscrito recibido el 04 de febrero de 2021. Aceptado, tras revisión, el 17 de enero de 2022. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

Resumen

La investigación evaluó el efecto del manejo convencional del arroz bajo riego en indicadores fisicoquímicos del suelo, en los fundos Mercedes y Pérez, en Yurimaguas, Perú. Es una investigación no experimental comparativa, con ajuste estadístico de diseño completamente aleatorizado, donde los tratamientos lo constituyen el bosque secundario (BS), el manejo convencional del arroz de: uno (A1), cinco (A5) y nueve años (A9); evaluándose indicadores fisicoquímicos del suelo en estratos de 0,0 a 0,2 y 0,2 a 0,4 m. Los resultados mostraron diferencias en las fracciones, con reducción inicial de arena, limo e incremento de arcilla y en el tiempo ligera recuperación de la fracción arena, limo y reducción de arcilla. Los indicadores químicos según tratamientos y estratos presentan diferencias, excepto el potasio (K); el manejo afecta significativamente al inicio del proceso productivo (A1) reduciendo los niveles del potencial de hidrogeno (pH), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) e incrementando el aluminio (Al^{3+}), acidez cambiante (AC) y saturación de aluminio (SAl); de igual forma, se observa la recuperación en el tiempo (A9), excepto en MO y N que descienden a niveles muy bajos. En conclusión, el manejo convencional muestra efectos significativos entre tratamientos e indicadores evaluados en ambos estratos, afectando negativamente al inicio (A1) y recuperándose con el tiempo (A9); sin embargo, se observan efectos negativos a largo plazo en los niveles de MO y N.

Palabras clave: Fertilización química, indicadores físicos, indicadores químicos, materia orgánica, residuos de cosecha, Yurimaguas, Perú.

Abstract

The research evaluated the effect of conventional management of irrigated rice on the physicochemical indicators of the soil, in the Mercedes and Pérez farms, in Yurimaguas, Peru. It is a comparative non-experimental investigation, with statistical adjustment of a completely randomized design, where the treatments are made up of the secondary forest (BS), the conventional rice management of one (A1), five (A5) and nine years (A9), evaluating physicochemical indicators of the soil in strata from 0.0 to 0.2 and 0.2 to 0.4 m. The results showed differences in the fractions, with initial reduction of sand, silt and clay increase and in time slight recovery of the sand, silt fraction and clay reduction. The chemical indicators according to treatments and strata show differences, except K; management significantly affects the beginning of the production process (A1) reducing the levels of pH, MO, N, P, K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} and increasing Al^{3+} , AC and SAI, and there is a recovery over time (A9), except in MO and N which decrease to very low levels. In conclusion, conventional management shows significant effects between treatments and indicators evaluated in both strata, negatively affecting the beginning (A1) and recovering over time (A9); however, there are long-term negative effects on OM and N levels.

Keywords: Chemical fertilization, physical indicators, chemical indicators, organic matter, crop residues, Yurimaguas, Peru.

Forma sugerida de citar: Trigoso-Becerril, D., Florida-Rofner, N. y Rengifo-Rojas, R. (2023). Indicadores físico-químicos del suelo con manejo convencional del arroz (*Oriza sativa* L.) bajo riego. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):117-129. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.09>.

IDs Orcid:

Daniel Trigoso-Becerril: <http://orcid.org/0000-0001-6850-7789>

Nelino Florida-Rofner: <http://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

Alex Rengifo-Rojas: <http://orcid.org/0000-0002-7103-6903>

1 Introducción

Perú posee áreas con gran potencial para la producción de arroz bajo riego en diferentes regiones, que en los últimos 17 años (2001-2017) observan una tendencia ascendente en la producción nacional, pues la superficie cosechada creció 2% y el rendimiento creció 0,4% promedio por año. Las principales regiones productoras son: San Martín con 27%, Lambayeque 13, Piura 12%, Amazonas 10% y la Libertad con 7% de participación (MINAGRIDGESEP, 2018). El rendimiento promedio nacional es de $7,2t\ ha^{-1}$, mientras que Loreto (Yurimaguas) presenta una media de $2,9t\ ha^{-1}$, ocupando el puesto 13 a nivel nacional. Por lo que la producción en esta región está lejos de la media nacional y de la media de regiones como Arequipa ($13,9t\ ha^{-1}$), Ancash ($11,9t\ ha^{-1}$), Tumbes ($8,5t\ ha^{-1}$), y Lambayeque con $8t\ ha^{-1}$ (Contreras, 2016; MINAGRIDGESEP, 2018; Quevedo, Beltrán y Barragán, 2019). Además, la producción en estas zonas está basada en el manejo convencional del cultivo, con malas prácticas agrícolas como: el control de plagas con agroquímicos, control de malezas con herbicidas y uso intensivo de fertilizantes químicos.

La aplicación del manejo convencional se justifica por la baja eficiencia que tendría la aplicación de enmiendas orgánicas, que puede afectar la rentabilidad del cultivo (Alvarez, Daza y Mendoza, 2008), aspecto que ha contribuido en algunos casos a disminuir el rendimiento medio. El arroz (*Oryza sativa* L.) es un grano alimenticio esencial para aproximadamente la mitad de la población (Das y col., 2014; Çay, 2018; Lv y col., 2018), siendo un componente básico en la estabilidad política, económica, social y para nuestra supervivencia (Quevedo, Beltrán y Barragán, 2019) y con aportes importantes en la economía. En Perú tiene gran incidencia en la generación de empleo, debido a que el cultivo se realiza manualmente en más del 95% del área cultivada, el proceso requiere en promedio 130 jornales· ha^{-1} , el cual generó en el año 2017 aproximadamente un total de 222 mil puestos de trabajo permanente (Sanjinez, 2019). Por tanto, la estabilidad económica y la seguridad alimentaria dependen en gran medida de la disponibilidad de este grano (Sanjinez, 2019; Effendi, Zuhry y Ariani, 2021).

En general, las prácticas agrícolas como el monocultivo, la mecanización y el uso de agroquímicos, generalmente conducen a cambios en la calidad del suelo, degradando su estructura y potencial productivo (Stehlíková y col., 2016; Florida y Núñez, 2020). El arroz bajo riego es un monocultivo con características especiales (Guzmán, 2006; Ruiz, Díaz y Polón, 2005; Vignola y col., 2018), y la mecanización y aplicación de fertilizantes y otras actividades en el desarrollo de este cultivo son causa fundamental de la degradación de propiedades físicas del suelo: destrucción de los macroporos, incremento de la densidad (Çay, 2018), compactación, erosión, mal drenaje, acumulación de P, K y otros en la capa superficial (Lv y col., 2015) que influyen de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces y el desarrollo morfofisiológico de las plantas (Castillo, 2000; Pérez, González y Castro, 2002; Ruiz, Díaz y Polón, 2005). También, el encharcamiento puede generar circulación de agua hacia abajo, lo que provoca la pérdida de partículas de arcilla y limo (Castillo, 2000; Alejandro, 2016) y acelera la degradación de las características químicas, reduciendo los niveles de MO, bases intercambiables y un proceso de acidificación causado por el fuerte lavado (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001; Alejandro, 2016; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016).

En este contexto, es necesario evaluar los efectos que genera el cultivo de arroz sobre la calidad del suelo. Por ello, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del manejo convencional del arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego en los principales indicadores fisicoquímicos del suelo, en los fundos Mercedes y Pérez, en Yurimaguas, provincia Alto Amazonas-región Loreto, Perú.

2 Materiales y Métodos

2.1 Ubicación del área en estudio

La investigación se desarrolló en los fundos Mercedes y Pérez (Figura 1). Ambos fundos se encuentran en la jurisdicción del sector Suniplaya, en el distrito de Yurimaguas, ubicado en la parte sur de la provincia Alto Amazonas en la región Loreto.

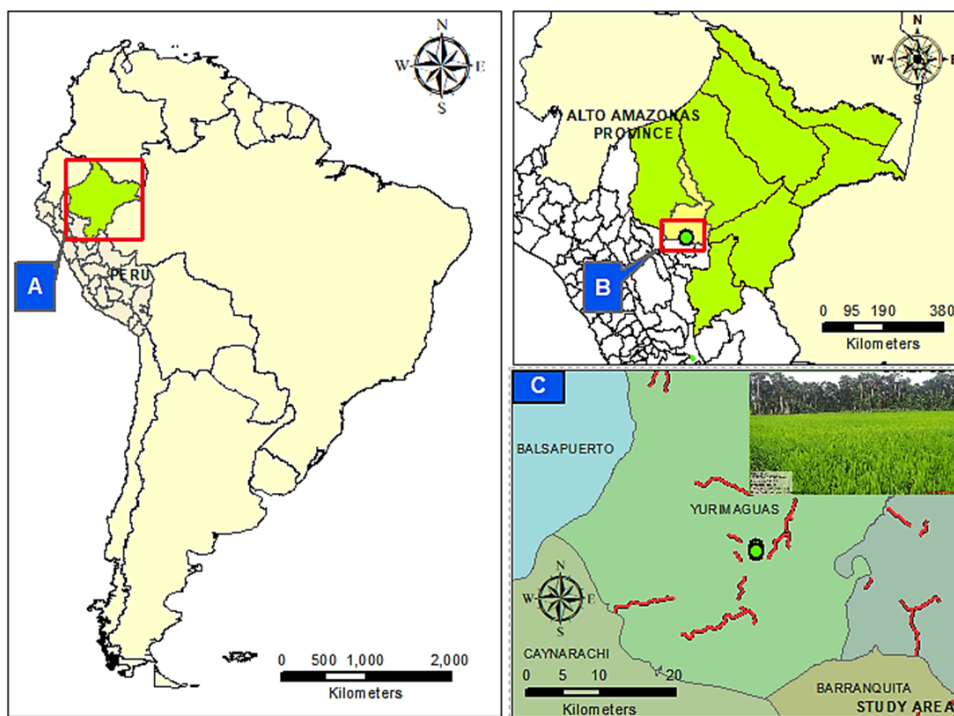


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio, Fundo Mercedes y Pérez (C), Yurimaguas en Alto Amazonas (B) región Loreto-Perú (A).

2.2 Características bioclimáticas

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo de Holdridge (2000), el área pertenece a un bosque húmedo Tropical (bh-T); según Pulgar (2014) esta zona pertenece a la Ecorregión Omagua o selva baja. Tiene un clima ecuatorial, cálido y húmedo con abundantes lluvias, típicas de la llanura amazónica; la temperatura media es de $26,6^{\circ}\text{C}$; la humedad relativa mínima es de 74,5% y la máxima de 81,5%, con una precipitación media anual de 2098 mm al año (World Climate Data, 2020). Se encuentra sobre la orilla izquierda del río Huallaga, a unos 100 km aguas arriba de la confluencia con el río Marañón, pertenecientes ambos a la gran cuenca del río Amazonas (Paredes, 2013). El tipo de suelo corresponde a un Inceptisols, con un horizonte B poco desarrollado y sobre una terraza media inundable.

2.3 Arroz con manejo convencional

Las áreas con cultivos de arroz tuvieron un proceso secuencial de intervención que se subdivide en:

- (a) **Primera intervención del bosque** Se realizó sobre áreas de bosque primario, con la ayuda de una tractor oruga que realizó el desmonte y limpieza de los tocones y árboles caídos en el área. También, en esta etapa con la misma maquinaria se realiza la nivelación del terreno, se construyen los bordes, los canales, accesos a las carreteras y los drenes; después de esta etapa el área queda lista para iniciar el proceso de preparación del suelo e instalación del cultivo de arroz.
- (b) **Preparación del suelo antes de la siembra** En el régimen seco (junio - octubre) se realizó el rastreo con un tractor agrícola, implementado con rastra de discos, lo que permite la inversión de la capa arable del perfil del suelo y la incorporación de los residuos de la cosecha anterior. En el régimen lluvioso (entre noviembre a mayo) se realiza el fanguero directo con tractor agrícola implementado con el arado rotativo, previa inundación del terreno. Finalmente, se realiza la nivelación de las pozas con tractor agrícola implementado de lampón y se refina la nivelación

con motocultores y el área quedó lista para la siembra del arroz.

- (c) **Instalación del cultivo** Culminado el proceso de fanguero, en un espacio independiente y dentro del área preparada, se realiza el almacigo de arroz (variedad HP 102 FL- EL VALOR) para su posterior trasplante de plántulas al terreno definitivo. El procedimiento implicó remojar 80 kg de semilla por hectárea, la semilla es sembrada al voleo y se abona con urea en dosis de 8kg ha^{-1} ; finalmente, cuando las plántulas del almacigo alcanzan 25 a 30 días y unos 20 cm de altura, se trasplantan en el terreno definitivo.
- (d) **Plan de manejo y fertilización del cultivo en diferentes etapas productivas** Refierase a la Tabla 1.
- (e) **Cosecha** Esta etapa se realizó a los 135 días aproximadamente, desde el almacigo e instalación del cultivo y se utilizó maquina cosechadora equipada con orugas de jebe.

Tabla 1. Plan de manejo del cultivo de arroz.

Descripción de la actividad	Momento	Detalle de la aplicación
Primer abonamiento o abonamiento de fondo	Antes del trasplante	100 kg de fosfato di amónico y 100 kg de cloruro de potasio
Control de malezas	A 7 días del trasplante	Se aplicó un herbicida preemergente butaclor
	A 10 días del preemergente	Se realizó la fumigación con herbicidas pos emergentes Florpyrauxifen-benzyl (loyant), y Cyhalofop butil (clincher) + su insecticida chlorpyrifos (tifón).
Segundo abonamiento	A los 51 días	Se aplicó con una lámina de agua, 100 kg de nitro s (nitrato de amonio) y 100 kg de cloruro de potasio
Tratamiento para macollamiento	A los 60 días	Se aplicó bioestimulante a base de aminoácido, fungicida carbendazin (protexin) e insecticida imidacloprid y benzoate (Agryben duo).
Tercer abonamiento	A los 70 días	Se aplicó con lámina de agua, 75 kg de nitrato de amonio (Nitro S).
Tratamiento para formación y protección de espigas	A los 75 días	Se aplicó fungicidas tebucunazole, Difeconazole, Propiconazole, Insecticidas imidacloprid y foliares de potasio, fosforo, calcio, boro.
Rendimiento	Dos últimas campañas	A1 (7000kg ha^{-1}), A5 (8500kg ha^{-1}), A9 (8500kg ha^{-1})

Estas áreas producen 2 campañas por año.

2.4 Bosque secundario

Las áreas con manejo convencional de arroz se compararon con bosque secundario (BS), bosque adyacente a estos cultivos que presentan una gran intervención de especies con valor comercial, cuya composición actual es a base de especies como: moena (*Aniba amazónica* Meiz), pashaco blanco (*Macrolobium acaciaefolium* Benth), oje (*Ficus insípida* Willd.), Capirona (*Calycophyllum Spruceanum* (Bent.) Hook), palo lápiz (*Polyscias murrayi* F. Muel), ana caspi (*Apuleia procox* C. Martius), bellaco caspi (*Himatanthus sucuuba* Woods), tornillo (*Cedrelinga*

cateniformis D. Ducke), Cashimbo (*Cariniana periformis* Miers), setico (*Cecropia membranacea* Trécul), topa (*Ochroma pyramidale* Cav. Ex. Lamb), yarina (*Phytelephas macrocarpa* Ruiz et Pav), el huasai (*Euterpe oleracea* Mart.) y otras especies de bajo valor comercial.

2.5 Muestreo y análisis físico químico del suelo

Sobre las áreas se desarrollan dos campañas por año. En ellas se realizó el muestreo antes de la

segunda campaña del 2020 (agosto-diciembre), en parcelas de arroz con manejo convencional de un año (A1), cinco años (A5), nueve años (A9) y bosque secundario (BS) como referencia. En ellas se seleccionó una subárea de 2000 m² y se realizó el muestreo en 5 puntos al azar en cada subparcela, según la metodología de la Soil Taxonomy (2014), considerando estratos de 0,0 a 0,2 y 0,2 a 0,4 m de profundidad, evaluándose indicadores físicos (textura) y químicos: pH, materia orgánica *MO*, *N*, *P*, *K*⁺, *Ca*²⁺, *Mg*²⁺, *Al*³⁺, capacidad de intercambio de cationes CIC, acidez cambiante AC y saturación de aluminio (SAI), siguiendo los protocolos descritos por Bazán (2017).

2.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Es una investigación no experimental comparativa (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) ajustada estadísticamente al diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro tratamientos: bosque secundario (BS), Arroz con 1 año (A1), cinco años (A5) y nueve años de manejo (A9) y un tamaño de muestra $n = 5$ (40 muestras en total), en estratos de 0,0 a 0,2 m y 0,2 a 0,4 m. Cada unidad experimental estuvo conformada por una subárea de 1000 m². Metodo-

logías de estudios similares han sido aplicadas por Navarro, Florida y Navarro (2018) y Florida y Núñez (2020). Los datos fueron sometidos al análisis de varianza ANOVA y prueba HSD-Tukey con un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$) para la comparación de medias y medir los efectos del manejo sobre indicadores fisicoquímicos del suelo en diferentes estratos, con el software libre IBM-SPSS 25.

3 Resultados y Discusión

3.1 Indicadores físicos

El único indicador físico evaluado es la textura del suelo. La Tabla 2 muestra que los diferentes tratamientos evaluados presentan una clase textural arcillosa (con % de arcilla > 42%) en ambos estratos (0,0-0,2 y 0,2-0,4 m). Además, se observan cambios en el % de las fracciones arena y limo, que muestran variaciones con tendencia de disminución en A1, A5 y ligera recuperación en A9; por el contrario, la fracción arcilla se incrementa en A1 y tiende a disminuir en A5 y A9 en ambos estratos; esta fracción es la menos alterada. En general, se produjo inicialmente una reducción de la fracción arena, limo e incremento notable de arcilla y en el tiempo se observa un efecto contrario en ambos estratos.

Tabla 2. Estadística de las fracciones y clase textural.

Tratamientos	Fracciones			Clase textural
	Arena	Arcilla	Limo	
Estrato 0,0-0,2 m				
BS	28,6±3,29 ^b	48,8±3,03 ^a	22,6±2,61 ^{bc}	Arcilloso
A1	7,4±0,89 ^a	80±4,69 ^b	12,6±4,56 ^a	Arcilloso
A5	9,4±6,54 ^a	73,6±9,94 ^b	17±3,46 ^{ab}	Arcilloso
A9	14,6±3,58 ^a	60±6,78 ^a	25,4±4,34 ^c	Arcilloso
EEM	16,8	44	14,6	
Sig.	0,00**	0,00**	0,00**	
CV (%)	61,93	21,07	31,85	
Estrato 0,2-0,4 m				
BS	21±7,21 ^b	48,4±6,07 ^a	30,6±4,98 ^b	Arcilloso
A1	7,4±1,67 ^a	79,6±5,18 ^b	13±4,24 ^a	Arcilloso
A5	7,8±1,79 ^a	78,4±5,55 ^b	13,8±4,15 ^a	Arcilloso
A9	16,6±9,21 ^{ab}	57,6±8,41 ^a	25,8±3,9 ^b	Arcilloso
EEM	35,7	41,3	18,8	
Sig.	0,005**	0,00**	0,00**	
CV (%)	61,36	22,67	42,07	

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, **: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ($p = 0,05$).

Los resultados pueden explicarse considerando que el sistema de preparación del suelo tiene como objetivo mullir y desmenuzar el terreno previo a la siembra, para crear un lecho adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Vignola y col., 2018); por ello, se levanta y revuelve la tierra desde una profundidad de 10 a 20 cm, fraccionando los agregados y afectando la relación suelo-agua (Pérez, González y Castro, 2002; Ruiz, Díaz y Polón, 2005). Además, el encharcamiento genera circulación de agua hacia abajo, lo que provoca la pérdida de partículas finas, arcilla y limo (Castillo, 2000; Alejandro, 2016). Estas referencias explican la reducción de la fracción limo en A1 y arcilla en A9 en ambos estratos; sin embargo, no explican la reducción de arena e incremento de arcilla en A1 y la recuperación de la fracción arena y limo en A9; probablemente el acondicionamiento inicial de la parcela que incluye cortes y rellenos para aplanar el terreno sea el responsable de los cambios iniciales y recién en A5 y A9.

3.2 Indicadores químicos

La Tabla 3 muestra las medias de los indicadores de fertilidad; los niveles de pH en ambos estratos tienden a disminuir ligeramente en A1 y luego a incrementar en A5 y A9, este último presentando la media más alta. La media en MO y N en ambos estratos tiende a disminuir en A1, A5 y A9 presenta la media más baja; el P disminuye en A1 y luego tiende a estabilizarse y a mostrar tendencias de recuperación en A5 y A9, similar al BS; además, los niveles medios del estrato superficial son mayores. Contrariamente en el caso del K^+ , los niveles medios en A1, A5 y A9 son mayores al BS en ambos estratos y las medias más altas lo presenta el estrato de 0,4 m. En general, el pH, P y K^+ disminuyen en A1 y luego muestran tendencias de recuperación en A5 y A9, excepto MO y N que tienden a disminuir. Además, se encontraron diferencias significativas en el pH, MO, N y P, excepto en el K^+ , que no muestra diferencias entre los tratamientos y estratos evaluados.

Tabla 3. Estadística de indicadores químicos de fertilidad.

Tratamientos	Indicadores				
	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Estrato 0,0-0,2 m					
BS	4,74±0,14 ^a	3,82±0,68 ^b	0,19±0,03 ^b	7,04±0,48 ^a	72,37±0,99 ^a
A1	4,64±0,12 ^a	2,26±0,44 ^a	0,11±0,02 ^a	4,01±1,03 ^a	77,02±2,31 ^a
A5	4,97±0,16 ^b	2,48±0,55 ^b	0,12±0,03 ^a	6,79±2,26 ^{ab}	76,27±7,43 ^a
A9	4,76±0,08 ^{ab}	1,58±0,46 ^a	0,08±0,02 ^a	7,09±2,1 ^b	75,77±3,68 ^a
EEM	16	293	1	2706	18743
Sig.	0,007**	0,00**	0,000**	0,025*	0,367ns
CV (%)	3,56	38,19	38,46	32,1	5,8
Estrato 0,2-0,4 m					
BS	4,76±0,13 ^{ab}	1,39±0,12 ^{ab}	0,07±0,01 ^{ab}	3,21±0,78 ^a	73,26±1,06 ^a
A1	4,63±0,1 ^a	1,52±0,32 ^{ab}	0,08±0,02 ^{ab}	2,6±0,8 ^a	80,98±5,38 ^a
A5	4,97±0,07 ^{bc}	1,65±0,52 ^b	0,08±0,03 ^b	5,43±1,47 ^b	82,46±7,31 ^a
A9	5,16±0,16 ^c	0,88±0,35 ^a	0,04±0,02 ^a	3,5±1,14 ^{ab}	81,37±5,56 ^a
EEM	0,01389	0,1269325	0	1178	28598
Sig.	0,00**	0,02*	0,021*	0,005**	0,056**
CV (%)	4,71	32,35	33,82	39,8	7,76

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, **: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ($p = 0,05$).

El comportamiento de los resultados de la Tabla 3 puede explicarse considerando que la MO y N son indicadores fuertemente alterados por el manejo convencional (Çay, 2018), y ocurren como consecuencia de permanecer en condiciones de al-

to encharcamiento (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001; Alejandro, 2016), elevado tránsito de maquinaria agrícola que compacta el suelo y altera la disponibilidad de oxígeno (Alejandro, 2016), y el uso excesivo de herbicidas para el control de malezas

(Ramírez, Hoyos y Plaza, 2017). Por tanto, los valores de MO y N en A1, A5 y A9 no son ideales ya que Domínguez y col. (2020) considera normal para el desarrollo del cultivo valores superiores al 3% de MO . A pesar de que la preparación del suelo incluye la incorporación de los residuos de cosecha, esto no parece ayudar a incrementar los niveles de MO y N , tal como lo señala Guzmán (2006), Alvarez, Daza y Mendoza (2008) y Li y col. (2011) y Liqun y col. (2014); además, se registran niveles muy bajos en A9 en ambos estratos evaluados, lo que podría afectar los niveles de absorción de N , P y Mg , elementos relacionados con la producción de materia verde (Aguilar, 2010). Por lo tanto, es necesario determinar la tasa de aplicación de fertilizantes, para optimizar la eficiencia del uso de N y evitar efectos adversos (Zhang y col., 2009).

Respecto al pH, el uso intensivo de maquinaria y los altos volúmenes de agua causan fuerte lavado de las bases intercambiables y un acentuado proceso de acidificación (Ruiz, Muñoz y Polón, 2016); aunque es posible mejorar o corregir con aplicación de enmiendas calcáreas, en este caso la inundación favorece su rápida incorporación, elevando los niveles de pH (Morales, 2004). Sin embargo, los re-

sultados no muestran este proceso de acidificación y según Sanjinez (2019) están muy cerca de los niveles óptimos para este cultivo (5,5 a 6,5 de pH). Respecto al K^+ , no se observa diferencias y tiende a incrementarse con el tiempo, esto puede explicarse considerando (Tabla 1) que se aplica 100 Kg de cloruro de potasio antes del trasplante, 100 kg mas a 51 días del trasplante y foliares a base de K , P , Ca^{2+} y B a los 75 días, generándose una acumulación. Esto puede alterar la relación que mantiene este elemento con los cationes Ca , Mg y con los nutrientes N y P , e influenciar negativamente en la absorción de estos y limitar la producción (Aguilar, 2010; Das y col., 2014), ya que la cantidad aplicada a las áreas supera lo recomendado por Alejandro (2016), dosis entre 80 – 150 kg de K_2O , ha^{-1} , y por Paredes y Becerra (2015) quienes sugieren no usar más de 60 unidades de K^+ antes del trasplante. Por lo tanto, es necesario considerar las curvas de absorción del cultivo para poder aportar los nutrientes necesarios en cada fase fenológica del cultivo (Tinoco y Acuña, 2009; Zhang y col., 2009). Si la tendencia del desequilibrio de K no se invierte, el potencial para mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes N y P y el rendimiento de los cultivos será limitado.

Tabla 4. Estadística de indicadores químicos intercambiables.

Tratamientos	Indicadores			
	Ca	Mg	Al	CiCe
Cmol(+)/kg				
Horizonte 0,0-0,2 m				
BS	4,41±0,78 ^a	0,65±0,09 ^a	7,42±1,16 ^{ab}	12,61±1,22 ^a
A1	4,04±0,82 ^a	0,61±0,11 ^a	13,1±1,57 ^c	18,36±2,58 ^b
A5	5,97±0,45 ^b	0,87±0,09 ^b	5,14±1,58 ^a	12,17±1,92 ^a
A9	4,95±0,59 ^{ab}	0,74±0,06 ^{ab}	7,94±1,09 ^b	13,93±1,56 ^a
EEM	459	8	1870	3561
Sig.	0,002**	0,001**	0,00**	0,00**
CV (%)	20,04	18,31	38,54	21,37
Horizonte 0,2-0,4 m				
BS	4,59±0,73 ^{ab}	0,66±0,08 ^a	8,55±1,59 ^b	14,33±1,87 ^a
A1	4,05±0,69 ^a	0,61±0,09 ^a	12,26±2,13 ^c	18,15±2,2 ^b
A5	6,4±0,91 ^c	0,91±0,08 ^b	4,63±1,67 ^a	12,66±1,31 ^a
A9	5,85±0,58 ^{bc}	0,83±0,05 ^b	5,75±0,44 ^{ab}	12,91±0,76 ^a
EEM	539	6	2517	2652
Sig.	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	22,56	19,28	42,97	18,61

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, **: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ($p = 0,05$).

La Tabla 4 muestra que las medias de los niveles de Ca^{2+} y Mg^{2+} en ambos estratos tienden a disminuir ligeramente en A1 y luego a incrementar en A5 y A9; por el contrario, los niveles de Al^{3+} , AC y SAL se incrementan en A1 y luego disminuyen en A5 y A9. En general, todos los indicadores intercambiables presentan diferencias altamente significativas según el tratamiento y el estrato evaluado en comparación al suelo de bosque secundario.

El comportamiento de los indicadores intercambiables (Tabla 4), puede explicarse considerando que los suelos arroceros conducen al establecimiento de un horizonte iluvial compacto, poco permeable e enriquecido con hierro y manganeso y otro eluvial empobrecido, que se manifiesta por un lavado intenso de bases (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001); además, los iones NH^{+4} , Fe^{2+} y Mn^{2+} liberados después de la inundación pueden desplazar cantidades considerables de Mg^{2+} de los sitios de intercambio por el fuerte lavado (Bacha, 2002; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016). Esto explica la reducción de

Ca^{2+} , Mg^{2+} y el incremento de Al^{3+} , AC y SAL en A1; sin embargo, estas referencias no explican la recuperación de Ca^{2+} , Mg^{2+} y la reducción de Al^{3+} , AC y SAL en A5 y A9; probablemente es por la incorporación de los residuos de cosecha y por el aporte de fertilizantes en algunos casos en exceso como el K^{+} (Tabla 1), en el proceso de producción.

3.3 Comparaciones múltiples de los indicadores físicos

Todas las fracciones evaluadas en los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas (Tabla 3) y las comparaciones múltiples HSD-Tukey (Tabla 5), muestra que la fracción arena en los tratamientos A1, A5 y A9 son diferentes al BS, excepto A9 a 40 cm de profundidad. En el caso de la fracción arcilla, A1 y A5 presentan diferencias con BS en ambos estratos y en la fracción limo A1 es diferente a BS en el estrato superficial, en el estrato de 40 cm tanto A1 como A5 son diferentes al BS.

Tabla 5. Test HSD-Tukey para indicadores físicos.

Variable dependiente	Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv, Error	Sig,	
Arena	A1	21,2*	2,59	0,000	
	BS20	A5	19,2*	2,59	0,000
	A9	14*	2,59	0,000	
	BS40	A1	13,6*	3,78	0,012
	A5	13,2*	3,78	0,014	
	A9	4,4	3,78	0,657	
Arcilla	A1	-31,2*	4,2	0,000	
	BS20	A5	-24,8*	4,2	0,000
	A9	-11,2	4,2	0,072	
	BS40	A1	-31,2*	4,06	0,000
	A5	-30*	4,06	0,000	
	A9	-9,2	4,06	0,149	
Limo	A1	10*	2,42	0,004	
	BS20	A5	5,6	2,42	0,135
	A9	-2,8	2,42	0,660	
	BS40	A1	17,6*	2,74	0,000
	A5	16,8*	2,74	0,000	
	A9	4,8	2,74	0,332	

*, La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Las comparaciones múltiples muestran diferencias entre tratamientos e indicadores físicos y químicos evaluados en ambos estratos. Este resultado demuestra que el tiempo de manejo en el culti-

vo, principalmente la mecanización y el riego, tiene efectos sobre las diferentes fracciones del suelo en ambos estratos, en comparación al bosque secundario usado como referencia, siendo la afectación en el

siguiente orden: arena>arcilla>limo.

3.4 Comparaciones múltiples de los indicadores químicos

Los indicadores químicos evaluados en los diferentes tratamientos y estratos también presentan

diferencias significativas (Tabla 4), excepto el K. Las comparaciones múltiples HSD-Tukey (Tabla 6), muestran que el pH en el tratamiento A1 a 0,2 m y A9 a 0,4 m, son diferentes al BS. La MO y el N en los tratamientos A1, A5 y A9 a 0,2 m; el P en los tratamientos A1 en estrato superficial y A5 a 0,4 m y el K^+ no presentan diferencias en comparación al bosque secundario BS.

Tabla 6. Test HSD-Tukey para indicadores químicos de fertilidad.

Variable dependiente	Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.		
pH	A1	A5	0,09400	0,07977	0,648	
		A9	-0,23000*	0,07977	0,048	
		BS20	-0,02400	0,07977	0,990	
	BS40	A1	0,13200	0,07454	0,322	
		A5	-0,21000	0,07454	0,054	
		A9	-,39200*	0,07454	0,000	
	MO	A1	A5	1,56200*	0,34219	0,002
			A9	1,34000*	0,34219	0,006
			BS20	2,24000*	0,34219	0,000
BS40		A1	-0,13400	0,22533	0,932	
		A5	-0,25800	0,22533	0,668	
		A9	0,50600	0,22533	0,153	
N		A1	A5	0,08200*	0,01769	0,001
			A9	0,07000*	0,01769	0,006
			BS20	0,11400*	0,01769	0,000
	BS40	A1	-0,00600	0,01179	0,956	
		A5	-0,01400	0,01179	0,643	
		A9	0,02600	0,01179	0,164	
	P	A1	A5	3,03000*	1,04036	0,045
			A9	0,25000	1,04036	0,995
			BS20	-0,05400	1,04036	1,000
BS40		A1	0,61200	0,68649	0,809	
		A5	-2,22200*	0,68649	0,024	
		A9	-0,28600	0,68649	0,975	
K ⁺		A1	A5	-4,65200	2,73811	0,356
			A9	-3,89800	2,73811	0,504
			BS20	-3,40000	2,73811	0,611
	BS40	A1	-7,72400	3,38217	0,144	
		A5	-9,20600	3,38217	0,065	
		A9	-8,11000	3,38217	0,118	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

La Tabla 7 muestra las comparaciones múltiples según la prueba HSD-Tukey, donde el Ca^{2+} en el tratamiento A5 a 0,2 y 0,4 m presenta diferencias respecto al tratamiento control (BS); también, el Mg^{2+} en A5 a 0,2 m y A5 y A9 a 0,4 m son diferentes a BS; en el caso del Al^{3+} en A1 a 0,2 m y A1 y A5 a 0,4 m presenta diferencias respecto a BS y la CICE en A1 a 0,2 y 0,4 m son diferentes al BS. Esta prueba de com-

paración múltiple demuestra que más de un tratamiento presentó diferencias respecto al tratamiento control (BS) en los diferentes indicadores y estratos evaluados y se evidencian efectos negativos según los tratamientos en el siguiente orden: $A1 > A5 > A9$. En general, los indicadores químicos según los tratamientos son afectados severamente al inicio del manejo (A1) y en la mayoría de ellos se aprecia una

recuperación con el tiempo, producto de la aplicación de ciertos criterios como la incorporación de residuos de la cosecha en cada periodo de preparación del suelo y la falta de precisión en el plan de manejo que hasta el momento (A9) parece un proceso de recuperación; sin embargo, se advierten

efectos negativos con el tiempo, como se observa en la literatura (Castillo, 2000; Federación Nacional de Arroceros de Colombia, 2001; Navarro y col., 2001; Ruiz, Díaz y Polón, 2005; Alejandro, 2016; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016; Vignola y col., 2018; Domínguez y col., 2020).

Tabla 7. Test HSD-Tukey para indicadores químicos intercambiables.

Variable dependiente	Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv, Error	Sig,	
Ca ²⁺	A1	0,36600	0,42868	0,828	
	BS20	A5	-1,56000*	0,42868	0,011
		A9	-0,54000	0,42868	0,600
	BS40	A1	0,54000	0,46432	0,658
		A5	-1,81000*	0,46432	0,006
		A9	-1,25600	0,46432	0,067
Mg ²⁺	A1	0,04000	0,05638	0,892	
	BS20	A5	-,22000*	0,05638	0,006
		A9	-0,09400	0,05638	0,372
	BS40	A1	0,04600	0,04868	0,782
		A5	-,25600*	0,04868	0,000
		A9	-,17400*	0,04868	0,012
Al ³⁺	A1	-5,67400*	0,86488	0,000	
	BS20	A5	2,28400	0,86488	0,076
		A9	-0,51600	0,86488	0,932
	BS40	A1	-3,70800*	1,00345	0,010
		A5	3,92000*	1,00345	0,006
		A9	2,80000	1,00345	0,057
CICe	A1	-5,74400*	1,19345	0,001	
	BS20	A5	0,44200	1,19345	0,982
		A9	-1,31600	1,19345	0,693
	BS40	A1	-3,82200*	1,02998	0,009
		A5	1,66800	1,02998	0,396
		A9	1,41400	1,02998	0,533

*, La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Finalmente, en base a los antecedentes del rendimiento de las áreas (Tabla 1) se tiene un rendimiento medio en las dos últimas campañas de 7 t ha⁻¹ A1 y 8,5 t ha⁻¹ en A5 y A9, estos últimos superior a la media nacional de 7,19 t ha⁻¹ (MINAGRI-DGESEP, 2018), a los 7,72 t ha⁻¹ reportado por Gabriel (2014) combinando biol y 20 t ha⁻¹ de bocashi a los 6, 88 t ha⁻¹ obtenidos por Jara (2003) con la variedad Biflor en Tulumayo, Leoncio Prado y a los 5,5 y 5,3 t ha⁻¹, respectivamente obtenidos por Barahona y col. (2019) en un suelo Inceptisols en Coclé, Panamá. Sin embargo, son ligeramente menor a los 9,5 t ha⁻¹ reportado por Quevedo, Beltrán y Barragán (2019) y a los 10,346 t ha⁻¹ reportado por Contreras (2016),

con la aplicación de fósforo y micronutrientes en Tinajones Jequetepeque. Estos rendimientos se explican primero por las condiciones bioclimáticas óptimas que presenta el lugar; según Sanjinez (2019) la temperatura óptimo para germinar varía entre 10 y 35°C y para el crecimiento del tallo, hojas y raíces varía entre 7 y 23°C, y el área en estudio presenta una media de 26,6°C (World Climate Data, 2020); en segundo lugar, los rendimientos se deben al plan muy dicplinado de fertilizantes que se aplican (Tabla 1) y en tercer lugar a los restos de cosecha que se incorporan en cada ciclo de preparación del suelo.

4 Conclusiones

Se encontraron diferencias en las fracciones arena, limo y arcilla en los diferentes tratamientos evaluados (BS, A1, A5 y A9) y corresponden a una clase textural arcillosa. Se encontró inicialmente una reducción en los valores medios de la fracción arena, limo e incremento de arcilla y en el tiempo ligera recuperación de la fracción arena, limo y la fracción arcilla tiende a disminuir.

Los indicadores químicos determinan que son suelos de pH ácido a ligeramente ácido, con niveles de MO, N, P y Ca que varían de bajos a medios; el K, Mg y la CIC presentan niveles bajos y el Al presenta niveles altos, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos y estratos evaluados, excepto el K que no muestra diferencias.

El análisis de varianza y las comparaciones múltiples muestran diferencias entre tratamientos en los diferentes indicadores físicos-químicos evaluados en ambos estratos; el tiempo de manejo del arroz bajo riego tiene efectos en las diferentes fracciones del suelo y sobre los indicadores químicos en ambos estratos, afectando severamente el inicio del manejo (A1) y se aprecia una recuperación con el tiempo (A9), por la incorporación de residuos de cosecha y un plan estricto de fertilización que ha mantenido los rendimientos por encima de la media nacional; sin embargo, se advierten efectos negativos a largo plazo.

Referencias

- Aguilar, Y. (2010). «Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de arroz en tres zonas de la cuenca baja del río Guayas- Ecuador». En: *XII congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo*.
- Alejandro, M. (2016). «Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivos de arroz riego intermitente y secano bajo el sistema de labranza tradicional aplicado, en los llanos del Casanare». Tesis de mtría. Universidad Nacional de Colombia Palmira.
- Alvarez, J., M. Daza y C. Mendoza (2008). «Aplicación de un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en Arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado en Ibagué y el Guamo (Tolima, Colombia)». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61.2, 4605-4617. Online: <https://bit.ly/3LwQi4x>.
- Bacha, R. (2002). «Arroz irrigado sistema pre germinado». En: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Cap. Principios básicos para a adubação do arroz irrigado, págs. 77-99.
- Barahona, L. y col. (2019). «Absorción de nutrientes en arroz en un suelo inceptisol bajo riego en Coclé, Panamá». En: *Agronomía Mesoamericana* 30.2, 407-424. Online: <https://bit.ly/3dsD3W7>.
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Online: <https://bit.ly/3QT2EoM0>. INIA.
- Castillo, L. (2000). «Relación entre las propiedades físicas de suelo y el desarrollo morfológico de la planta de arroz». En: *Revista Cubana del Arroz* 49.424, págs. 1-37.
- Çay, Anıl (2018). «Impact of different tillage management on soil and grain quality in the Anatolian paddy rice production». En: *Plant, Soil and Environment* 64.7, 303-309. Online: <https://bit.ly/3f3Ku6r>.
- Contreras, F. (2016). «Aplicación de fósforo y micronutrientes en un sistema intensivo del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) cv, Tinajones en Jequetepeque». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Das, A. y col. (2014). «Yield trends and nutrient budgeting under a long-term (28 years) nutrient management in rice-wheat cropping system under subtropical climatic condition». En: *Plant, Soil and Environment* 60.8, 351-357. Online: <https://bit.ly/3f3Ku6r>.
- Domínguez, C. y col. (2020). «Influencia de la Agricultura de Conservación sobre propiedades del suelo bajo cultivo de arroz irrigado». En: *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 29.3, 75-83. Online: <https://n9.cl/leph9>.
- Effendi, A., E. Zuhry y E. Ariani (2021). «Effects of the sludge application at different concentrations on growth and production of rice (*Oryza sativa* L.) using a water channel underneath soil surface». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 74.1, 9395-9401. Online: <https://bit.ly/3S2BCg7>.
- Federación Nacional de Arroceros de Colombia (2001). *Arroz en Colombia 1980 –2001*. FEDEARROZ.
- Florida, N. y G. Núñez (2020). «Soil quality with traditional management in the Chambira native community». En: *Plant, Soil and Environment* 66.8, 375-380. Online: <https://bit.ly/3DGgUhZ>.
- Gabriel, V. (2014). «Efecto del abonado orgánico en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en sistema de secano favorecido en Tingo María». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Guzmán, D. (2006). «Manejo agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) sembrado bajo riego en finca ranchos horizonte; Cañas; Guanacaste, Costa Rica». Tesis de mtría. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Hernández, R., C. Fernández y M. Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- Holdridge, R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA.
- Jara, C. (2003). «Comportamiento de nueve variedades y cinco líneas experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.)

- bajo riego en Tulumayo». Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Li, J.T. y col. (2011). «Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system». En: *Plant Soil Environ* 57.8, 351-356.
- Liquin, Z. y col. (2014). «Effects of different tillage and straw return on soil organic carbon in a rice-wheat rotation system». En: *PLOS one* 9.2, e88900. Online: <https://bit.ly/3R8lhoY>.
- Lv, Y. y col. (2015). «Phosphorus release from the soils in the Yellow River Delta: dynamic factors and implications for eco-restoration». En: *Plant, Soil and Environment* 61.8, 339-343. Online: <https://bit.ly/3LtsCro>.
- Lv, Z. y col. (2018). «Effects of 29-year long-term fertilizer management on soil phosphorus in double-crop rice system». En: *Plant, Soil and Environment* 64.5, 221-226. Online: <https://bit.ly/3S4tvzI>.
- MINAGRI-DGESEP (2018). *Arroz 2001-2017*. Ministerio de Agricultura y Riego-Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas.
- Morales, L. (2004). «Análisis estadísticos y geoestadísticos en diferentes estadios de algunas propiedades de un suelo bajo cultivo de arroz». Tesis doct. Universidad Nacional del Nordeste Argentina.
- Navarro, N. y col. (2001). «Degradación de los suelos arroceros, impacto ambiental». En: *Resumen del Congreso Latino Americano, XV Encuentro Cubano de la Ciencias del Suelo*.
- Navarro, V., R. Florida y V. Navarro (2018). «Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso». En: *Livestock Research for Rural Development* 30, 137. Online: <https://bit.ly/3QVeMW9>.
- Paredes, A. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica de la provincia de Alto Amazonas*. Inf. téc. Gobierno Regional de Loreto.
- Paredes, C. y V. Becerra (2015). *Producción de Arroz: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)*. Inf. téc. 306. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Pérez, N., M. González y R. Castro (2002). «Validación de nuevas variedades cubanas de arroz (*Oryza sativa* L.) para la provincia de Pinar del Río». En: *Cultivos Tropicales* 23.2, 51-54. Online: <https://bit.ly/3BX284X>.
- Pulgar, V. (2014). «Las ocho regiones naturales del Perú». En: *Terra Brasilis (Nova Série)* 3, 1-20. Online: <https://bit.ly/2Ghsinm>.
- Quevedo, Y., J. Beltrán y E. Barragán (2019). «Identification of climatic and physiological variables associated with rice (*Oryza sativa* L.) yield under tropical conditions». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 72.1, 8699-8706. Online: <https://n9.cl/6w52p>.
- Ramírez, J., V. Hoyos y G. Plaza (2017). «Weed population dynamics in rice crops resulting from post-emergent herbicide applications». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 70.1, 8035-8043. Online: <https://bit.ly/3f9WNOR>.
- Ruiz, M., G. Díaz y R. Polón (2005). «Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.)». En: *Cultivos Tropicales* 26.2, 45-52. Online: <https://bit.ly/3xHyHBf>.
- Ruiz, M., Y. Muñoz y R. Polón (2016). «Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial». En: *Cultivos Tropicales* 37.3, 178-186. Online: <https://n9.cl/8zw6c>.
- Sanjinez, S. (2019). «Sustentabilidad del agroecosistema del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en Tumbes». Tesis doct. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Soil Taxonomy (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Stehlíková, I. y col. (2016). «Study on some soil quality changes obtained from long-term experiments». En: *Plant, Soil and Environment* 62.2, 74-79. Online: <https://bit.ly/3dwIbbK>.
- Tinoco, R y A. Acuña (2009). *Cultivo de arroz (Oriza sativa)*. Manual de recomendaciones técnicas. Online: <https://bit.ly/3BrYYVg>. INTA.
- Vignola, R. y col. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en costa rica cultivo de arroz*. Online: <https://bit.ly/3QZTC9w>. INTA.
- World Climate Data (2020). *Clima de Yurimaguas*. World Climate Data-CLIMATE-DATA.ORG.
- Zhang, J. y col. (2009). «Effect of long-term application of manure and mineral fertilizers on nitrogen mineralization and microbial biomass in paddy soil during rice growth stages». En: *Plant Soil Environ* 55.101, e109. Online: <https://bit.ly/3qUVPIB>.