

Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares

Optimization of organic and inorganic fertilization cocoa (*Theobroma cacao* L.) with the inclusion of *Trichoderma* endophyte and arbuscular mycorrhizae

Ángel Luis Tuesta-Pinedo¹, Erick Trigozo-Bartra², Jaime José Cayotopa-Torres⁴, Enrique Arévalo-Gardini³, Cesar Osvaldo Arévalo-Hernández⁵, Luis Benigno Zúñiga-Cernadez⁵, Betsabé Leon-Ttacca⁵

Fecha de recepción: 19 de mayo de 2016
Fecha de aprobación: 6 de agosto de 2016

Tuesta-Pinedo, A; Trigozo-Bartra, E; Cayotopa-Torres, J; Arévalo-Gardini, E; Arévalo-Hernández, C; Zúñiga-Cernadez, L; Leon-Ttacca, B.. Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares. I. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-1. Enero-Marzo 2017. Pág 67-78.

DOI: 10.18845/tm.v30i1.3086



- 1 Ingeniero Agrónomo. Asociación de Productores Kallpa. San Martín, Perú. Correo electrónico: tuestapi@hotmail.com
- 2 Ingeniero Agrónomo. Asociación de Productores Kallpa. San Martín, Perú. Correo electrónico: e.trigozo@gmail.com
- 3 Ingeniero Agrónomo. Instituto de Cultivos Tropicales. San Martín, Perú. Correo electrónico: enriquearevaloga@gmail.com
- 4 Asociación de Productores Kallpa. San Martín, Perú.
- 5 Instituto de Cultivos Tropicales. San Martín, Perú.

Palabras clave

Moniliasis; *Phytophthora*; Escoba de Bruja; Nutrición mineral.

Resumen

El cacao es una planta nativa de América tropical y el Perú ha expandido su área sembrada considerablemente, por lo que es necesario un manejo adecuado del cultivo para obtener rendimientos rentables. Así, el presente trabajo tuvo como objetivo validar la inclusión de *Trichoderma* endófito y micorrizas en la fertilización orgánica e inorgánica para mejorar el rendimiento y la tolerancia a enfermedades del cacao. El experimento fue localizado en dos zonas productivas del Departamento de San Martín (Juanjui y Lamas), cepas de *Trichoderma* (T) y hongos micorrizicos arbusculares (HMA) se inocularon en plantas de cacao de 6 a 12 años en conjunto con aplicación de fertilizantes (F) y Guano de isla (G), dispuestos en DBCA con 10 tratamientos (Aplicación de T; HMA; T+HMA; T+F; T+G; HMA+F; HMA+G; T; G). Se evaluó la dinámica de las principales enfermedades en cacao (Escoba de bruja, Moniliasis y Pudrición parda), número de frutos cherelles, número de mazorcas y peso de grano seco. A partir de los resultados, se puede concluir que las zonas de Juanjui y Lamas, presentaron mayor incidencia de Moniliasis y Pudrición parda, respectivamente; explicado por el posible desbalance nutricional en las plantas producido por el exceso y falta de calcio, respectivamente. De forma general, la localidad de Juanjui tuvo mayor rendimiento de granos de cacao en comparación a Lamas. Los tratamientos con mayores rendimientos fueron los que incluyeron la aplicación de HMA y fertilizante inorgánico indicando la sinergia entre factores.

Keywords

Moniliasis; *Phytophthora*; Witches' broom; mineral nutrition.

Abstract

Cacao is a native plant of tropical America and in Peru has considerably expanded its planted area, so proper crop management to obtain profitable yields is necessary. Thus, this study aimed to validate the inclusion of *Trichoderma* endophyte and mycorrhizae in organic and inorganic fertilization to improve performance and tolerance of cacao to diseases. The experiment was located in two production areas of the Department of San Martin (Juanjui and Lamas), strains of *Trichoderma* (T) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) were inoculated into cacao plants of 10 to 15 years in conjunction with inorganic (F) and organic (G) fertilizer applications, arranged in RCBD with 10 treatments (application of T; HMA; T + HMA; T + F; T + G; HMA + F; HMA + G; T; G). The dynamics of major diseases (Witches' broom, Frosty pod and black pod) in cacao, cherelles, number of fruits, number of ears and grain dry weight was evaluated. From the results, it can be concluded that the towns of Juanjui and Lamas, had a higher incidence of Moniliasis and Black pod, respectively; explained by the possible nutritional imbalance in plants caused by excess and lack of calcium respectively. Overall, the plants showed higher yields in Juanjui in comparison to Lamas. The treatments with higher yields were those that included the application of HMA and inorganic fertilizer, indicating synergy between factors.

Introducción

En los últimos años el cultivo de cacao en el Perú, incrementó sus áreas cultivadas en 32.6 %, pasando de 56 732 ha en el 2006 a más de 98 000 ha en el 2016 [22], sin embargo; los

índices de producción promedio por hectárea alcanzaron apenas 671 kg. El cacao en el Perú ha ganado importancia debido a su uso en la sustitución de cultivos ilícitos de coca y es mayormente manejado en sistemas agroforestales [1], estos sistemas conservan la fertilidad de suelo y mejoran el ciclaje de nutrientes, previenen la erosión de suelo, mejoran atributos físicos y conservan la diversidad microbiana [2]. Dentro de esta diversidad microbiana, los hongos endófitos asociados a las plantas, como es el caso de *Trichoderma* sp. pueden contribuir con un mejor desarrollo de plantas, mayor productividad y calidad de cultivos debido a que disminuyen el estrés causado por enfermedades y estreses abióticos como la falta de agua y metales pesados [3] [4]. Los hongos micorrizicos arbusculares (HMA), forman simbiosis con más del 80% de las plantas terrestres conocidas [6] y son reconocidos por sus amplios beneficios hacia las plantas como una mejor nutrición de P, tolerancia a sequía, acidez, salinidad, metales pesados y patógenos [6] [5] [7]. Sin embargo, el uso de fertilizantes tanto orgánicos como inorgánicos a depender de la dosis y tipo de insumo utilizado, puede afectar la diversidad microbiana, su función en el ecosistema y la dinámica de especies presentes en el suelo [8], logrando que suelos con altos niveles de nutrientes o altas aplicaciones de fertilizantes disminuyan la presencia de microorganismos o su asociación con las plantas como ocurre en caso de los HMA, con altos niveles de P disponible [6]. De esta manera, son necesarias investigaciones que analicen el potencial del uso de microorganismos en la agricultura y los efectos de la fertilización orgánica e inorgánica en la calidad de suelo y productividad del cultivo de cacao. Así, el objetivo del presente trabajo fue validar la inclusión de *Trichoderma* endófito y micorrizas en la fertilización orgánica e inorgánica para mejorar el rendimiento y productividad del cacao.

Materiales y metodos

Localización

El experimento fue realizado en dos localidades. La primera parcela experimental se localizó en la provincia de Mariscal Cáceres, Centro Poblado Chambira – sector el Porvenir (5 km de la ciudad de Juanjui), en una plantación de cacao CCN-51 de 5.5 años de edad con una extensión de 5 hectáreas (3 x 3 m), con una precipitación anual de 1472 mm y temperaturas promedio máxima de 28.4 °C y mínima de 18.7 °C. La segunda parcela experimental en la provincia de Lamas, distrito de Pinto Recodo – sector Huicungo (10 km del distrito de Shanao), en una plantación de cacao de 12 años de edad, bajo un sistema de siembra cuadrado de 3 x 3 m de densidad, en el Fundo “Paraíso Verde”, con una precipitación anual de 1715.3 mm y temperaturas promedio máxima de 33 °C y mínima de 20.6 °C. Los resultados de los análisis de suelo (Textura, pH, Conductividad eléctrica, Materia orgánica, Nitrógeno total, Fosforo disponible, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio y Aluminio) para cada localidad utilizada en el presente experimento son presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos donde se realizó el experimento.

Zona	Arena	Limo	Arcilla	pH	C.E	CaCO ₃	M.O	N	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
	-----%-----			1:2.5 Agua	dS/m	-----%-----			mg kg ⁻¹		-----cmolc kg ⁻¹ -----				
Juanjui	52.96	24	23.04	5.18	0.05	0	1.88	0.08	<4	64	1.69	0.56	0.16	0	0
Lamas	17.68	21.28	61.04	7.82	0.26	5.72	4.82	0.22	7.14	119	34.29	2.42	0.3	0	0

Diseño experimental

El experimento fue conducido bajo un Diseño de Bloque Completamente al Azar con 10 tratamientos y 3 repeticiones en cada localidad estudiada (Juanjui y Lamas). Se empleó tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en interacción con los microorganismos (cuadro 2). Se realizaron aplicaciones de *Trichoderma atroviride*, HMA y fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

Inóculo: aplicación de *Trichoderma* y micorrizas arbusculares

Se realizaron dos ensayos en laboratorio e invernadero (no publicados); con los resultados obtenidos se seleccionó la mejor cepa de *Trichoderma* (*T. atroviride*) e inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Una cepa de *T. atroviride* (TA), de la colección del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) fue seleccionada y sembrada en placas petri con medio Papa Sacarosa Agar (PSA) e incubada a 24 °C, para obtener el inóculo necesario. El inóculo fue multiplicado en sustrato de arroz y agua destilada (esterilizado a 121°C/ 15Lb/45 minutos). Para la aplicación de *Trichoderma* se separó el inóculo del sustrato de arroz con ayuda de aceite agrícola y agua. Posteriormente se estandarizó la solución inóculo con agua hasta obtener una concentración de 10^7 conidias.ml⁻¹. Finalmente, la solución fue aplicada a razón de 400 ml por árbol de cacao. Para la obtención de inóculo de HMA se extrajeron raíces absorbentes de plantas en producción que fueron trasladadas al Laboratorio de Fitopatología del ICT donde se determinó su presencia. Las raíces colectadas con alta colonización se cortaron en secciones pequeñas y fueron mezcladas con suelo estéril y después sembrados con *Brachiaria brizantha* para incrementar el inóculo de HMA. La concentración de esporas por gramo del sustrato final fue de 122 esporas por gramo de suelo y la cantidad estimada para la aplicación por planta de cacao fue de 100 g. Las micorrizas fueron aplicadas con un sustrato de concentración de 122 esporas/gramo de sustrato y 100 gramos por planta de cacao.

Preparación y aplicación de dosis de fertilizantes.

Los resultados del análisis de suelo sirvieron para determinar la dosis de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos a aplicar en las plantas de cacao de las dos parcelas experimentales. Para las dos parcelas experimentales, la aplicación de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos se realizó en dos fracciones (cuadro 3). Para la primera fracción de fertilizantes inorgánicos y orgánicos se utilizó: 75 g de Urea + 50 g de Superfosfato Triple (SFT) + 90 g de Cloruro de Potasio (CP) y 105 g de Guanos de Isla (GI) en la parcela de Juanjui; 58 g de SFT + 87.5 g de CP y 105 g de GI en la parcela de Lamas. Para la segunda fracción: 75 g de Urea + 50 g de SFT + 90 g de CP y 255 g de GI en la parcela de Juanjui y 58 g de SFT + 87.5 g de CP y 255 g de GI en el experimento en Lamas. La primera aplicación se realizó a inicios de las lluvias y la segunda dos meses después de la primera aplicación.

Evaluaciones fitosanitarias y de producción

Las evaluaciones fitosanitarias consistieron en determinar el número de frutos con moniliasis (*Moniliophthora roreri*), pudrición parda (*Phytophthora palmivora*), escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), presencia de escoba de bruja en cojines florales y brotes tiernos; así mismo, el conteo de número de frutos abortados (Cherelles); los frutos, cherelles, cojines y brotes enfermos fueron removidos de la planta de cacao luego de su evaluación. Se evaluó la producción (cuadro 3), contabilizando el número de mazorcas producidas por árbol; número de frutos maduros cosechados, peso de frutos maduros y peso de granos con mucílago.

Cuadro 2. Interacción de Microorganismos y enmiendas orgánicas e inorgánicas.

Nº	Tratamientos
T1	<i>Trichoderma</i> [400 ml] + Fertilizante orgánico [105 g GI]
T2	<i>Trichoderma</i> [400 ml] + Fertilizante Inorgánico [75 g de Urea + 50 g SFT + 90 g CP]
T3	Micorrizas [100 g] + Fertilizante orgánico [105 g GI]
T4	Micorrizas [100 g] + Fertilizante inorgánico [75 g de Urea + 50 g SFT + 90 g CP]
T5	<i>Trichoderma</i> [400 ml] + Micorrizas [100 g]
T6	<i>Trichoderma</i> [400 ml]
T7	Micorriza [100 g]
T8	Fertilizante orgánico [105 g GI]
T9	Fertilizante inorgánico [75 g de Urea + 50 g SFT + 90 g CP]
T10	Control absoluto (Sin aplicación de fertilizantes y microorganismos)

Cuadro 3. Manejo de plantaciones de parcelas experimentales.

Localidad / Año	2014					2015													
	Sep		Oct		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep				
JUANJUI	Instalación de Parcela Experimental	Muestreo de suelo para análisis	Aplicación de <i>Trichoderma</i>	Aplicación de Micorrizas	1° Aplicación de Fertilizantes: Orgánico e Inorgánico	Evaluación 1	Evaluación 2	Extracción de chupones de tallos de cacao, desmalezado y podas	2° Aplicación de Fertilizantes: Orgánico e Inorgánico	Evaluación 3	Evaluación 4	Evaluación 5	Evaluación 6	Evaluación 7	Evaluación 8	Evaluación 9	Evaluación 10	Evaluación 11	
LAMAS	X				Instalación de Parcela Experimental	Muestreo de suelo para análisis	Aplicación de <i>Trichoderma</i>	Aplicación de Micorrizas	1° Aplicación de Fertilizantes: Orgánico e Inorgánico	Evaluación 1	2° Aplicación de Fertilizantes: Orgánico e Inorgánico	Evaluación 2	Extracción de chupones de tallos de cacao, desmalezado y podas	Evaluación 3	Evaluación 4	Evaluación 5	Evaluación 6	Evaluación 7	Evaluación 8

Parámetros de evaluación

Para la evaluación de la incidencia de enfermedades, en el caso de escoba de bruja, fueron contabilizados los frutos, brotes y cojines florales afectados por el hongo *Moniliophthora perniciosa*; para Moniliasis, fueron contabilizados los frutos que presentaban los síntomas de la enfermedad producida por *Moniliophthora roreri*; y finalmente para la Pudrición parda, fueron contabilizados los frutos y estructuras de la planta afectadas por el Oomiceto *Phytophthora* sp. Para la evaluación del rendimiento, fueron contabilizadas la presencia en frutos de cherrelles, número de mazorcas producidas por árbol y peso seco de granos por planta (kg).

Análisis estadístico

Para el análisis de datos se realizó un ANOVA usando un coeficiente de significancia de $p \leq 0,05$. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Dunnett (R, core team, 2015).

Resultados y discusión

Los resultados de atributos físicos y químicos del suelo, en las localidades estudiadas, son presentados en el cuadro 1, de forma general, los suelos en la zona de Juanjui presentaron suelos arenosos con pH ácido y bajo contenido nutricional. Lamas, suelos arcillosos (arcilla >60%) y calcáreos ($\text{CaCO}_3 > 5\%$) con pH alcalino con bajo contenido de fosforo y altos niveles de calcio y materia orgánica en el suelo. Estas diferencias podrían afectar significativamente la nutrición del cacao, lo que podría repercutir en la productividad y tolerancia a enfermedades de la planta [9]. El cacao, de forma general, prefiere suelos ácidos (5.5 - 6.5), suelos francos y con altos niveles de potasio [10]. Las medias por localidad para Número de Cherelles, Número de mazorcas, Incidencia de Moniliasis, Pudrición parda y Escoba de bruja son presentadas en el cuadro 4. En las localidades estudiadas, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos aplicados para las variables de Número de Cherelles, Número de mazorcas, Incidencia de Moniliasis, Pudrición parda y Escoba de bruja. No obstante, fueron encontradas diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas estudiadas, en todas las variables analizadas. Se observa que el número de cherelles y número de mazorcas fue mayor ($p < 0.05$) en Lamas.

Cuadro 4. Porcentaje de Cherelles, Total de mazorcas, Incidencia de Moniliasis, Pudrición parda y Escoba de bruja, en las zonas de Juanjui y Lamas.

Localidad	Cherelles (%)	Total de mazorcas	Incidencia de Monilia	Incidencia de <i>Phytophthora</i>	Escoba de Bruja		
					Frutos	Cojines Florales	Brotes
Juanjui	9.56b*	133.01b	0.19b	0.19a	0.00b	0.12b	0.03b
Lamas	16.15a	137.17a	0.72a	0.11b	0.05a	0.35a	0.42a
<i>P value</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

*Promedio de 10 tratamientos. Letras distintas indica diferencias significativas, Dunnett ($p < 0.05$).

En la figura 1 son presentadas las distribuciones de Número de Cherelles, Mazorcas, incidencia de moniliasis y Pudrición parda, por localidad estudiada y por tratamiento aplicado. Es posible observar que no existe una relación entre la mayor proporción de cherelles y la incidencia de enfermedades, indicando que este desorden fisiológico se debió principalmente a factores ambientales [10]. Sin embargo, existe una relación inversa entre el número de cherelles y el número de mazorcas, indicando la influencia de los factores ambientales en la producción del cultivo de cacao. Para la incidencia de Moniliasis, fueron observadas diferencias significativas ($p < 0.05$) entre localidades, pero no entre tratamientos ($p > 0.05$); siendo la localidad de Lamas la que presentó, en media, los mayores valores de incidencia de esta enfermedad. La mayor incidencia de esta enfermedad podría deberse a la alta relación Ca/K que indica que existe competencia entre estos elementos, haciendo que exista baja absorción de K a pesar de su alta disponibilidad en el suelo. La deficiencia nutricional de K está relacionada con una mayor incidencia de enfermedades como fue reportado para palma afectada por *Fusarium* [11], trigo por *Helminthosporium* [12]. Además, [13] en una recopilación de 165 estudios de efectos de potasio en enfermedades fungosas, bacterianas y de nematodos encontraron que el 71% de los casos resultó en una disminución de la incidencia de enfermedades. La incidencia de Pudrición parda (*Phytophthora* sp.) indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre localidades, pero no entre tratamientos ($p > 0.05$); siendo la zona de Juanjui la que presentó, en media, los mayores valores de incidencia de esta enfermedad. En el cuadro 1, se observa que la zona de Juanjui presenta bajos niveles de Ca ($< 3 \text{ cmolc kg}^{-1}$), indicando que las plantas en esos suelos presentan una deficiencia de Ca en sus tejidos. El Ca está relacionado con el reconocimiento de patógenos en la membrana plasmática e inhibe enzimas utilizadas por los patógenos como las poligalacturonasas [14] [9]. La disminución de la incidencia de enfermedades debido a adecuados niveles de Ca o aplicación de Ca, son reportados en plantas afectadas por *Fusarium* sp.; *Sclerotium* sp.; *Verticilium* sp.; *Pythium* sp.; *Rhizotocnia solani* y *Phytophthora* sp. [15].

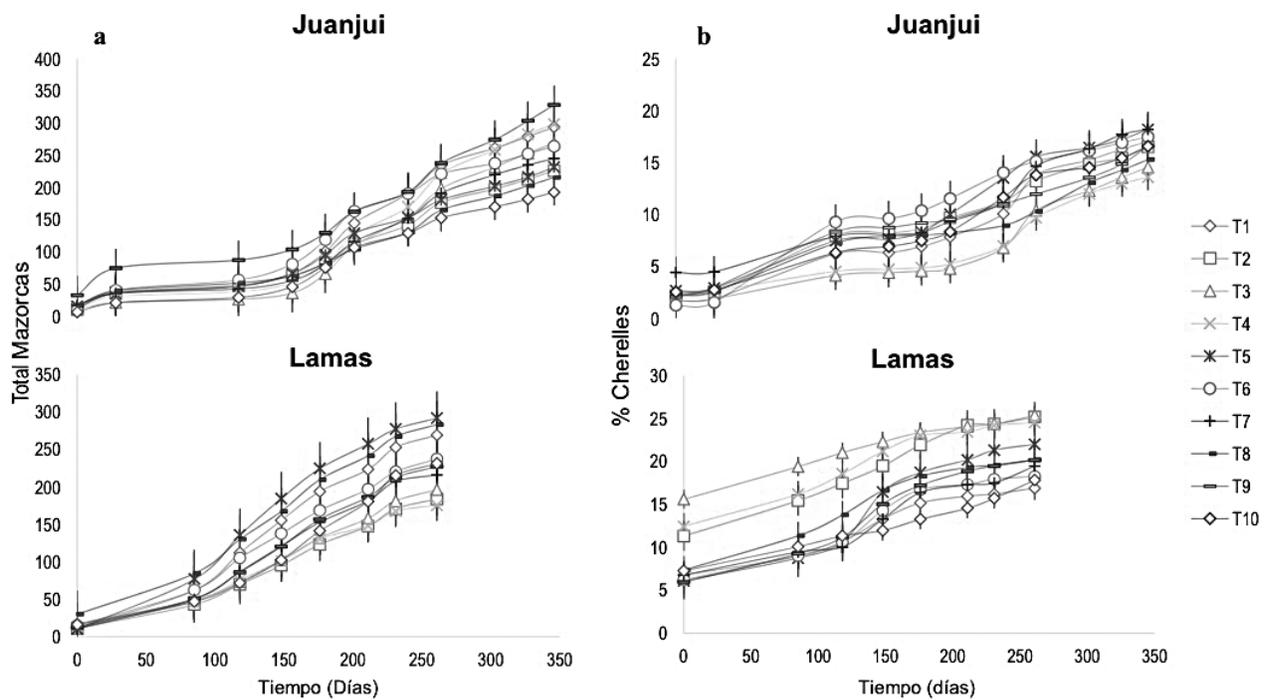


Figura 1a. Gráficos de distribución de Acumulación de Mazorcas (a), Cherelles (b), por localidad estudiada y tratamiento aplicado. Líneas entre puntos indican el error estándar.

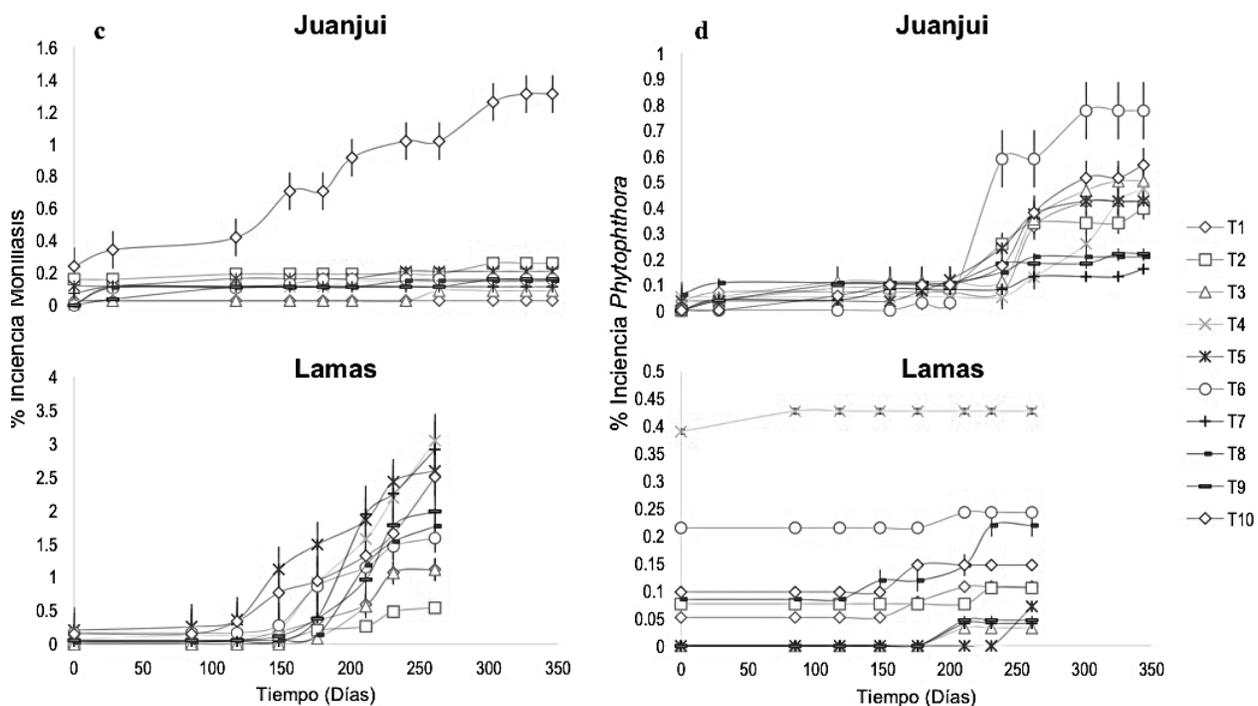


Figura 1b. Gráficos de distribución de Acumulación de Mazorcas, (c) y Pudrición parda (d), por localidad estudiada y tratamiento aplicado. Líneas entre puntos indican el error estándar.

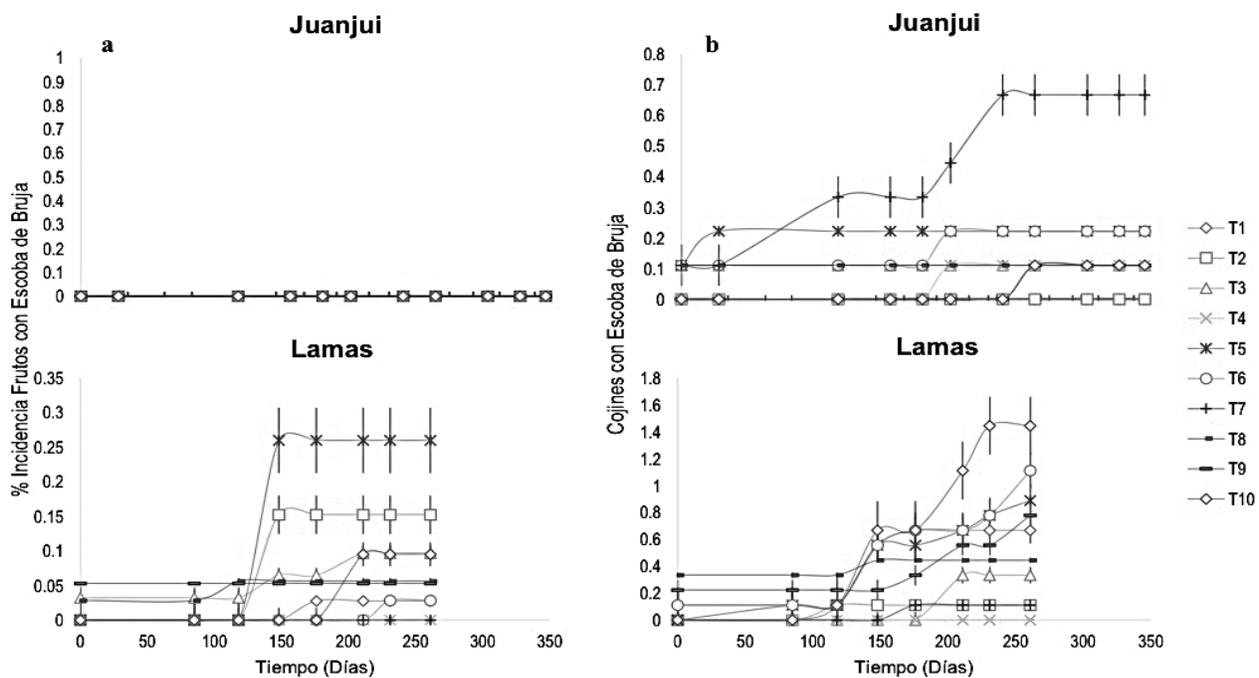


Figura 2a. Gráficos de distribución de Frutos con escoba de bruja (a), Cojines florales (b), por localidad estudiada y tratamiento aplicado. Líneas entre puntos indican el error estándar.

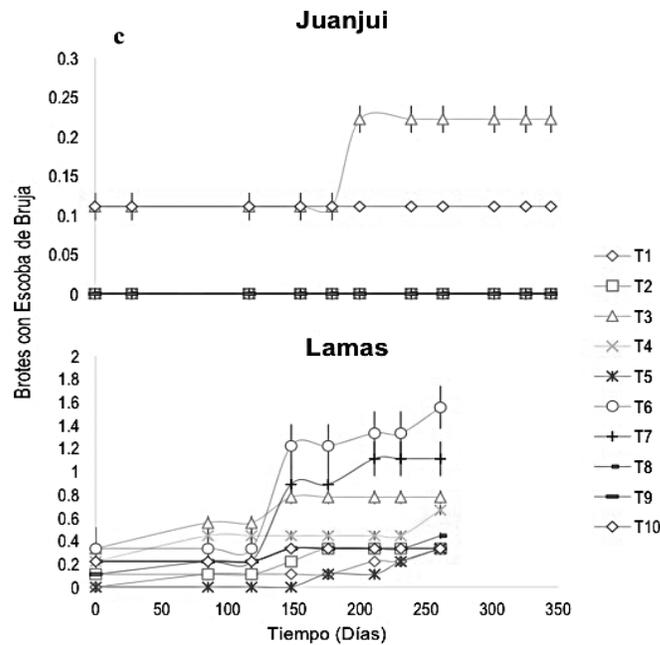


Figura 2b. Gráficos de distribución de Frutos con Brotos (c), por localidad estudiada y tratamiento aplicado. Líneas entre puntos indican el error estándar.

En caso de la evaluación de la incidencia de escoba de bruja no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$), entre los tratamientos aplicados. Sin embargo, fueron notadas diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas estudiadas para Brotos y Frutos con escoba de bruja, siendo la localidad de Lamas la que presentó los mayores valores. Esta mayor incidencia en la localidad de Lamas puede ser atribuida a la nutrición de K, como sugerido anteriormente para el caso de Monilia. No obstante, los contenidos de arcilla en la localidad de lamas, sugieren una alta retención hídrica en los suelos, por lo que existe una mayor probabilidad de sobrevivencia del inóculo [10] y consecuentemente una mayor incidencia de la enfermedad.

Los resultados de rendimiento mínimo, medio y máximo por localidad estudiada son presentados en el cuadro 5. Para las localidades de Juanjui y Lamas, se observaron rendimientos promedios de $1475 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $2020 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente. Los rendimientos por localidad estudiada, presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo la localidad de Juanjui la que presentó los mayores rendimientos, en comparación a Lamas.

Cuadro 5. Rendimientos mínimos, medios y máximos, coeficientes de variación en las zonas de Juanjui y Lamas

Localidad	Rendimiento (kg ha^{-1})	Valor F	p value	CV (%)
Juanjui	2020 a (339.9-3972.9)	17.46	<0.001	52.36
Lamas	1475 b (83.1-3550)			

Letras distintas en columna indica diferencias significativas, Prueba F ($p < 0.05$).

Los resultados de rendimiento de granos de cacao por ha (kg) por tratamiento aplicado en cada localidad estudiada son presentados en el cuadro 6. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación al control en la localidad de Lamas; siendo el T8 el que obtuvo un incremento del 32.4 % en relación al control absoluto con 2082.9 kg.ha⁻¹. Sin embargo, en la localidad de Juanjui fueron observadas diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación al control. Todos los tratamientos obtuvieron incrementos porcentuales positivos en el rendimiento con respecto al control absoluto. Los tratamientos de aplicación con fertilizante inorgánico y micorrizas (T4, T7 y T9) fueron los que presentaron mayores valores de rendimiento de cacao por hectárea, que a su vez obtuvieron incrementos respecto al control absoluto, con medias de 2498.0 kg.ha⁻¹ (108.8%); 2502.4 kg.ha⁻¹ (109.2%) y 2488.1 kg.ha⁻¹ (108.0%), respectivamente. Esto indica la que la aplicación de fertilizantes inorgánicos y micorrizas actúan sinérgicamente en los rendimientos del cultivo. [16], Investigando en plantas de girasoles (*Helianthus annuus*) encontró que las plantas inoculadas con HMA y fertilizantes minerales incrementaron significativamente la altura, materia seca y área foliar en relación a los controles (con y sin aplicación de micorrizas), explicado por los autores, por el suministro de nutrientes de los fertilizantes aplicados y la mayor acumulación de P, K y Fe en hojas de las plantas inoculadas con HMA. Así [17], observo que en el cultivo de la papa, las plantas inoculadas con HMA aumentaron significativamente la productividad; efectos integrados entre la fertilización inorgánica y estos hongos, fueron reportados, indicando que mejoran el crecimiento y rendimiento de las plantas. Además, en el presente estudio la interacción entre fertilizantes inorgánicos y HMA puede deberse a que estos hongos aumentan la superficie de absorción, de agua y de nutrientes, aumento de la capacidad fotosintética de la planta y de biomasa de las planta [18] [19] [20] [21].

Cuadro 6. Rendimientos (kg.ha⁻¹) por tratamiento e incremento respecto al control absoluto en porcentaje para las zonas de Juanjui y Lamas.

Tratamientos	Juanjui ^a	Incremento con respecto a control (%)	Lamas ^a	Incremento con respecto a control (%)
T1	2285.0	91.0	1730.3	10.0
T2	2008.3	67.9	1246.1	-20.8
T3	2060.4	72.3	1229.6	-21.9
T4	2498.0*	108.8	1061.0	-32.6
T5	1855.3	55.1	1515.5	-3.7
T6	1747.9	46.1	1529.7	-2.8
T7	2502.4*	109.2	1393.6	-11.4
T8	1560.6	30.5	2082.9	32.4
T9	2488.1*	108.0	1385.5	-11.9
T10	1196.1	0.0	1573.5	0.0

^a Promedio de 9 repeticiones. * Diferencias significativas con el tratamiento control (T10), con el test de Dunnett ($p < 0.05$).

Conclusiones

Se investigó el efecto de fuentes orgánicas e inorgánicas en conjunto con la inoculación de *Trichoderma* sp. y HMA en dos localidades de producción de cacao en el Perú. Las localidades de Juanjui y Lamas, presentaron mayor incidencia de Monilia y Pudrición parda,

respectivamente; explicado por el posible desbalance nutricional producido por el exceso y falta de Ca, respectivamente, en las plantas. De forma general, la localidad de Juanjui tuvo mayor rendimiento de granos de cacao en comparación a Lamas. Los tratamientos con mayores rendimientos en Juanjui fueron los que incluyeron la aplicación de HMA y fertilizante inorgánico indicando la sinergia entre estos factores.

Agradecimientos

Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), por el soporte financiero, Contrato N° 068-FINCYT-FIDECOM-PIPEI-2013. Al Instituto de Cultivos Tropicales – ICT, por las facilidades de infraestructura y laboratorios; así mismo, por el soporte técnico y financiero.

Bibliografía

- [1] E. Arévalo-Gardini, M. C. J. Alegre, O. Loli, A. Julca y V. Baligar, «Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao Genotypes in Peruvian Amazon,» *PLOS ONE*, p. 10(8), 2015.
- [2] K. d. A. Notaro, E. V. d. Medeiros, G. P. Duda, A. O. Silva y P. M. d. Moura, «Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude,» *AGRICULTURAL MICROBIOLOGY*, pp. 7(2): 87-95, 2014.
- [3] E. Arnold, L. C. Mejía, D. Kylo, E. I. Rojas, Z. Maynard, N. Robbins y a. E. A. Herreñ, «Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree,» *PNAS*, p. 100(26): 15649–15654, 2003.
- [4] R. J. Rodriguez, J. F. White, A. E. Arnold y a. R. S. and Redman, «Fungal endophytes: diversity and,» *New Phytologist*, p. 182: 314–330, 2009.
- [5] F. Gao, C. Dai y X. Liu, «Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens.,» *Afr. J. Microbiol.*, pp. 4(13), 1346-1351., 2010.
- [6] S. Smith y D. Read, «Mycorrhizal symbiosis, Third edition.,» *Academic, London. Elsevier*, pp. 42-90, 2008.
- [7] I. Lenoir, J. Fontaine y S. Lounes-Hadj, «Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review.,» *Phytochemistry*, pp. 123: 4-15, 2016.
- [8] Z. Zhen, H. Liu, L. Guo, J. Meng, N. Ding, G. Wu y G. Jiang, «Effects of manure compost application on soil microbial community diversity and soil microenvironments in a temperate cropland in China.,» *PLoS ONE*, p. 9(10): e108555., 2014.
- [9] D. Huber, V. Romheld y M. Weinmann, «Relationship between Nutrition, Plant disease and Pests. In: Marschner P (ed) Marschner´s Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed.,» *Elsevier.*, pp. 283-298., 2012.
- [10] R. Valle, *Ciência, tecnologia e manejo do cacauero. 2. ed.,* Ilhéus - Brasil: CEPLAC, 2012, p. 688.
- [11] M. Ollagnier y J. (. P. 1. C. I. P. I. B. p. Renard, «The influence of potassium on the resistance of oil palms to Fusarium.,» *Oleagineux*, p. 31(5): 157–166., 1976.
- [12] S. Sharma, E. Duveiller, R. Basnet, C. Karki y R. Sharma, «Effect of potash fertilization on helminthosporium leaf blight severity in wheat, and associated increases in grain yield and kernel weight.,» *Field Crop Res.*, pp. 93, 142–150., 2005.
- [13] A. Prabhu, N. Fageria, D. Huber y F. Rodrigues, «Mineral Nutrition and Plant Disease,» de *Potassium and plant disease*, St. Paul, Minnesota 55121. United States of America, APS Press, 2007, pp. 57-78..
- [14] D. Bateman y R. Lumsden, «Relation between calcium content and nature of the peptic substances in bean hypocotyles of different ages to susceptibility to an isolate of Rhizoctonia solani.,» *Phytopathology*, pp. 55, 734–738., 1965.
- [15] L. Zambolim, J. Ventura y L. Zanão-Jr, *Efeito da Nutrição mineral no controle de Doenças de Plantas. 1 ed.,* Viçosa: Editorial Viçosa, 2012.
- [16] A. J. Nogueira da Silva, J. Santo da Silva, A. C. de Araújo, R. Alencar da Silva, J. Gomes Junior, J. C. Silva de Medeiros, F. Gomes de Carvalho, C. Jales de Oliveir, L. E. Souza Fernandes da Silva y V. Nogueira da Silva, «Soil chemical properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as affected by the application of

organic fertilizer and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi.,» *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, pp. 151-161, 2015.

- [17] H. S. Abdel-Razzak, A. G. Moussa y M. A. a. E.-M. G. A. Abd El-Fattah, «Response of Sweet Potato to Integrated Effect of Chemical and Natural Phosphorus Fertilizer and Their Levels in Combination with Mycorrhizal Inoculation.,» *Journal of Biological Sciencies*, pp. 13(3): 112-122, 2013.
- [18] P. Gosling, A. Hodge, G. Goodlass y G. Bending, «Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming Agric.,» *Ecosyst. Environ.* , pp. 113:17-35., 2006.
- [19] P. Franken, K. Donges, U. Grunwald, G. Kost, K. Rexer, M. Tamasloukh, A. Waschke y D. Zeuske, «Gene expression analysis of arbuscule development and functioning.,» *Phytochemistry*, pp. 68:68-74., 2007.
- [20] M. Akhtar y Z. A. Siddiqui, «Biocontrol of a root-rot disease complex of chickpea by *Glomus intraradices*, *Rhizobium* sp. and *Pseudomonas straita*.,» *Crop Protection - Journal - Elsevier*, pp. 27:410-417., 2008.
- [21] R. Kapoor, D. Sharma y A. Bhatnagar, «Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications.,» *Scientia Horticulturae.* , pp. 116:227-239., 2008.
- [22] MINAGRI., «Ministerio de Agricultura y Riego - Perú,» 20 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/>.