



Universidad Nacional Agraria
Facultad de Agronomía

Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Trabajo de tesis

**Manejo de mal seco (*Pythium myriotylum* Dreschler)
en quequisque (*Xanthosoma violaceum* L. Schott)
con enfoque agroecológico en tres localidades de
Nicaragua, 2012-2016**

Autora

Ing. Heidy Guadalupe Corea Narváez

Asesores

Dr. Guillermo del Carmen Reyes Castro

MSc. Yolanda Yanet Gutiérrez Gaitán

Managua, Nicaragua
Junio 2020



Universidad Nacional Agraria

Facultad de Agronomía

Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Trabajo de tesis

**Manejo de mal seco (*Pythium myriotylum* Dreschler)
en quequisque (*Xanthosoma violaceum* L. Schott)
enfoque agroecológico del en tres localidades de
Nicaragua, 2012-2016**

Autora

Ing. Heidy Guadalupe Corea Narváez

Asesores

Dr. Guillermo del Carmen Reyes Castro

MSc. Yolanda Yanet Gutiérrez Gaitán

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito para optar al título de Maestría en
Agroecología y Desarrollo Sostenible

Managua, Nicaragua

Junio 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Ensayo 1. Efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	4
3.1.1 Ubicación del estudio	4
3.1.2 Condiciones climáticas	4
3.1.3 Manejo agronómico	5
3.1.4 Análisis microbiológico	5
3.1.5 Diseño experimental	5
3.1.6 Tratamientos evaluados	5
3.1.7 Variables evaluadas	6
3.1.8 Análisis de datos	8
3.2. Ensayo 2. Efecto de micorriza (<i>R. intraradices</i>) y dos especies <i>Trichoderma</i> sobre mal seco en finca comercial en la Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan	9
3.2.1 Ubicación del ensayo	9
3.2.2 Manejo agronómico	10
3.2.3 Análisis microbiológico	10
3.2.4 Diseño experimental	10
3.2.5 Variables evaluadas	11
3.2.6 Análisis de datos	11
3.2.7 Modelo aditivo lineal	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	13
4.1. Efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea	13

SECCIÓN	PÁGINA	
4.1.1	Análisis microbiológico	13
4.1.2	Variables morfológicas	13
4.1.3	Efecto de las localidades, tratamientos e interacción de tratamientos entre las localidades Río Plata y Los Ángeles de las variables morfológicas en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea	16
4.1.4	Rendimiento de las localidades Río Plata y Los Ángeles	17
4.1.5	Efecto de las localidades, tratamientos e interacción de tratamientos entre las localidades Río Plata y Los Ángeles de las variables de rendimiento	20
4.1.6	Variables relacionadas con las afectaciones de la enfermedad en las localidades Río Plata y Los Ángeles.	20
4.2	Efecto de micorriza (<i>R. intraradices</i>) y dos especies <i>Trichoderma</i> sobre mal seco en finca comercial en la Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan	23
4.2.1	Análisis microbiológico	23
4.2.2	Variables morfológicas	23
4.2.3	Variables de rendimiento	24
4.2.4	Variables relacionadas con las afectaciones de la enfermedad	27
4.3	Fundamentación agroecológica del estudio	30
V	CONCLUSIONES	33
VI	RECOMENDACIONES	34
VII	LITERATURA CITADA	35
VIII.	ANEXOS	41

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional

Ing. Heidy Guadalupe Corea Narváez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores Dr. Guillermo del Carmen Reyes Castro y Yolanda Yaneth Gutiérrez Gaitán por apoyarme en la elaboración de mi tesis y por brindarme sus consejos.

A Tania Vanessa Guatemala Ortega y Rosario García Loáisiga que me ayudaron en la etapa más dura del trabajo de campo y a los tesisistas y otras personas que también apoyaron en el proceso: Ena, Betania, Yordi, Alexa, Isabella y Rayan.

Al profesor Álvaro Benavidez quien muy amablemente me ayudó en los análisis estadísticos, al profesor Luis Tercero, que me ayudó en la elaboración de los mapas.

A los técnicos del laboratorio de microbiología y micología: Isaías, Markely y Danessa por apoyarme en el diagnóstico microbiológico.

A Martín Gavarrete por motivarme a realizar la tesis.

A los productores Don Eulalio Fernández, Segundo Henríquez y Eulalio Maradiaga que prestaron sus parcelas para realizar los ensayos de campo.

A Propemce y el proyecto Malanga-cambio climático a la que la UNA formó parte por contribuir con sus fondos a la realización de los ensayos

A la UNA por brindarme la oportunidad de realizar la maestría y darme el tiempo para defender la tesis

Ing. Heidy Guadalupe Corea Narváez

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA	
1	Fertilizantes, dosis (kg ha^{-1}) y momentos de aplicación (meses después de la siembra) aplicados en las localidades Río Plata y Los Ángeles, Nueva Guinea en el estudio de efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco.	6
2	Variables morfológicas evaluadas a los 67, 117 y 285 dds en las localidades Río Plata y Los Ángeles, Nueva Guinea, en el estudio de efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco.	7
3	Variables de rendimiento evaluadas al momento de cosecha en las localidades Los Ángeles y Río Plata, Nueva Guinea, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco.	7
4	Variables relacionadas con las afectaciones de la enfermedad evaluadas al momento de cosecha en las localidades Los Ángeles y Río Plata, Nueva Guinea, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco.	8
5	Niveles de los factores y tratamientos evaluados en el ensayo efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i> (Mc)) y dos especies de <i>Trichoderma</i> (<i>Trichoderma harzianum</i> (Th), <i>Trichoderma asperellum</i> (Ta) sobre mal seco en una plantación comercial en La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.	10
6	Análisis de varianza de altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo de las plantas desarrolladas en los tratamientos Testigo, Th, Tsp, Th+H, Tsp+H y Tsp+B, evaluados a los 67, 117 y 285 dds en Río Plata, Nueva Guinea en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales.	15
7	Análisis de varianza de altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo de las plantas desarrolladas en los tratamientos Testigo, Th, Tsp, Th+H, Tsp+H y Tsp+B evaluados a los 67, 117 y 285 dds en Los Ángeles, Nueva Guinea en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales.	15
8	Análisis de varianza de las localidades tratamientos e interacción localidades y tratamientos en las variables altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo evaluadas a los 67, 117 y 285 dds en Nueva Guinea. en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales.	16

CUADRO		PÁGINA
9	Análisis de varianza de las variables largo, ancho y peso de cormo, número, largo y ancho de cormelos evaluados al momento de la cosecha en la localidad Río Plata, en el estudio del efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	17
10	Análisis de varianza de largo, ancho y peso de cormo, raíces sanas y afectadas y número de cormelos evaluados al momento de la cosecha en Los Ángeles en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	18
11	Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluado al momento de la cosecha en Río Plata, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	18
12	Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluado al momento de la cosecha en Los Ángeles en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	19
13	Análisis de varianza de las localidades, tratamientos e interacción localidades x tratamiento en las variables de rendimiento evaluadas al momento de la cosecha en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	20
14	Análisis de varianza de las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas evaluadas al momento de la cosecha en Río Plata, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	20
15	Análisis de varianza de las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas evaluadas al momento de la cosecha en la localidad Los Ángeles, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	21
16	Análisis de varianza del efecto de los tratamientos de las variables largo, ancho y peso de cormo, número, largo, ancho y peso de cormelos evaluadas al momento de la cosecha en la localidad Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies <i>Trichoderma</i> spp. sobre mal seco en finca comercial.	24

CUADRO	PÁGINA
17 Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluadas al momento de la cosecha en la localidad la Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies <i>Trichoderma</i> spp. sobre mal seco en finca comercial.	26
18 Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas al momento de la cosecha en la localidad la Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies <i>Trichoderma</i> spp. sobre mal seco en finca comercial.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Precipitación (mm) y temperatura mínima y máxima (°C) registradas durante los meses de enero-diciembre en el municipio Nueva Guinea, Región Autónoma Caribe Sur, en el año 2012, calculadas por el simulador del clima MarkSim (2019).	4
2	Precipitación (mm) y temperatura mínima y máxima (°C) registradas durante los meses de Mayo-Diciembre de la estación meteorológica de San Carlos, Río San Juan del año 2016, (INETER, 2017).	9
3	Parcelas momentos antes de la siembra donde se establecieron los ensayos de quequisque en Nueva Guinea. a) Los Ángeles, pendiente de 45°; b) Río Plata, terreno plano, en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	17
4	Sistema radicular de cormos de quequisque cosechados en Río Plata a) cormo con raíces con pocas afectaciones de mal seco, b) cormo con pocas raíces afectadas por mal seco en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	22
5	Porcentaje de plantas sobrevivientes en seis tratamientos en Río Plata y Los Ángeles al momento de la cosecha en el estudio efecto de <i>Trichoderma</i> y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.	22
6	Altura de planta (cm), número de hojas, área foliar (cm ²) y diámetro de pseudotallo (cm) evaluados a los 68 y 153 dds en la localidad Cruz Verde en Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies <i>Trichoderma</i> sobre mal seco en finca comercial.	24
7	Porcentaje de sobrevivencia de plantas de quequisque en seis tratamientos evaluados al momento de la cosecha en la localidad La Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (<i>Rhizophagus intraradices</i>) y dos especies <i>Trichoderma</i> spp. sobre mal seco en finca comercial.	28

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Mapa de pendiente y elevaciones de terreno de la localidad Río Plata en Nueva Guinea (Tercero, 2019a).	41
2	Mapa de pendiente y elevaciones de terreno de la localidad Los Ángeles en Nueva Guinea (Tercero, 2019b).	42
3	Ficha de recepción de muestras para análisis patológico.	43
4	Plano de campo y medidas del ensayo establecido en la localidad Río Plata en Nueva Guinea.	44
5	Plano de campo y medidas del ensayo establecido en la localidad Los Ángeles en Nueva Guinea.	44
6	Mapa de campo de ensayo establecido en la localidad La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.	45
7	Informe de resultados del análisis microbiológico realizado en las áreas donde se establecieron ensayos en las localidades Río Plata y Los Ángeles en Nueva Guinea.	46
8	Estructuras morfológicas de <i>Pythium myriotylum</i> Dreschler. Observadas en el microscopio e identificadas mediante claves taxonómicas, aislado del ensayo establecido en la comarca La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.	48

RESUMEN

Se evaluó el efecto de *Trichoderma* sp., *Trichoderma harzianum* Rifai y *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg fertilizantes orgánicos y micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm) en el manejo de mal seco (*Pythium myriotylum* Dreschler) con enfoque agroecológico en tres plantaciones comerciales de quequisque del trópico húmedo de Nicaragua. En Río Plata (RP) y Los Ángeles (LA), Nueva Guinea, se evaluaron dos cepas de *Trichoderma* producidos en la UNA en combinación con Humega y Biogreen. Los ensayos se establecieron en esquema de bloques completos al azar (BCA), con tres bloques y cinco tratamientos: Testigo, *T. harzianum* + fertilización convencional (Th), *Trichoderma* sp + fertilización convencional (Tsp), *T. harzianum*+ Humega (Th+H), *Trichoderma* sp + Humega (Tsp+H) y *Trichoderma* sp + Biogreen (Tsp+B). En La Cruz Verde (LCV), San Carlos, Río San Juan, el ensayo se estableció en BCA con cuatro bloques y seis tratamientos: Testigo, Micorriza (Mc), *T. harzianum* (Th), *T. harzianum* + Micorriza (Th-Mc), *T. asperellum* (Ta) y *T. asperellum* + Micorriza (Ta-Mc). En los ensayos se determinó la presencia de *P. myriotylum* mediante análisis microbiológico de muestras de suelo y plantas de las localidades. Se evaluaron variables morfológicas, de rendimiento y las relacionadas con las afectaciones de la enfermedad. Se aisló *P. myriotylum* en las tres localidades. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos en las variables morfológicas en las localidades. En RP no hubo diferencias estadísticas en los componentes del rendimiento. En LA las plantas de Th+H desarrollaron ancho de corno y número de cormelos estadísticamente superiores. El número de cormelos y rendimiento estimado y real fueron significativamente superiores en Th+H y Tsp. En LCV, Mc desarrolló plantas significativamente superiores en ancho de corno y cormelos. Th-Mc fue superior en ancho de corno, largo y ancho cormelos y Ta fue superior en ancho y peso de cormelos. Ta, Mc y Th-Mc fueron superiores en rendimiento estimado y real. No hubo diferencias estadísticas en las localidades en número de raíces sanas. En RP el tratamiento Th+H registró un número estadísticamente inferior de raíces afectadas. En LA el porcentaje de sobrevivencia fue superior a 93.3%, en RP entre 63.3-83.3% y en LCV entre 28.03-48.11%.

Palabras clave: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Rhizophagus intraradices*, Micorrizas, Humega, Biogreen

ABSTRACT

The effect of *Trichoderma* sp., *Trichoderma harzianum* Rifai and *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg, biofertilizers and mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm) on the management of root rot disease (*Pythium myriotylum* Dreschler) with agroecological approach in three commercial cocoyam plantations in the rain forest of Nicaragua was evaluated. In Río Plata (RP) and Los Ángeles (LA), Nueva Guinea, two *Trichoderma* strains produced at UNA in combination with Humega and Biogreen were evaluated. The trials were established in a randomized complete block design scheme (BCA), with three blocks and five treatments: control (tester), *T. harzianum* + conventional fertilization (Th), *Trichoderma* sp + conventional fertilization (Tsp), *T. harzianum* + Humega (Th+H), *Trichoderma* sp + Humega (Tsp+H) and *Trichoderma* sp + Biogreen (Tsp+B). In La Cruz Verde (LCV), San Carlos, Río San Juan, the trial was established in BCA with four blocks and six treatments: Control, Mycorrhiza (Mc), *T. harzianum* (Th), *T. harzianum* + Mycorrhiza (Th-Mc), *T. asperellum* (Ta) and *T. asperellum* + Mycorrhiza (Ta-Mc). The presence of *P. myriotylum* was determined by soil microbiological analysis and plant samples from localities. Morphological, yields and disease related variables were evaluated. *P. myriotylum* was isolated at three locations. There were no significant differences between the treatments in morphological variables in localities. In RP there were no statistical differences in yields components. In LA, Th+H plants developed statistically higher corm width and cormels number's. The cormels number's and estimated and actual yield were significantly higher in Th+H and Tsp. At LCV, Mc developed plants significantly larger in corm and cormel width. Th-Mc was superior in corm width, length and width cormels and Ta was superior in width and weight of cormels. Ta, Mc and Th-Mc were superior in estimated and actual yield. There were no statistical differences in the localities in healthy roots number. In RP, the Th+H treatment registered a statistically lower number of infected roots. In LA the survival percentage was higher than 93.3%, in RP between 63.3-83.3% and in LCV between 28.03-48.11%.

Keywords: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Rhizophagus intraradices*, Mycorrhiza, Humega, Biogreen

I. INTRODUCCIÓN

El quequisque (*Xanthosoma violaceum* L. Schott) es afectado por mal seco, enfermedad causada por el Oomicete *Pythium myriotylum* Dreschler, que afecta principalmente el trópico húmedo nicaragüense, dónde está ubicada la producción de quequisque para exportación. Mal seco causa reducciones parciales o totales de los rendimientos (Adiobo 2006; Picado *et al.*, 2008; Acevedo y Navarro, 2010). La enfermedad promueve el desplazamiento del cultivo ya que una vez que la enfermedad aparece en un área, la siguiente plantación debe ser movida (Gómez-Alpizar *et al.*, 2010). Según Reyes (2006) la producción de Nueva Guinea y la zona del trópico húmedo se efectúan a 100-150 km de las ciudades, en la frontera agrícola. Los agricultores obtienen buenos rendimientos solamente por un ciclo del cultivo, luego abandonan el área para continuar la producción en otros suelos libres de la enfermedad. FAO (2019) reporta que en 2004 se establecieron 47,210 ha de producción de quequisque a nivel mundial y se redujo en los siguientes 10 años a 43,890 ha. Similar tendencia se reporta en Nicaragua, dónde las áreas de producción en 2011 fueron de 5.9 mil ha y 4.9 mil ha en 2016 (CENAGRO, 2012; GRUN, 2017). De acuerdo con el CETREX (2017) las exportaciones también han disminuido de 5.2 millones de kg en 2011 a 2.37 millones de kg en 2016.

Se han hecho esfuerzos para manejar la enfermedad buscando genotipos resistentes a través de mejora genética (Saborío *et al.*, 2004; Blay *et al.*, 2004; Tsafack y Gilbert, 2014), prácticas culturales como uso de canales para drenaje y uso de semilla sana (Tsafack y Gilbert, 2014), aplicación de fungicidas (Perneel, 2006; Onwueme y Charles, 1994). Reyes (2006) menciona que espaciamiento, cultivos en camellones, regulación del tiempo de la plantación surcado y rotación de cultivos también se han empleado pero sin resultados satisfactorios

A pesar de que el quequisque es un cultivo de exportación y forma parte de la dieta de los nicaragüenses aún no se ha encontrado un manejo efectivo para el mal seco, provocando las reducciones en las áreas de siembra y avances de la frontera agrícola, incrementando la deforestación y daños al medio ambiente. La aplicación de técnicas de producción agrícola enfocadas en una agricultura sostenible y con enfoque agroecológico como el uso de abonos orgánicos, inoculación de hongos antagonistas y simbióticos que mejoren la absorción de nutrientes y agua, podrían contribuir al manejo de la enfermedad y lograr un aumento significativo y sostenido de los rendimientos.

El manejo agroecológico de plagas utiliza técnicas que apuntan a restaurar el equilibrio biológico, estimulando enemigos naturales o antagonistas (Altieri y Nicholls, 2000). Altieri (sf), indica que en el caso de enfermedades el incremento de antagonistas mediante el manejo orgánico del suelo, es clave para reducir la incidencia de patógenos. Estas prácticas están basadas en los principios ecológicos descritos por Altieri (1995) y Gliessman (1998) para el rediseño agroecológico.

El manejo biológico de enfermedades en plantas empleando *Trichoderma* se ha reportado anteriormente por Howell (2003); Benítez *et al.*, (2004); Thangavelu y Gopi (2015); Guédez *et al.*, (2009), así como el efecto antagónico de *Trichoderma* en *Pythium myriotylum* (Devaki *et al.*, 1992, Mbarga *et al.*, 2012).

Según Pozo *et al.* (2001) los Hongos Micorrizas Arbusculares (HMA) forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de cultivos agrícolas, y están ampliamente distribuidos como agentes potenciales de biocontrol y se ha reportado que la simbiosis de HMA puede reducir las enfermedades de raíces causadas por varios patógenos de suelo.

La micorriza *Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm. antes conocido como *Glomus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm (Young, 2012; Tisserant, *et al.*, 2013; Stockinger *et al.*, 2009; Schüßler y Walker 2010), es el miembro de la familia *Glomeromycota* más utilizado (Stockinger *et al.*, 2009). Se ha combinado con *Trichoderma harzianum* Rifai en cultivos como tomate, garbanzo, melón y alcachofa mejorando el crecimiento de los cultivos y disminuyendo la concentración de hongos patógenos (Amer y Abou-El-Seoud, 2008; Datnoff *et al.* 1995; Mwangi *et al.*, 2011, Dehariya *et al.* 2015; Martínez-Medina *et al.*, 2009, Sennoi *et al.*, 2013), y según Amer y Abou-El-Seoud (2008) esta combinación no afecta el parasitismo de *Trichoderma* y ambos pueden ser aplicados juntos.

Este estudio incluyó el uso de fertilizantes orgánicos (Humega y Biogreen) y dos especies de *Trichoderma* aplicadas en plantaciones comerciales de quequisque de las localidades Río Plata y Los Ángeles en Nueva Guinea y el uso de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) en combinación con dos especies de *Trichoderma harzianum* Rifai y *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg en la localidad Cruz Verde, San Carlos en la búsqueda de manejar adecuadamente las afectaciones que provoca mal seco al quequisque.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar el manejo de mal seco (*Pythium myriotylum* Dreschler) en quequisque (*Xanthosoma violaceum* Schott L.) con enfoque agroecológico en tres localidades de Nicaragua.

2.2 Específicos

- Determinar el efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y *Trichoderma* sp. y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales Los Ángeles y Río Plata en Nueva Guinea.
- Determinar el efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.), *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg y *Trichoderma harzianum* Rifai sobre mal seco en finca comercial en La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ensayo 1. Efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

3.1.1 Ubicación del estudio

En 2012 se establecieron dos ensayos en el municipio de Nueva Guinea, uno en la comarca Río Plata y el otro en Los Ángeles, con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de dos cepas de *Trichoderma* y de dos fertilizantes orgánicos en plantaciones comerciales de quequisque sobre mal seco. Los ensayos se establecieron en áreas de producción de quequisque donde se ha reportado la presencia de mal seco.

Río Plata: Finca del productor Eulalio Fernández, ubicada en la localidad Río Plata. Coordenadas geográficas: 11°42'39.3" N 84°26'46.2" O y 156 msnm, con una pendiente entre 2.06° a 4.25° (Anexo 1).

Los Ángeles. Finca del productor Segundo Henríquez ubicada en la localidad Los Ángeles. Coordenadas geográficas: 11°39'26.4" N 84°31'04.4" O y alturas entre 250 y 262 m sobre el nivel del mar (msnm), con una pendiente mayor de 30° (Anexo 2).

3.1.2 Condiciones climáticas

Las precipitaciones acumuladas y las temperaturas mínimas y máximas promedios de Nueva Guinea para el año 2012 se tomaron del simulador de clima Marksim (Marksim, 2019) (Figura 1).

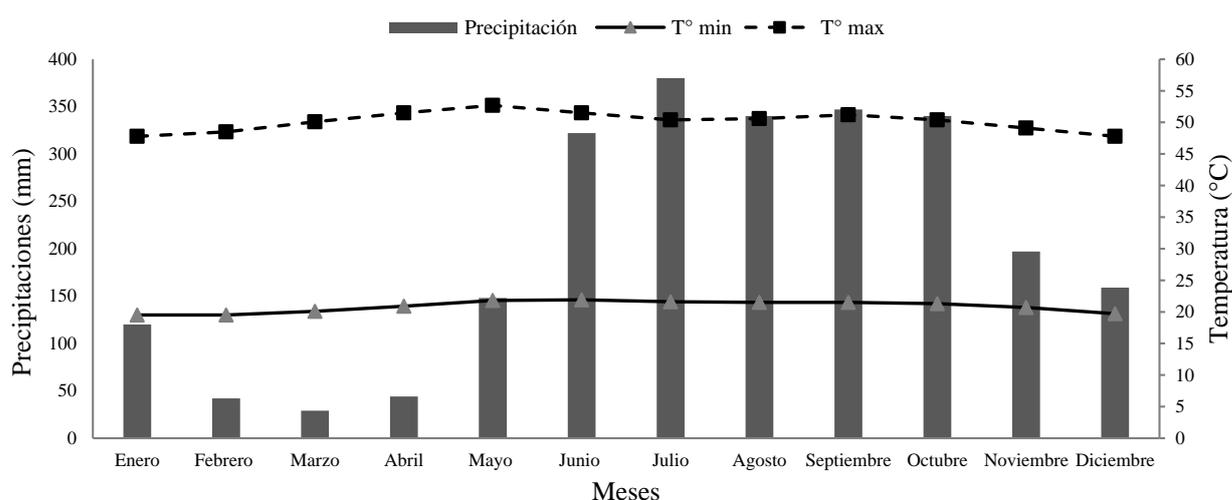


Figura 1. Precipitación (mm) y temperatura mínima y máxima (°C) registradas durante los meses de enero-diciembre en el municipio Nueva Guinea, Región Autónoma Caribe Sur, en el año 2012, calculadas por el simulador del clima MarkSim (2019).

3.1.3 Manejo agronómico

Preparación del terreno: Antes de la siembra se limpió el terreno en ambas localidades, eliminando arvenses y rastrojos.

Material vegetal: Se utilizó en la siembra trozos de semilla asexual extraídas de cormos de Quequisque Lila de aproximadamente 0.1 kg de peso, con al menos una yema brotada.

Siembra: En Río Plata la siembra se realizó en camellones (10 cm altura) con una distancia de siembra de 1.3 m entre surco y 0.7 m entre plantas, se sembraron 78 plantas por tratamiento. En Los Ángeles se realizaron hoyos utilizando macanas a una distancia de 1 m entre surco y 0.7 m entre planta para depositar la semilla asexual, se sembraron 110 plantas por tratamiento

Manejo de arvenses: Los ensayos se limpiaron con azadón y machete mensualmente durante los primeros 5 meses.

Cosecha: Se realizó a los 12 meses después de la siembra y de forma manual con macana y pico

3.1.4 Análisis microbiológico

Se tomaron cinco muestras de suelo y plantas voluntarias por localidad para determinar la presencia del agente causal de mal seco (*P. myrriotylum*). Las muestras de suelo y plantas fueron llevadas al laboratorio de micología de la UNA. Se llenó una ficha con el historial de la finca al momento de recolectar las muestras (Anexo 3)

3.1.5 Diseño experimental

Los ensayos se establecieron empleando un esquema del diseño de bloques completos al azar (BCA) unifactorial en dos localidades. En cada localidad se establecieron tres bloques y seis tratamientos. se seleccionaron dos surcos centrales como la parcela útil y se tomaron 10 plantas al azar las para las evaluaciones.

En Río Plata el área total del ensayo fue: 1547 m² y cada tratamiento: 65 m² (Anexo 4)

En Los Ángeles el área total del ensayo fue: 1798 m² y cada tratamiento: 72 m² (Anexo 5)

3.1.6 Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados se describen a continuación:

Testigo: Sin *Trichoderma* y fertilización convencional

Th: *T. harzianum* + fertilización convencional

Tsp: *Trichoderma* sp. + fertilización convencional

Th + H: *T. harzianum* + Humega

Tsp + H: *Trichoderma* sp.+ Humega

Tsp + B: *Trichoderma* sp. + Biogreen

Fertilización convencional: Se aplicó según el plan de fertilización de una plantación comercial recomendado por el INTA (2000) según se indica en Cuadro 1.

Cuadro 1. Fertilizantes, dosis (kg ha⁻¹) y momentos de aplicación (meses después de la siembra) aplicados en las localidades Río Plata y Los Ángeles, Nueva Guinea en el estudio de efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco

Fertilizante	Dosis de aplicación (kg ha ⁻¹)	Momento de aplicación (meses después de la siembra)
10-30-10	129.00	1
15-15-15	129.00	2
Urea 46%	64.56	2
	129.00	4
00-00-60	96.84	5

Humega (biofertilizante) Es un ácido húmico líquido concentrado. Se aplicó 14.23 l ha⁻¹ (10 l m^z⁻¹) al momento de la siembra y después aplicaciones mensuales por cuatro meses para un total de cinco aplicaciones. Se utilizó una bomba de mochila, el Humega en agua y se aplicó al suelo al pie de la planta.

Biogreen Fertilizante orgánico a base de estiércol de gallina. Se realizaron aplicaciones mensuales durante 5 meses iniciando al momento de la siembra 569.31 kg ha⁻¹ (4 qq m^z⁻¹). La aplicación se realizó al pie de cada planta

Trichoderma harzianum Se produce comercialmente la Universidad Nacional Agraria (UNA). Con una concentración de 1x10¹² conidias. Se aplicó a razón de 498 g ha⁻¹ al momento de la siembra y después aplicaciones mensuales por 4 meses.

***Trichoderma* sp.** fue aislado por el laboratorio de micología de la UNA de plantas de quequisque sobrevivientes en campos infectados con mal seco (no disponible comercialmente). Con una concentración de 1x10¹² conidias. Se aplicó 498 g ha⁻¹ al momento de la siembra y después aplicaciones mensuales por 4 meses.

Para la aplicación de *Trichoderma* se utilizó bomba de mochila, el *Trichoderma* fue diluido en agua y se aplicó al pie de cada planta.

3.1.7 Variables evaluadas

Variables morfológicas: Se evaluaron a los 67, 117 y 285 días después de la siembra (dds), se midieron utilizando regla milimetrada y vernier (Cuadro 2)

Cuadro 2. Variables morfológicas evaluadas a los 67, 117 y 285 dds en las localidades Río Plata y Los Ángeles, Nueva Guinea, en el estudio de efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco

Variables morfológicas	Descripción
Diámetro de pseudotallo (cm)	Se evaluó en el punto de inserción de las vainas de las hojas y la base del cormo.
Altura de planta (cm)	Se midió a partir de la base del pseudotallo hasta la inserción del pecíolo de la hoja de mayor altura en la planta.
Área foliar	Se midió el largo de la hoja (LH, desde el punto de inserción del pecíolo de la hoja hasta la punta de la hoja) y el ancho de la hoja (AH, desde el punto de inserción del pecíolo de la hoja). Y se utilizó la fórmula: (LH*AH) 0.923 (Aguagua, 1993).
Número de hojas	Se contabilizó el total de hojas presentes en la planta

Variables de rendimiento: Se evaluaron al momento de la cosecha a los 12 meses después de la siembra, se utilizó una balanza y una regla milimetrada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables de rendimiento evaluadas al momento de cosecha en las localidades Los Ángeles y Río Plata, Nueva Guinea, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco

Variables rendimiento	Descripción
Número de cormelos	Conteo del número de cormelos por planta
Peso de cormelos (g)	Se pesaron los cormelos
Ancho del cormelo (cm)	Se utilizó una regla para su medida
Largo del cormelo (cm)	Se utilizó una regla para su medida
Peso del cormo (g)	Se pesó en una balanza
Ancho del cormo (cm)	Se utilizó una regla para su medida
Largo del cormo (cm)	Se utilizó una regla para su medida
Rendimiento estimado	Se calculó para determinar la cantidad de cormelos que se obtendrían si estuvieran las 12,750 plantas en una hectárea con afectaciones de la enfermedad $Re = Nc * Pc * 12,500/10^6$ Donde: Re: Rendimiento estimado (t ha ⁻¹) Nc: Número promedio de cormelos por planta Pc: Peso de cormelos por planta (g)
Rendimiento real	Se calculó el rendimiento real por ha ⁻¹ considerando el porcentaje de sobrevivencia de plantas de cada tratamiento $Rr = \%S * Re / 100$ Donde: %S: porcentaje de sobrevivencia Re: Rendimiento estimado

VARIABLES RELACIONADAS CON LAS AFECTACIONES DE LA ENFERMEDAD: Se evaluaron al momento de la cosecha y las variables se describen en el cuadro 4:

Cuadro 4. Variables relacionadas con las afectaciones de la enfermedad evaluadas al momento de cosecha en las localidades Los Ángeles y Río Plata, Nueva Guinea, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco

VARIABLES EVALUADAS	DESCRIPCIÓN
Número de raíces sanas	Conteo del número de raíces sanas por planta cosechada
Número de raíces con afectaciones	Conteo por planta de raíces con síntomas de la enfermedad: puntos necróticos, lesiones o raíz totalmente afectada (esqueleto vascular no funcional)
Porcentaje de plantas sobrevivientes	Conteo del número de plantas sobrevivientes en cada tratamiento y se calcula el porcentaje

3.1.8 Análisis de datos

A las variables morfológicas, rendimiento y de afectaciones de la enfermedad se les realizó la prueba de normalidad (Shapiro Wilks) y la prueba de homogeneidad de la varianza (Levene) para constatar si los datos cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Todas las variables evaluadas cumplieron con estos supuestos, procediéndose a realizar el análisis de varianza y la separación de medias LSD, en cada localidad.

Se utilizó el programa estadístico SAS para realizar estos análisis.

El modelo aditivo lineal utilizado para este análisis fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento

β_j = Estimador del efecto debido al j -ésimo bloque

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación

Para evaluar el efecto de las localidades se realizó separación de medias de rangos específicos DMS (diferencias mínimas significativas) a un 95% de confianza.

El modelo aditivo lineal utilizado para este análisis fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + \gamma_j + \varepsilon_j + \beta_l + (\alpha\beta)_{kl} + \varepsilon_{jl}$$

Y_{ijkl} = la k-ésima observación del i-ésimo tratamiento

μ = Estima la media poblacional

P_i = Efecto del i-ésimo bloque

γ_j = Efecto de la l-ésimo nivel del tratamiento

ε_j = Efecto aleatorio del tratamiento

β_l = Efecto del l-ésimo nivel de la localidad

$(\alpha\beta)_{kl}$ = Efecto de la interacción Tratamiento y localidad

ε_{jl} = Efecto aleatorio de la interacción Tratamiento y localidad

3.2 Ensayo 2. Efecto de micorriza (*R. intraradices*) y dos especies de *Trichoderma* sobre mal seco en una finca comercial en La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan

3.2.1 Ubicación del ensayo

Se estableció en el año 2016 en la finca del productor Eulalio Maradiaga, localizada en la localidad Cruz Verde del municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan con las coordenadas: 11° 17'34.93"N y 84° 41'40.02"O, 135 msnm de altura. Las precipitaciones acumuladas (mm) y temperatura promedio en los meses del ensayo se muestra en el Figura 2.

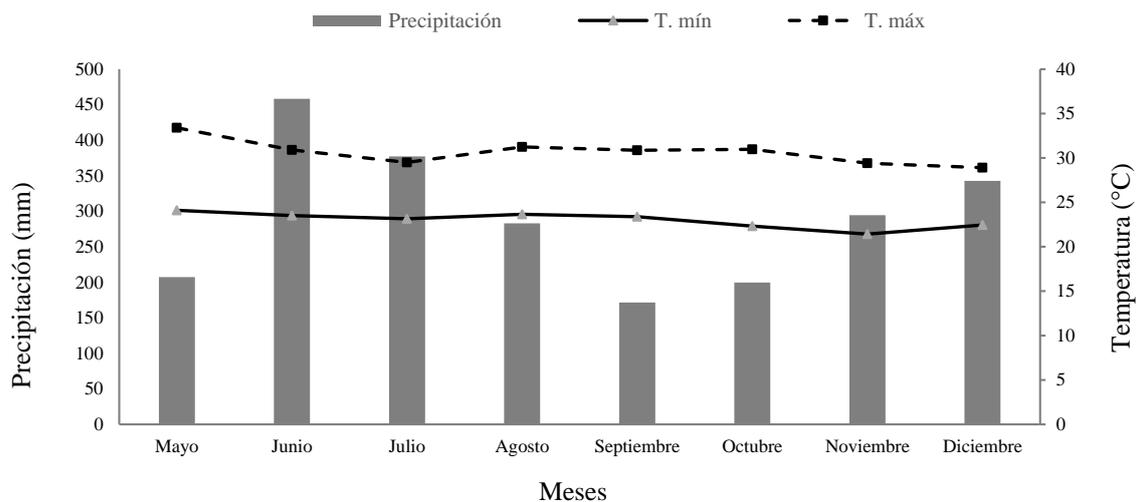


Figura 2. Precipitación (mm) y temperatura mínima y máxima (°C) registradas durante los meses de mayo-diciembre de la estación meteorológica de San Carlos, Río San Juan del año 2016 (INETER, 2017).

3.2.2 Manejo agronómico

Preparación de suelo: Se realizaron dos pases de arado con bueyes para rayar los surcos y mullir el suelo.

Material vegetal: Se utilizó en la siembra trozos de semilla asexual extraídas de cormos de Quequisque Lila de aproximadamente 0.1 kg de peso, con al menos una yema brotada.

Siembra: Se realizó al inicio de la época lluviosa a una distancia de 0.8 m entre planta, 1 m entre surco y 1.5 m entre cada tratamiento. Se realizaron hoyos a una profundidad de 20 cm donde se depositó la semilla sexual.

Fertilización y aporque: Se fertilizó con completo (15-15-15) a los 10 dds y a los 5 meses después de la siembra, el aporque se realizó al momento de la fertilización.

Manejo de arvenses: El ensayo se limpió con azadón y machete mensualmente durante los primeros 5 meses.

Cosecha: Se realizó a los 175 dds y de forma manual con macana y pico.

3.2.3 Análisis microbiológico

Igual que en ensayo 1

3.2.4 Diseño experimental

Se estableció una parcela experimental con diseño BCA con dos factores principales (*Trichoderma* y micorriza) con cuatro bloques y seis tratamientos por bloque. En cada unidad experimental se establecieron 6 surcos de 8 m de largo. La parcela útil correspondió a los dos surcos centrales y se tomaron al azar 10 plantas por tratamiento para la evaluación (Anexo 6). Los niveles de los factores y tratamientos utilizados se describen en el Cuadro 5. Cuadro 5. Niveles de los factores y tratamientos evaluados en el ensayo efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* (Mc)) y dos especies de *Trichoderma* (*Trichoderma harzianum* (Th), *Trichoderma asperellum* (Ta) sobre mal seco en una plantación comercial en La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan

Fator A	Factor B	Tratamientos
Trichoderma	Micorriza	
a1. Sin <i>Trichoderma</i>	b1. Sin micorriza	Testigo
a1. Sin <i>Trichoderma</i>	b2. Micorriza (Mc)	Mc
a2. <i>Trichoderma harzianum</i> (Th)	b1. Sin micorriza	Th
a2. <i>Trichoderma harzianum</i> (Th)	b2. Micorriza (Mc)	Th-Mc
a3. <i>Trichoderma asperellum</i> (Ta)	b1. Sin micorriza	Ta
a3. <i>Trichoderma asperellum</i> (Ta)	b2. Micorriza (Mc)	Ta-Mc

Testigo: No se aplicó ningún tratamiento a la semilla ni al suelo.

Micorriza: Se utilizó micorriza comercial Micofert del laboratorio Especialidades Agrícolas (ESAGRI) a base de micorrizas arbusculares: *Rhizophagus intraradices* (40,000 esporas kg⁻¹). Una solución de 2 kg de Micofert y 20 l de agua. Se preparó para sumergir la semilla asexual de quequisque por 5 minutos, se secó por 10 minutos y se sembró.

***Trichoderma asperellum* (Tricho Max wp):** con una concentración de 1×10^9 UFC. Dosis de aplicación 355 g ha⁻¹. Se aplicó al suelo momentos antes de la siembra.

***Trichoderma harzianum*:** Producido en la UNA, con una concentración de 1×10^{12} conidias. Dosis de aplicación: 427 g ha⁻¹. Se aplicó al suelo momentos antes de la siembra.

3.2.5 Variables evaluadas

Se evaluaron las variables descritas en el ensayo 1. Las variables morfológicas se evaluaron a los 68 y 153 dds y las variables de rendimiento y relacionadas con las afectaciones de la enfermedad al momento de la cosecha (175 dds).

3.2.6 Análisis de datos

A los datos obtenidos de las variables morfológicas se verificó si cumplieron con la normalidad con la prueba de Shapiro Wilks y la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de la varianza, al no cumplir con estos criterios se les realizó un análisis descriptivo utilizando Excel.

Las variables de rendimiento y las relacionadas con las afectaciones de la enfermedad cumplieron con la normalidad en la prueba de Shapiro Wilks y con la homogeneidad de la varianza en la prueba de Levene, por lo tanto, se realizó un análisis de varianza y una separación de media de LSD Fisher al 95 % de confianza utilizando el programa InfoStat (versión 2018e)

3.2.7 Modelo aditivo lineal

El modelo aditivo lineal utilizado en este ensayo fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \bar{P}_k + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = La k-ésima observación del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a partir de los datos del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor *Trichoderma*, a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor Micorrizas, a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores *Trichoderma*-Micorrizas.

P_k = Efecto del k-ésimo bloque.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

4.1.1 Análisis microbiológico

Se detectó *P. myriotylum* en raíces de plantas voluntarias de quequisque en dos muestras de Los Ángeles y dos muestras de Río Plata. No se aisló el patógeno del suelo. El historial de ambas fincas brindado por los agricultores reveló la presencia de mal seco en plantaciones de quequisque anteriores a la siembra del estudio (Anexo 7).

4.1.2 Variables morfológicas

En Río Plata no se registraron diferencias estadísticas en las variables morfológicas y en las evaluaciones realizadas (Cuadro 6). Igualmente, en Los Ángeles no hubo diferencias significativas en ninguna de las variables y evaluaciones (Cuadro 7).

En 2010 Sequeira y Silva evaluaron en dos ensayos de campo el efecto de *Trichoderma* y enmiendas orgánicas (Dry) en un suelo con antecedentes de mal seco en Nueva Guinea. En el primer ensayo en *Trichoderma* se desarrollaron plantas con alturas promedio de 71.5 y 81.8 cm en el tratamiento Dry del segundo ensayo. En ensayos en macetas conteniendo suelo infectado con mal seco proveniente de Nueva Guinea, Carcache y Díaz (2011) registraron plantas con alturas de 2.6-6.8 cm en los tratamientos *Trichoderma* y Humega respectivamente y 13.9 cm en el tratamiento *Trichoderma* en un segundo ensayo. Las plantas de los ensayos de Río Plata y Los Ángeles, en el presente estudio, desarrollaron alturas superiores a las registradas Carcache y Díaz (2011).

En el ensayo establecido por Carcache y Díaz (2011) las plantas tratadas con *T. harzianum* no crecieron, ni se desarrollaron a diferencia del estudio de Sequeira y Silva (2010) donde se aplicó *T. harzianum* fueron estadísticamente superiores en las variables morfológicas, lo que muestra una inconsistencia en los resultados en el efecto que tiene *Trichoderma* al mal seco. El efecto en *Trichoderma* en el manejo de *P. myriotylum* en campo aún no se ve claramente, la dosis usada en este estudio es la recomendada por los laboratorios donde se adquirieron. Estas dosis han sido utilizadas para su aplicación en diferentes cultivos y patógenos.

De acuerdo con Eastburn y Butler (1988) los factores medio ambientales pueden influir en la densidad de *T. harzianum* en el suelo como la cantidad y tipo de materia orgánica presente, la cantidad de macro y micronutrientes, además ciertas especies de bacterias y actinomicetes afectan las poblaciones de *T. harzianum*.

La acción inhibidora de *Trichoderma* hacia *P. myriotylum* en condiciones *in vitro* se evaluó por Tchameni *et al.* (2019). *T. harzianum* inhibió hasta 63.3 % el crecimiento micelial de *P. myriotylum* indicando que *Trichoderma* puede producir diferentes componentes antimicrobiano como enzimas que degradan la pared celular, lo que pudo causar la inhibición del micelio de *P. myriotylum*.

Devaki *et al.* (1992) demostraron la acción de *T. harziaunum in vitro* al suprimir el micelio de *P. myriotylum* a los tres días y en invernadero el efecto de *T. harzianum* redujo en 66% la incidencia de Damping off (*P. myriotylum*) en tabaco en suelo estéril, sin embargo, la aplicación de *T. harzianum* no tuvo efecto sobre la enfermedad en suelo natural. Adams (1990) reporta que las especies de *Trichoderma* pueden ser un excelente biocontrolador cuando son aplicados en suelos estériles no así cuando son aplicados en suelos naturales, Papavizas (1985) menciona que en suelos naturales las sustancias antibióticas de *Trichoderma* no son producidas en cantidades suficientes para obtener resultados tangibles como controlador biológico.

Cuadro 6. Análisis de varianza de altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo de las plantas desarrolladas en los tratamientos Testigo, Th, Tsp, Th+H, Tsp+H y Tsp+B, evaluados a los 67, 117 y 285 dds en Río Plata, Nueva Guinea en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales

Tratamientos	Altura de planta (cm)			Número de hojas			Área foliar (cm ²)			Diámetro de pseudotallo (cm)		
	67	117	285	67	117	285	67	117	285	67	117	285
Testigo	32.4	45.9	42.9	2.3	3.5	2.5	245.2	412.7	236.2	1.8	2.9	2.3
Th	34.5	51.3	54.1	2.6	3.9	3.6	244.5	475.7	480.8	1.9	3.5	3.8
Tsp	36.3	50.7	54.4	2.8	3.7	2.9	296.6	496.4	380.6	2.1	3.7	3.2
Th+H	31.4	36.8	47.4	2.2	2.8	2.7	205.9	281.4	269.9	1.4	2.4	2.6
Tsp+H	33.2	42.8	52.1	2.7	3.1	2.8	279.1	371.6	368.9	2.1	2.9	2.9
Tsp+B	37.1	51.6	55.1	2.8	3.9	2.9	270.5	518.8	308.7	2.1	3.6	3.0
p-valor	0.921	0.745	0.900	0.174	0.775	0.360	0.489	0.970	0.451	0.465	0.340	0.897
CV	8.2	18.2	14.1	14.1	15.7	26.9	12.6	34.0	40.7	18.8	21.3	23.5
R ²	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8

Cuadro 7. Análisis de varianza de altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo de las plantas desarrolladas en los tratamientos Testigo, Th, Tsp, Th+H, Tsp+H y Tsp+B evaluados a los 67, 117 y 285 dds en Los Ángeles, Nueva Guinea en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales

Tratamientos	Altura de planta (cm)			Número de hojas			Área foliar (cm ²)			Diámetro de pseudotallo (cm)		
	67	117	285	67	117	285	67	117	285	67	117	285
Testigo	35.1	74.8	74.2	3.1	4.1	4.3	331.8	979.2	1013.2	2.7	5.6	5.3
Th	34.3	68.5	76.1	2.8	4.3	4.3	253.7	897.1	1049.9	2.4	5.3	5.7
Tsp	39.8	71.3	68.9	3.5	4.4	3.9	347.9	1061.5	875.1	2.8	5.2	5.1
Th+H	39.2	72.6	66.6	3.3	3.9	4.0	389.7	981.4	769.1	3.4	5.2	5.3
Tsp+H	36.4	66.6	58.2	3.2	3.9	3.6	248.9	790.2	643.5	3.2	4.4	4.3
Tsp+B	36.4	67.5	70.6	3.2	4.1	4.13	297.5	924.7	782.1	2.3	4.9	5.3
p-valor	0.119	0.230	0.963	0.615	1.000	0.750	0.116	0.141	0.858	0.686	0.369	0.877
CV	8.25	8.01	25.51	16.61	8.42	20.39	17.78	21.32	39.21	24.99	17.27	34.54
R ²	0.66	0.62	0.32	0.51	0.78	0.49	0.69	0.52	0.48	0.65	0.55	0.33

4.1.3. Efecto de las localidades, tratamientos e interacción de tratamientos entre las localidades Río Plata y Los Ángeles de las variables morfológicas en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Hubo diferencias significativas entre las dos localidades en todas las variables y en todas las evaluaciones. Se registraron plantas de mayor tamaño en Los Ángeles en comparación con Río Plata (Cuadro 8).

La interacción entre tratamientos y localidades refleja efecto en área foliar y diámetro de pseudotallo a los 67 dds (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza de las localidades, tratamientos e interacción localidades y tratamientos en las variables altura de planta, número de hojas, área foliar y diámetro de pseudotallo evaluadas a los 67, 117 y 285 dds en Nueva Guinea. en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales

Variables	dds	Localidades	Tratamientos	Localidad x tratamientos	R ²	CV
Altura de planta	67	0.0179	0.1691	0.3661	0.62	8.12
	117	0.0001	0.2690	0.2066	0.89	10.65
	285	0.0002	0.8516	0.6715	0.63	19.75
Número de hojas	67	0.0001	0.9486	0.2683	0.76	10.76
	117	0.0003	0.7117	0.6211	0.74	10.60
	285	0.0003	0.7689	0.9273	0.60	22.78
Área foliar	67	0.0020	0.2309	0.0434	0.70	16.20
	117	0.0001	0.0769	0.7062	0.85	22.53
	285	0.0001	0.6453	0.7008	0.75	38.72
Diámetro de pseudotallo	67	0.0001	0.9610	0.0301	0.77	17.30
	117	0.0001	0.3431	0.5113	0.84	16.02
	285	0.0001	0.9393	0.9634	0.67	29.93

La diferencia entre localidades fue causada por las condiciones específicas de cada parcela. En Los Ángeles se registraron plantas con mayor crecimiento. El área de estudio había sido sembrado con quequisque en una ocasión, en cambio en Río Plata, el área donde se estableció el ensayo había sido sembrado quequisque en repetidas ocasiones y la afectación con mal seco fue mayor en el cultivo provocando pérdida de los rendimientos. En Los Ángeles la pendiente del terreno era mayor a 30° lo que evitó el encharcamiento y la proliferación de *P. myriotylum*: En Río Plata la plantación era casi plana con pendientes menores a los 4.25° formándose encharcamiento donde posteriormente se dieron focos de la enfermedad, Onwueme y Charles (1994) mencionan que el agua estancada en el terreno puede ocasionar

una severa incidencia y desarrollo de mal seco y Lebot (2009) indica que el quequisque es muy sensible al encharcamiento (Figura 3)



Figura 3. Parcelas momentos antes de la siembra donde se establecieron los ensayos de quequisque en Nueva Guinea. a) Los Ángeles, pendiente mayor de 30°; b) Río Plata, terreno plano, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.

4.1.4 Rendimiento de las localidades Río Plata y Los Ángeles

En Río Plata el largo, ancho y peso de cormo, número, largo, ancho y peso de cormelos no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza de las variables largo, ancho y peso de cormo, número, largo y ancho de cormelos evaluados al momento de la cosecha en la localidad Río Plata, en el estudio del efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamientos	Largo de cormo (cm)	Ancho de cormo (cm)	Peso de cormo (g)	Número de cormelos	Largo de cormelos (cm)	Ancho de cormelos (cm)	Peso de cormelos (g)
Testigo	8.3	6.0	342.84	2.1	9.3	3.9	180.5
Th	8.4	6.2	376.35	2.8	8.4	3.5	158.6
Tsp	8.2	6.3	380.93	2.7	9.8	3.8	170.7
Th+H	7.6	5.1	266.70	1.6	7.9	4.2	176.6
Tsp+H	8.5	5.8	367.84	1.6	10.2	3.9	177.4
Tsp+B	9.3	6.7	468.98	2.4	10.7	4.2	192.8
p valor	0.4611	0.62	0.7851	0.8667	0.7381	0.4295	0.7851
R ²	0.8	0.8	0.7	0.75	0.7	0.8	0.7
CV	14.6	18.1	19.6	42.3	22.2	15.54	19.6

En Los Ángeles en las variables ancho de cormo y número de cormelos hubo diferencias significativas. Th+H resultó estadísticamente superior en largo de cormo y Th+H y Tsp estadísticamente superiores en número de cormelos. En ancho y peso de cormo, largo, ancho y peso de cormelos no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza de largo, ancho y peso de cormo, raíces sanas y afectadas y número de cormelos evaluados al momento de la cosecha en Los Ángeles en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamiento	Largo de cormo (cm)	Ancho de cormo (cm)	Peso de cormo (g)	Número de cormelos	Largo de cormelos (cm)	Ancho de cormelos (cm)	Peso de cormelos (g)
Testigo	13.4 ab	9.2	674.1	4.5 bc	12.1	4.4	150.1
Th	13.3 ab	10.4	611.5	4.7 b	11.6	4.9	167.1
Tsp	14.2 ab	10.2	762.6	5.5 a	12.4	5.0	175.6
Th+H	15.8 a	9.7	735.0	5.6 a	13.2	4.9	206.9
Tsp+H	12.4 b	8.1	530.7	3.9 c	12.8	4.4	187.5
Tsp+B	14.4 ab	10.1	660.7	3.9 c	13.4	5.2	178.7
p valor	0.0549	0.4651	0.2811	0.0015	0.3574	0.4335	0.2811
R ²	0.72	0.75	0.85	0.93	0.87	0.78	0.85
CV	11.05	16.64	11.51	7.4	7.07	13.49	11.5

Medias con una letra en común no son estadísticamente significativas según LSD ($p > 0.05$).

Según Reddy (2015) y Onwueme y Charles (1994) las plantas de quequisque pueden producir 10 cormelos. En ninguno de los ensayos se alcanzó esta cantidad. En Los Ángeles se registró 5.5 y 5.6 cormelos en Tsp y Th+H respectivamente, este último tratamiento fue superior en la variable largo cormo. El uso de *Trichoderma* en combinación con Humega podría haber causado alguna inhibición a *P. myriotylum* y permitir un mayor crecimiento de la planta y producir un mayor número de cormelos. Según Global Organics Groups (sf) Humega es un ácido húmico enriquecido con un complejo fúlvico-mineral que inhibe los patógenos del suelo, al usarse solo o con otros paquetes microbianos benéficos. Naseby *et al.* (2000) estudiaron 5 cepas de *Trichoderma* de las cuales todas, con una excepción, mejoraron significativamente el crecimiento de plantas de guisante en presencia de *Pythium ultimum* y redujeron significativamente los efectos perjudiciales del patógeno.

En Río Plata no hubo diferencias significativas en el rendimiento estimado y rendimiento real entre los tratamientos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluado al momento de la cosecha en Río Plata, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamientos	Rendimiento estimado (t ha⁻¹)	Rendimiento real (t ha⁻¹)
Testigo	5.2	2.6
Th	6.3	3.9
Tsp	6.0	3.2
Th+H	4.1	2.7
Tsp+H	4.3	2.8
Tsp+B	6.5	5.4

p valor	0.8748	0.7663
R ²	0.7	0.8
CV	56.4	63.1

En Los Ángeles en las variables rendimiento real y rendimiento estimado los tratamientos Th+H y Tsp fueron estadísticamente superior (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluado al momento de la cosecha en Los Ángeles en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamientos	Rendimiento estimado (t ha⁻¹)	Rendimiento real (t ha⁻¹)
Testigo	8.9 c	7.99 c
Th	10.1 bc	9.08 bc
Tsp	12.3 ab	11.06 ab
Th+H	14.3 a	12.83 a
Tsp+H	9.7 bc	8.73 bc
Tsp+B	9.1 c	8.26 c
p valor	0.0064	0.0070
R ²	0.92	0.92
CV	13.34	13.58

Medias con una letra en común no son estadísticamente significativas según LSD ($p > 0.05$).

El rendimiento estimado de Río Plata fue de 6.5 t ha⁻¹ y el rendimiento real calculado según el porcentaje de plantas sobrevivientes de cada tratamiento no superó 5.4 t ha⁻¹, ambos valores inferiores a los presentados en Los Ángeles, donde el rendimiento estimado alcanzó 14.3 t ha⁻¹ y el rendimiento real 12.8 t ha⁻¹ en el tratamiento Th+H. Según FAO (2019) los rendimientos promedios alcanzados en Nicaragua en los años 2016 y 2017 fueron de 12.9 t ha⁻¹ lo que indica que el tratamiento Th+H podría representar una alternativa en las recomendaciones del manejo de la enfermedad. Carcache y Díaz (2011) no obtuvieron rendimiento en los tratamientos con Humega y *Trichoderma*, Sequeira y Silva (2010) obtuvieron 7.2 t ha⁻¹ en Humega y 10.2 en *Trichoderma* de rendimiento estimado y 6.9 y 9.6 t ha⁻¹ respectivamente de rendimiento real. Los tratamientos Humega y *Trichoderma* se aplicaron individualmente a diferencia de este estudio donde se aplicaron juntos lo que pudo haber significado la diferencia en rendimiento de este estudio con relación a los rendimientos de Sequeira y Silva (2010).

4.1.5 Efecto de las localidades, tratamientos e interacción de tratamientos entre las localidades Río Plata y Los Ángeles de las variables de rendimiento

Hubo diferencias estadísticas entre las localidades en todas las variables con excepción de raíces afectadas y peso de corno y cormelos, Los Ángeles fue estadísticamente superior en comparación con Río Plata (Cuadro 13).

El efecto en los tratamientos y la interacción tratamiento por localidad no presentaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 13)

Cuadro 13. Análisis de varianza de las localidades, tratamientos e interacción localidad x tratamientos en las variables de rendimiento evaluadas al momento de la cosecha en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Variables	Localidad	Tratamiento	Localidad x tratamiento	R ²	CV
Largo de corno	0.0001	0.1889	0.1957	0.90	12.57
Ancho de corno	0.0001	0.7129	0.6822	0.84	16.63
Peso de corno	0.8896	0.4775	0.6987	0.49	18.82
Raíces sanas	0.0001	0.5120	0.594	0.86	34.21
Raíces afectadas	0.1229	0.9931	0.1060	0.57	34.85
Número de cormelos	0.0001	0.1731	0.3275	0.83	25.19
Largo de cormelos	0.0001	0.9509	0.7775	0.71	16.09
Ancho de cormelos	0.0005	0.2560	0.6624	0.71	14.69
Peso de cormelos	0.8896	0.4775	0.6987	0.49	18.86
Rendimiento estimado	0.0001	0.2248	0.3447	0.70	37.61
Rendimiento real	0.0001	0.1937	0.2100	0.80	36.95

4.1.6 Variables relacionadas con las afectaciones de mal seco en Río Plata y Los Ángeles

En Río Plata hubo diferencias significativas en el número de raíces afectadas, el tratamiento Th+H registró el menor número de raíces afectadas estadísticamente superior. En el número de raíces sanas no hubo diferencias significativas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas evaluadas al momento de la cosecha en Río Plata, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamientos	Número de raíces sanas	Número de raíces afectadas
Testigo	8.04	17.78 ab
Th	14.27	19.20 b
Tsp	12.49	15.23 ab
Th+H	13.26	11.19 a

Tsp+H	8.09	22.42 b
Tsp+B	21.93	20.15 b
p valor	0.8	0.0178
R ²	0.52	0.91
CV	86.35	23.04

Medias con una letra en común no son estadísticamente significativas según LSD ($p>0.05$).

En Los Ángeles no hubo diferencias significativas en el número de raíces sanas y raíces afectadas en ninguno de los tratamientos (Cuadro15).

Cuadro 15. Análisis de varianza de las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas evaluadas al momento de la cosecha en la localidad Los Ángeles, en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea

Tratamientos	Número de raíces sanas	Número de raíces afectadas
Testigo	61.02	18.34
Th+H	52.61	27.95
Th	47.71	14.76
Tsp	31.90	25.23
Tsp+H	51.49	23.12
Tsp+B	40.76	18.44
P valor	0.2435	0.1282
R ²	0.80	0.60
CV	20.67	35.25

Según López *et al.* (1984) las raíces primarias o de sostén pueden alcanzar de 35 a 40 cm de profundidad y la cantidad de raíces puede variar de 60 a 300 en malanga (*Colocasia*) y quequisque, aunque este último presenta una menor cantidad. El número de raíces sanas no superó el 61 en Los Ángeles, donde se obtuvo mayor número de raíces sanas en comparación a Río Plata. Las raíces afectadas se mantuvieron entre 11-28 (44-73.5%) en las dos localidades indicando presencia de mal seco. Según Artavia *et al.* (2010) la enfermedad causa pudrición de raíces y en la mayoría de las plantas termina de destruir el sistema radicular. Nzietchueng (1984) describe que, en ataques severos, los cormos sembrados son incapaces de brotar y fallan al crecer apropiadamente, lo que está relacionado con la inadecuada formación de raíces, tan pronto se producen nuevas raíces son destruidas por el patógeno. Adiobo (2006) menciona que el tejido cortical se torna café y se desintegra dejando un esqueleto vascular no funcional y en casos de ataques serios todo el sistema radicular es destruido, estos síntomas se presentaron en las raíces afectadas de las dos localidades (Figura 4).



Figura 4. Sistema radicular de cormos de quequisque cosechados en Río Plata a) cormo con raíces con pocas afectaciones de mal seco, b) cormo con pocas raíces afectadas por mal seco en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.

En Río Plata se registraron entre 63.3 % (Tsp) y 83.3 % (Tsp+B) de plantas sobrevivientes. En Los Ángeles todos los tratamientos registraron plantas sobrevivientes por encima del 93.3 % (Figura 5).

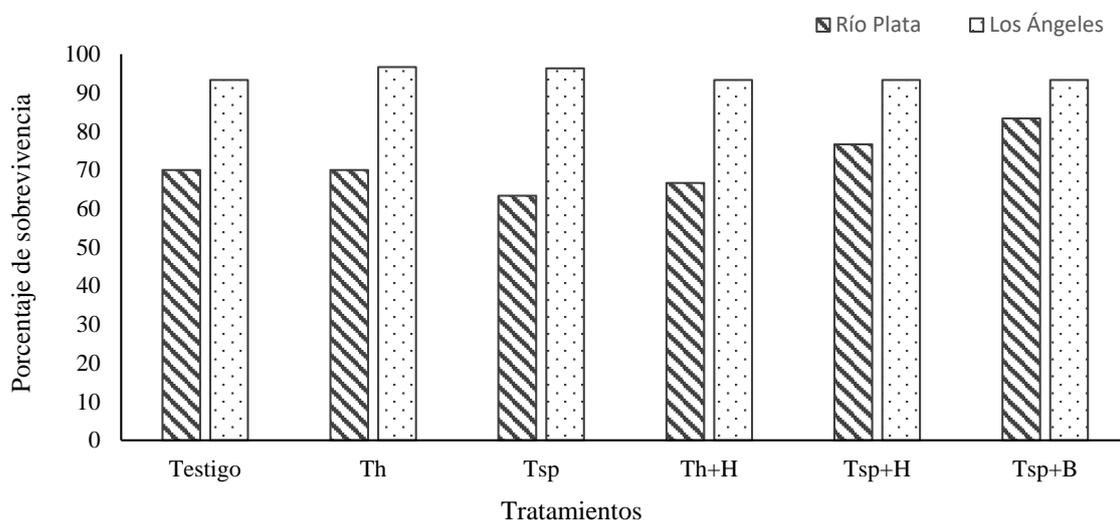


Figura 5. Porcentaje de plantas sobrevivientes en seis tratamientos en Río Plata y Los Ángeles al momento de la cosecha en el estudio efecto de *Trichoderma* y fertilizantes orgánicos sobre el mal seco en dos plantaciones comerciales de Nueva Guinea.

El menor porcentaje de sobrevivencia se registró en Río Plata, donde hubo mayores afectaciones del patógeno reflejado en el crecimiento de las plantas (alturas entre 42.98 y

54.14 cm), inferiores en comparación a las plantas desarrolladas en Los Ángeles donde se registraron alturas entre 58.17 y 76.08 cm. De acuerdo con Nzietchueng (1984) y Picado *et al.* (2008) *Pythium myriotylum* causa hasta 90% de reducciones en la producción y ataca la planta destruyendo el sistema radicular y afectando los demás sistemas. Acebedo y Navarro (2010) indican que la planta sobrevive únicamente de la reserva que contiene el cormo y responde generando nuevas raíces, las cuales serán afectadas nuevamente por el patógeno hasta acabar con las reservas en el cormo y la planta muere. El ataque puede ser en diferentes etapas del cultivo tal como lo indica Adiobo *et al.* (2007) puede ser en: infecciones tempranas (emergencia de raíces), induce atrofia y en afectaciones tardías (5 o 6 meses después de la siembra) donde reduce el número de raíces adventicias causando clorosis y bajos rendimientos.

4.2 Efecto de micorriza (*R. intraradices*) y dos especies *Trichoderma* sobre mal seco en finca comercial en la Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan

4.2.1 Análisis microbiológico

Se aisló *P. myriotylum* a partir de muestras de suelo (Anexo 8). En el historial de la finca se refleja la presencia de la enfermedad mal seco en plantaciones de quequisque sembradas en años anteriores en la parcela lo que indica una persistencia del patógeno en el suelo. Hendrix y Campbell (1973) indican que la mayoría de *Pythium* spp. una vez establecido en el suelo producen oosporas y clamidosporas que persisten por muchos años y son difícil de eliminar.

4.2.2 Variables morfológicas

A los 60 dds se registraron alturas de planta entre 26.44 y 33.79 cm y a los 153 dds entre 41.36 y 49.75 cm, el tratamiento Ta-Mc presentó la mayor altura en ambas evaluaciones. En número de hojas los tratamientos Th-Mc y Ta incrementaron el número de hojas desde los 58 a los 153 dds, en el resto de los tratamientos disminuyó la cantidad de hojas en ese período. Se presentaron áreas foliares entre 201.31 y 294.77 cm² a los 68 dds y entre 249.93 y 331.35 cm² a los 153 dds. Se registraron diámetros de pseudotallos entre 2.12 y 2.55 cm a los 68 dds y entre 3.02 y 3.84 cm a los 153 dds (Figura 6)

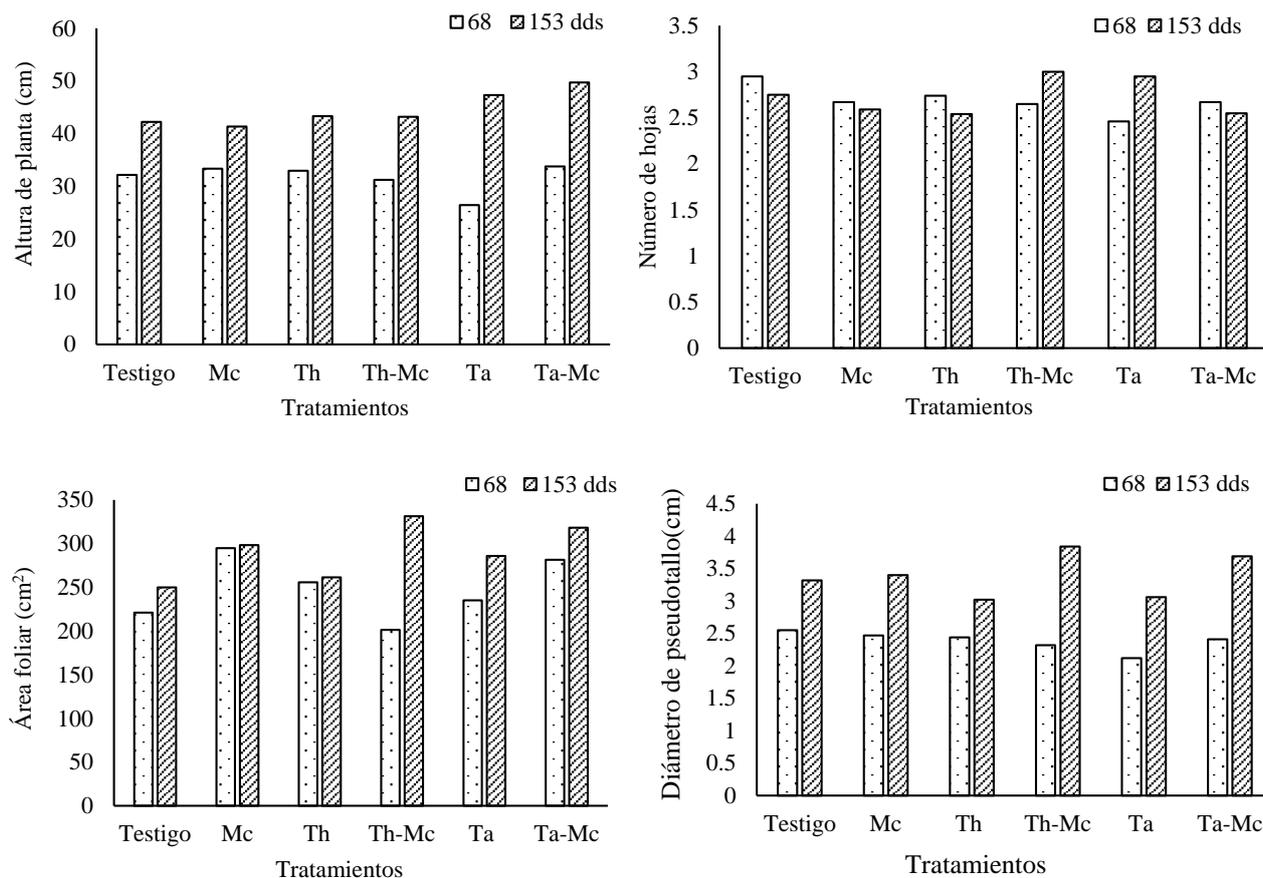


Figura 6. Altura de planta (cm), número de hojas, área foliar (cm²) y diámetro de pseudotallo (cm) evaluados a los 68 y 153 dds en la localidad Cruz Verde en Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies *Trichoderma* sobre mal seco en finca comercial.

4.2.3 Variables de rendimiento

En el largo de cormo, peso de cormo y número de cormelos no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. En ancho de cormo los tratamientos Th-Mc y Mc fueron superiores estadísticamente. Th-Mc fue superior estadísticamente en largo de cormelos. En ancho de cormelos los tratamientos Th-Mc, Ta y Mc fueron superiores estadísticamente y en peso de cormelos el tratamiento Ta fue superior (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza del efecto de los tratamientos de las variables largo, ancho y peso de cormo, número, largo, ancho y peso de cormelos evaluadas al momento de la cosecha en la localidad Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies *Trichoderma* spp. sobre mal seco en finca comercial

Tratamientos	Largo de cormo (cm)	Ancho de cormo (cm)	Peso de cormo (g)	Número de cormelos	Largo de cormelos (cm)	Ancho de cormelos (cm)	Peso de cormelos (g)
Testigo	7.65	5.64 ab	143.65	1.39	5.11 c	2.56 c	40.08 abc

Mc	8.29	5.76 a	132.85	1.38	7.13 ab	3.42 a	51.81 ab
Th	7.93	5.01 b	118.69	0.89	5.84 bc	3.19 ab	34.20 bc
Th-Mc	7.78	5.98 a	123.33	1.43	8.37 a	3.64 a	42.89 abc
Ta	9.33	5.69 ab	128.06	1.29	6.24 bc	3.41 a	53.54 a
Ta-Mc	7.50	5.26 ab	95.97	0.79	5.07 c	2.65 bc	24.10 c
P valor	0.056	0.0282	0.4168	0.06	0.0223	0.0019	0.0176
R ²	0.37	0.69	0.58	0.61	0.64	0.71	0.64
CV	21.89	15.89	38.66	63.33	29.43	18.35	48.23

Medias con una letra en común no son estadísticamente significativas según LSD Fisher (p>0.05)

El tratamiento Th-Mc fue estadísticamente superior en tres variables (ancho de cormo, largo y ancho de cormelos) y Mc fue superior en dos variables (Ancho de cormo y cormelos), en ambos tratamientos se aplicó micorriza lo que podría indicar que hubo algún efecto de la aplicación en el crecimiento de cormo y cormelos en estos tratamientos, el efecto de las micorrizas promoviendo el crecimiento de las plantas al incrementar la absorción de fósforo y otros minerales ha sido reportado por Gerdemann (1968), Linderman (1988), Green *et al* (1999) y Gianinazzi *et al.* (2010). Cuéllar *et al* (2015) indica que la relación simbiótica que se establece entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de las plantas, promueve un mayor crecimiento y nutrición mineral, los hongos se benefician con el suministro de fuentes carbonadas provenientes de la planta y esta, a su vez, por la mayor exploración del suelo a nivel de raíces facilitadas por los hongos, aumenta la capacidad de absorción de nutrientes minerales, lo que promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas. Djeuani *et al.* (2018) indican que el tratamiento *R. intrarradices* influenció positivamente los parámetros morfológicos de *X. sagittifolium* evaluados en su estudio como peso de cormelos, el cual fue de 19.25 g a los 180 dds.

En el tratamiento Th-Mc se utilizó *Trichoderma* y micorriza lo que podría indicar que esta combinación de organismos puede tener un efecto positivo en el crecimiento de la planta. Datnoff *et al.* (1995) sugieren que las micorrizas arbusculares y otros agentes biocontroladores pueden ser compatibles y pueden ser usados en combinación proveyendo niveles de control a enfermedades superiores que al ser usados solos. Amer y Abou-El-Seud (2008) mencionan que la combinación de *Trichoderma*-micorriza también favorece el crecimiento de plantas de tabaco y que ambos pueden ser aplicados juntos.

El tratamiento Ta fue superior en ancho y peso de cormelos indicando que *T. asperellum* tuvo un efecto positivo en el crecimiento de los cormelos, Mbarga *et al* (2012) demostraron que cuatro cepas de *T. asperellum* tuvieron actividad antagónica contra *P. myriotylum* en pruebas *in vitro* de confrontación directa, deteniendo el crecimiento de *P. myriotylum* cuando

estuvo en contacto con *T. asperellum*, sugiriendo que la destrucción de *Pythium* fue debido al micoparasitismo por parte de *T. asperellum* al no encontrar ninguna sustancia antibiótica liberada por parte de *T. asperellum*.

En las variables rendimiento estimado y rendimiento real los tratamientos Ta, Mc y Th-Mc fueron superior estadísticamente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza de las variables rendimiento estimado y rendimiento real evaluadas al momento de la cosecha en la localidad la Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies *Trichoderma* spp. sobre mal seco en finca comercial

Tratamientos	Rendimiento estimado (t ha⁻¹)	Rendimiento real (t ha⁻¹)
Testigo	0.82 ab	0.32 ab
Mc	0.99 a	0.45 a
Th	0.52 ab	0.18 b
Th Mc	0.90 a	0.44 a
Ta	0.98 a	0.47 a
Ta Mc	0.28 b	0.09 b
P valor	0.0161	0.0008
R ²	0.57	0.63
CV	88.95	89.25

Medias con una letra en común no son estadísticamente significativas según LSD Fisher ($p > 0.05$).

Los rendimientos estimado y real registrados en este ensayo están por debajo del rendimiento promedio publicado por la FAO (2019) para los años 2016 y 2017 (12.9 t ha⁻¹). Sequeira y Silva (2010) reportan un rendimiento de 9.6 t ha⁻¹ en el tratamiento con *Trichoderma*. Ruiz *et al* (2015) indican que en el tratamiento *G. intraradices* + *Trichoderma* spp se registró un rendimiento en *Xanthosoma* de 33.8 t ha⁻¹ y de 33.5 t ha⁻¹ en el tratamiento *G. intraradices*, en los ensayos en Río Plata y Los Ángeles descritos anteriormente también se presentan rendimientos superiores a los presentados en este ensayo.

Sanders (2002) menciona que diferentes especies de micorrizas tienen efectos diferenciales en el crecimiento de las plantas y que el beneficio que una planta puede obtener de la simbiosis micorrícica no es el mismo con cada especie de micorriza. Jefries y Barea (2012) indican que las diferentes especies de micorrizas inducen más respuestas positivas en algunas plantas que en otras, y no todas las plantas forman asociaciones con las micorrizas y de estas que forman asociaciones con ellos no todas obtienen beneficios nutricionales de los hongos. Para Martínez-Medina *et al* (2009) La asociación simbiótica no es una característica común de todas las plantas y la incidencia en la colonización de raíces depende

de la especie de planta y de la micorriza, el éxito de la asociación requiere de la selección apropiada de la combinación hongo huésped.

Jefries y Barea (2012) recomiendan el uso de aislados de especies nativas de micorrizas porque ya están adaptadas a las condiciones prevalecientes en el campo. Lekberg y Koide (2008) mencionan que algunas investigaciones han demostrado que algunos aislados de micorrizas funcionan mejor en sus temperaturas de origen y Weinbaum y Allen (1996) indican que las micorrizas tienen una mayor tasa de supervivencia en lugares de donde fueron aislados y con las plantas con las que estuvieron originalmente asociados

4.2.4 Variables relacionadas con las afectaciones de la enfermedad

No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en el número de raíces sanas ni el número de raíces afectadas (Cuadro 18).

Cuadro 18. Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en las variables número de raíces sanas y número de raíces afectadas al momento de la cosecha en la localidad la Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies *Trichoderma* spp. sobre mal seco en finca comercial

Tratamientos	Número de raíces sanas	Número de raíces afectadas
Testigo	4.85	13.57
Mc	4.75	14.88
Th	3.56	10.15
Th-Mc	6.13	15.33
Ta	6.13	12.15
Ta-Mc	3.50	11.14
P valor	0.051	0.1
R ²	0.45	0.52
CV	72.57	38.37

Se registraron entre 28.03 y 48.11 % de plantas sobrevivientes en el ensayo, siendo el tratamiento Th-Mc el que registró el mayor porcentaje de plantas sobrevivientes (Figura 7).

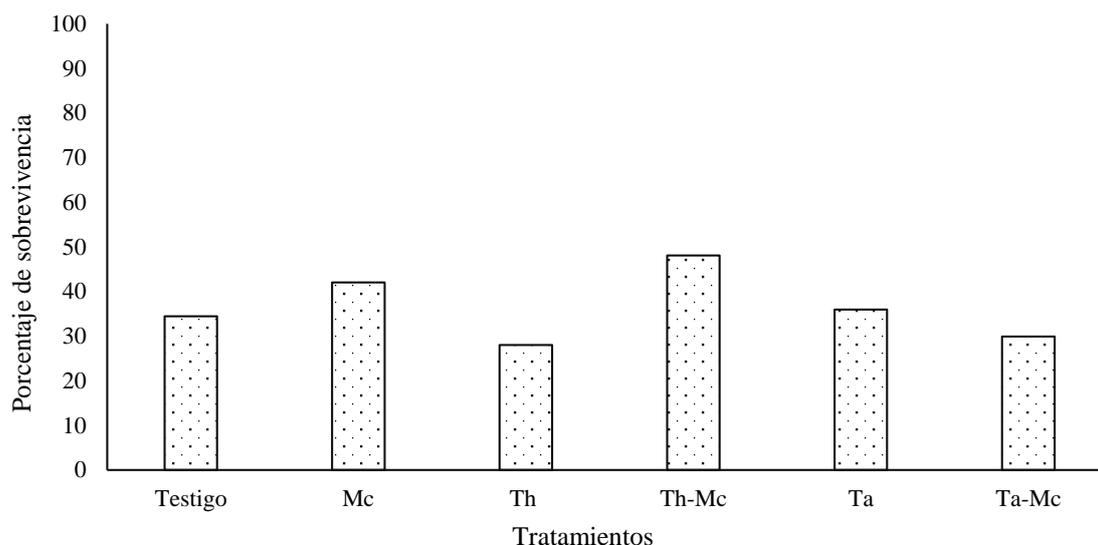


Figura 7. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de quequisque en seis tratamientos evaluados al momento de la cosecha en la localidad La Cruz Verde, Río San Juan, en el estudio efecto de micorriza (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y dos especies *Trichoderma* spp. sobre mal seco en finca comercial.

En este ensayo el efecto del mal seco fue bien marcado registrando menos del 50% de plantas sobrevivientes. El tratamiento Th-Mc registró el mayor porcentaje de sobrevivencia de plantas (48%) y 6.13 raíces sanas, indicando una clara afectación del mal seco López *et al.* (1984) mencionan que la cantidad de raíces puede variar entre 60-300 raíces. siendo insuficientes la cantidad de raíces producidas por las plantas en este ensayo. Adiobo (2006) describe entre los síntomas de mal seco la pudrición de la raíz, en la cual el tejido cortical se pudre, se torna oscuro y se desintegra dejando un esqueleto vascular no funcional y en casos de daños severos destruye todo el sistema radicular.

Las precipitaciones totales durante los ocho meses que el cultivo estuvo establecido en campo fueron de 2333.8 mm, López *et al* (1984) reporta que malanga y quequisque requieren entre 1800 a 2500 mm bien distribuidas durante su ciclo biológico y que algunas variedades de quequisque incluida la morada (*X. violaceum*) son muy susceptibles al encharcamiento. Nzietchueng (1984) menciona que en Camerún el desarrollo de *P. myriotylum* es favorecido por una temperatura media de 26°C, humedad relativa de 89% y una precipitación de 400-700 mm. El terreno donde se estableció el ensayo presentaba una superficie irregular lo que provocaba encharcamiento en algunas áreas. Lebot (2009) indica que el quequisque es muy sensible al encharcamiento y Onwueme y Charles (1994) mencionan que el agua estancada en el terreno puede ocasionar una severa incidencia y desarrollo de mal seco.

Las precipitaciones presentadas en este estudio fueron mayores a las indicadas por Ntzietchieng (1984) (400-700 mm) La temperatura promedio de 26.8 °C reportada en la zona y las condiciones del terreno en las que fue establecido el ensayo favorecieron un mayor desarrollo del patógeno por lo tanto sus efectos fueron observados claramente en el desarrollo y el reducido porcentaje de sobrevivencia de las plantas y reducción de los rendimientos.

El efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp. y micorrizas no se observó claramente, Wezel *et al* (2014) señalan que la aplicación de campo de los bioplaguicidas a menudo no puede contrarrestar el desarrollo de patógenos debido a una colonización insuficiente de la rizosfera. Gianinazzi *et al.* (2010) mencionan que se han realizado diversos estudios del efecto benéfico de las micorrizas al mejorar la tolerancia de las plantas a los efectos de algunos hongos y Oomicetes como *Pythium*, sin embargo, estos estudios se han llevado a cabo en situaciones controlados y en etapas tempranas del crecimiento de las plantas, los estudios en campo como este estudio podrían indicar que se deben incrementar las dosis recomendadas por los fabricantes de productos biológicos cuando lo que se busca es tolerancia hacia un patógeno porque el efecto positivo en el rendimiento o en el desarrollo de las plantas no pudo ser observado en ninguno de los tratamientos que contenían *Trichoderma* o micorriza.

Después de la siembra de este ensayo, la semilla excedente, *Trichoderma* y micorriza que no fueron utilizadas en el ensayo fueron entregadas al productor para que los estableciera en un área cercana al ensayo, el productor sembró y aplicó una mezcla de *Trichoderma* y micorriza en la parcela que estableció y aplicó igual que se realizó en este ensayo con excepción de las dosis, el productor aplicó todo el sobrante a la parcela. La parcela establecida por el productor no presentó afectaciones severas de mal seco (plantas muertas o con poco crecimiento) durante su ciclo y al momento de la cosecha se cosecharon 10 plantas de la parcela del productor las que presentaron en promedio: Número de raíces buenas: 23, número de raíces afectadas 14.8, número de cormelos: 4.2, peso de cormelos: 139.29 g y un rendimiento estimado de 7,47 t ha⁻¹, estos resultados podrían indicar que las dosis de *Trichoderma* y micorriza a utilizar para el manejo de mal seco se deben incrementar especialmente en áreas donde las condiciones climáticas y del terreno favorecen el desarrollo de *P. myriotylum*.

El manejo agroecológico de patógenos persistentes en el suelo como *P. myriotylum* debe estar enfocado en minimizar el inóculo en el suelo realizando aplicaciones crónicas de *Trichoderma*, durante etapas previas al establecimiento y durante el ciclo del cultivo de quequisque. Sabando-Ávila *et al.* (2017) mencionan que en piña hubo una menor incidencia de plantas enfermas por pudriciones por la aplicación pre siembra de concentraciones mayores de *T. harzianum* encontrándose una correlación negativa entre las dosis y la incidencia de plantas enfermas.

Según Gianinazzi *et al.* (2010) las micorrizas arbusculares constituyen un grupo funcional de la biota de suelo que puede contribuir grandemente a la productividad de los cultivos y ecosistemas sostenibles en la estrategia de producción de cultivos.

Gianinazzi *et al.* (2010) indican que el efecto benéfico de las micorrizas en el desarrollo de plantas y salud del suelo y son esenciales para el manejo sostenible de ecosistemas agrícolas y que aun cuando no hay un efecto positivo inmediato de las micorrizas en el crecimiento de las plantas, rendimiento o una reducción en el desarrollo de la enfermedad puede reducir las poblaciones del patógeno en el suelo y puede tener un impacto positivo en los próximos cultivos.

4.3 Fundamentación agroecológica del estudio

Nicholls *et al.* (2015) mencionan que en la agroecología existen seis principios que pueden ser aplicados mediante prácticas y estrategias y cada uno tiene diferentes efectos sobre la productividad, estabilidad y resiliencia. Estos principios agroecológicos fueron presentados por Altieri (1995) y Gliessman (1998) y son los siguientes:

1. Mejorar el reciclaje de biomasa, con el fin de optimizar la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo
2. Fortalecer el “sistema inmunológico” de los sistemas agrícolas mediante el mejoramiento de la biodiversidad funcional, enemigos naturales, antagonistas, etc. mediante la creación de hábitats adecuados.
3. Proporcionar las condiciones del suelo más favorables para el crecimiento de las plantas, mediante la adición de materia orgánica y el aumento de la actividad biológica del suelo
4. Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos mediante el mejoramiento, conservación y regeneración de los recursos suelo y agua y biodiversidad agrícola

5. Diversificación de especies y de recursos genéticos en el agroecosistema a través del tiempo, espacio y paisaje

6. Aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la diversidad biológica agrícola, promoviendo así los procesos y servicios ecológicos claves

Este estudio está basado en tres de estos principios (2, 3 y 6). El segundo principio promueve el aumento de la biodiversidad funcional para fortalecer el sistema de defensa de la planta, tal como lo realizan *Trichoderma* y micorriza. Wezel *et al.* (2014) indica que el uso de bioplaguicidas es una práctica agroecológica que reemplaza el uso de pesticidas sintéticos. Esto incluye la aplicación de bacterias, inoculantes de HMA u otros hongos que pueden controlar organismos nocivos.

El tercer principio indica que se deben proporcionar mejores condiciones al suelo a partir de materia orgánica y actividad biológica, el uso de Biogreen y Humega, contribuyen a mejorar los agregados del suelo y aumentar la cantidad de materia orgánica del suelo. La materia orgánica según Cairo y Fundora (1994) constituyen una fuente nutritiva para los organismos heterotróficos del suelo. Biogreen, según ABONICSA (2020) mejora las condiciones físicas y biológicas del suelo y estimula el desarrollo de las plantas.

La aplicación de *Trichoderma*, micorriza, Biogreen y Humega aumentan las interacciones y la diversidad biológicas agrícola promoviendo los procesos y servicios ecológicos tal como lo plantea el sexto principio. Malézieux (2017) señala que uno de los principios de la agroecología es fortalecer las relaciones biológicas en los agrosistemas introduciendo diversidad funcional a diferentes escalas, incluye el análisis y optimización de regulaciones biológicas entre plantas e interacción. (Gliessman, 1998) indica que biodiversidad funcional de un agroecosistema presta servicios ecológicos como fertilidad de suelo y regulación de plagas, reduciendo la necesidad de insumos agrícolas externos

La reconversión agroecológica de un agroecosistema comprende tres etapas de transición según MacRae *et al.* (1990): 1. El aumento de la eficiencia en la utilización de insumos mediante el manejo integrado de plagas o el manejo integrado de la fertilidad del suelo; 2. La sustitución de insumos con impacto ambiental por aquellos que son más benignos para el medio ambiente y 3. Rediseño del sistema. Las prácticas agroecológicas utilizadas en este ensayo (utilización de fertilizantes orgánicos, uso de hongos antagonistas y simbiosis) forman parte de las etapas uno y dos del proceso de conversión y están ligadas a tres principios agroecológicos

Al momento de definir una estrategia agroecológica para el manejo de mal seco debe considerarse el uso de controladores biológicos como *Trichoderma* y micorrizas. Aplicaciones de *Trichoderma* en altas concentraciones, previo a la siembra, y el uso de aislados de micorrizas colectadas viviendo en asocio con quequisque, pueden ejercer un control temprano de *P. myriotylum* contribuyendo a la mejora y sostenibilidad de la producción de quequisque sin causar daños al medio ambiente y hasta llegar a la reconversión agroecológica mediante la diversificación incluyendo especies vegetales y animales para favorecer las asociaciones de tal forma que se pueda crear un equilibrio en el sistema capaz de controlar las afectaciones de mal seco

V. CONCLUSIONES

- La aplicación conjunta de *Trichoderma harzianum* y Humega (Th+H) en Los Ángeles, Nueva Guinea, registró el mayor rendimiento estimado y real (14.27 y 12.83 t ha⁻¹ respectivamente), superior a los obtenidos en Río Plata (6.5 y 5.4 t ha⁻¹).
- En Los Ángeles, Nueva Guinea, los tratamientos desarrollaron plantas de mayor altura, con mayor número de hojas de mayor tamaño y con rendimientos superiores que en las plantas desarrolladas en Río Plata. Posiblemente las condiciones del sitio del ensayo en Los Ángeles (mayor pendiente, menor encharcamiento, un solo ciclo cultivado anteriormente) limitaron el desarrollo del patógeno y su afectación en el ensayo.
- En La Cruz Verde, San Carlos-Río San Juan, los tratamientos con *Trichoderma asperellum* (Ta), micorriza (Mc) y la combinación de *Trichoderma harzianum* y micorriza (Th-Mc) presentaron mayores rendimientos promedio y estimado. El uso de estos biocontroladores pueden ser una alternativa en el manejo agroecológico del mal seco.

VI. RECOMENDACIONES

- Establecer ensayos en áreas donde no se haya registrado la enfermedad para determinar el efecto de *Trichoderma* y Micorrizas en el crecimiento y rendimiento del cultivo de quequisque sin presión del mal seco.
- Evaluar el efecto sobre el mal seco con la aplicación de *Trichoderma* spp. y micorrizas en forma crónica y en mayores concentraciones.

VII. LITERATURA CITADA

- ABONICSA (Abonos de Nicaragua). 2012. Biogreen (en línea). consultado 10 may. 2020. Disponible en: <http://elgranjero.com.ni/productos/2/abono-organico/>
- Acebedo, JA; Navarro, ER. 2010. Efectos del mal seco (*Pythium myriotylum* Drechs) en campo y sombreadero sobre la agromorfología de 15 accesiones de quequisque (*Xanthosoma* spp.), desarrollo de síntomas y detección microbiológica. Tesis de Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 37 p.
- Adams, PB. 1990. The potential of mycoparasites for biological control of plant diseases. *Annual review of phytopathology*, 28(1), 59-72.
- Adiobo, A. 2006. Biological control of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott) root rot disease caused by *Pythium myriotylum* Dreschl: importance of soil organic matter content and cultural practices. Doctoral thesis applied Biological Sciences: Agricultural Sciences. 181 P.
- Adiobo, A; Oumar, O; Perneel, M; Zok, S; Hofte, M. 2007. Variation of *Pythium*-induced cocoyam root rot severity in response to soil type. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 2915-2925.
- Agueguia, A. 1993. Non-destructive estimation of leaf area in cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). *J. Agronomy & crop science* 171, 138-141.
- Altieri, M. sf. Agroecología: Principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. Universidad de California, Berkeley. 192 p.
- Altieri, MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. CRC Press.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa para las Naciones Unidas para el medio ambiente. México D.F, MX. 250 p.
- Amer, MA; Abou-El-Seoud, II. 2008. Mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* as biocontrol agents for suppression of *Rhizoctonia solani* damping-off disease of tomato. *Commun Agric Appl Biol Sci*; 73(2), 217-23
- Artavia, S; Uribe, L; Saborío, F; Arauz, LF; Castro, L. 2010. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense*, 34(1), 17-29.
- Benítez, T; Rincón, AM; Limón, MC; Codón, AC. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International microbiology*. 7: 249-260.
- Blay, ET; Offei, SK; Danquah, EY; Amoatey, HA; Asare, E. 2004. Improvement of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) using gamma irradiation and tissue culture. En: Genetic improvement of under-utilized and neglected crops in low income food deficit countries (LIFDCS) through irradiation and related techniques. Viena, AR. pp. 127-130.

- Cairo Cairo, P; Fundora Herrera, O. 1994. Edafología. La Habana, CU. Pueblo y Educación. P. 64-93
- Carcache Torres, J; Díaz Mayorga, DA. 2011. Efecto de enmiendas orgánicas, trichoderma, microorganismos eficientes y metalaxil en el manejo de mal seco (*Pythium myriotylum* Drechs) en quequisque (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) en suelo infectado en maceteras, mayo 2009-octubre 2010. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- CENAGRO (Censo Nacional Agropecuario). 2012. Informe final IV censo agropecuario.
- CETREX (Centro de Trámite de las Exportaciones). 2017. Exportaciones de raíces y tubérculos por país de destino, 2006-2016 (en línea). Consultado 15 jul 2017. Disponible en: <http://www.cetrex.gob.ni/Portalestadistico/>
- Cuéllar, AE; Martínez, LR; Espinosa, RR; Cuéllar, EE. 2015. Efecto del Nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado. Centro Agrícola, 42(2), 39-46.
- Datnoff, LE; Nemeček, S; Pernexny, K. 1995. Biological control of Fusarium crown and root rot of tomato in Florida using *Trichoderma harzianum* y *Glomus intraradices*. Biological control 5, 427-431
- Dehariya, K; Shukla, IA; Vyas, D. 2015. *Trichoderma* and arbuscular Mycorrhizal Fungi Based Biocontrol of *Fusarium udum* Butler and Their Growth Promotion Effects on Pigeon Pea. J. Agr. Sci. Tech 17, 505-517.
- Devaki, NS; Shankara Bath, S; Bhat SG. Manjunatha, KR. 1992. Antagonistic activities of *Trichoderma harzianum* against *Pythium aphanidermatum* and *Pythium myriotylum* on Tobacco. Phytopathology. pp 82-87.
- Djeuani AC; Desire, MH; Denis, ON. 2018. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the dynamics of hydrogen peroxide, the activities of catalase, ascorbate peroxidase and Guaiacol peroxidase in *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott rhizome and root during growth. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 12 (5) 1-15.
- Eastburn, DM; Butler, EE. 1988. Microhabitat characterization of *Trichoderma harzianum* in natural soil: evaluation of factors affecting population density. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(4), 541-545.
- FAO (Food Agricultural Organization). 2019. FAOSTAT-Base de datos Producción. (en línea). Roma, Italia. Consultado 02 jun 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Gerdemann, JW. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual review of phytopathology*, 6(1), 397-418.
- Gianinazzi, S; Gollotte, A; Binet, MN; Tuinen, DV; Redecker, D; Wipf, D. 2010. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhizas. Springer.

- Gliessman, SR. 1998. Agroecología procesos ecológicos en agricultura sostenible.
- Global Organics Group. sf. Humega. Brochure informativo Humega restaurador orgánico de suelos agrícolas. 5 p.
- Gómez- Alpizar, L; Saalau, E; Picado, I; Tambong, JT; Saborío, F. 2010. A PCR-RFLP assay for identification and detection of *Pythium myriotylum*, causal agent of the cocoyam root rot disease. *Letters in Applied Microbiology*, 52, 185-192.
- Green, H; Larsen; Olsson, PA; Jensen; DF Jakobsen, I. 1999. Suppression of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Mycelium of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices* in Root-Free Soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(4), 1428-1434.
- GRUN (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional). 2017. Plan de producción consumo y comercio ciclo 2017-2018. 99 p.
- Guédez, C; Cañizález, L; Castillo, C; Olivar, R. 2009. Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria* spp). En: Revista de la sociedad Venezolana de microbiología. 29. p. 34-38.
- Hendrix, FF; Campbell, WA. 1973. *Pythiums* as plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 11: 77-98
- Howell, CR. 2003. Mechanisms Employed by *Trichoderma* Species in the Biological Control of Plant Diseases: The History and Evolution of Current Concepts. *Plant disease*. Vol 87. No 1. 10 p.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2017. Resumen meteorológico anual San Carlos.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2000. El cultivo de quequisque. Guía tecnológica, Managua, Nicaragua. 24 pp.
- Jefries, P; Barea, JM. 2012. Arbuscular mycorrhiza—a key component of sustainable plant-soil ecosystems. In *Fungal Associations* (pp. 51-75). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lebot, V. 2009. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids. *Crop production and sciences horticulture*, 17.
- Lekberg, Y; Koide, RT. 2008. Effect of soil moisture and temperature during fallow on survival of contrasting isolates of arbuscular mycorrhizal fungi. *Botany*. 86: 1117-1124
- Lindermann, RG. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78 (3): 366-371.
- López, M, Vásquez, E; López, R. 1984. Raíces y tubérculos. Pueblo y Educación, Universidad Central de Las Villas, Cuba. 312 pp.
- Malézieux E. 2017. Agroecology, a 21st century agricultural revolution?. In : Agroecological crop protection. Deguine Jean-Philippe (ed.), Gloanec Caroline (ed.),

Laurent Philippe (ed.), Ratnadass Alain (ed.), Aubertot Jean-Noël (ed.). Dordrecht : Springer-Ed. Quae, ISBN 978-94-024-1184-3

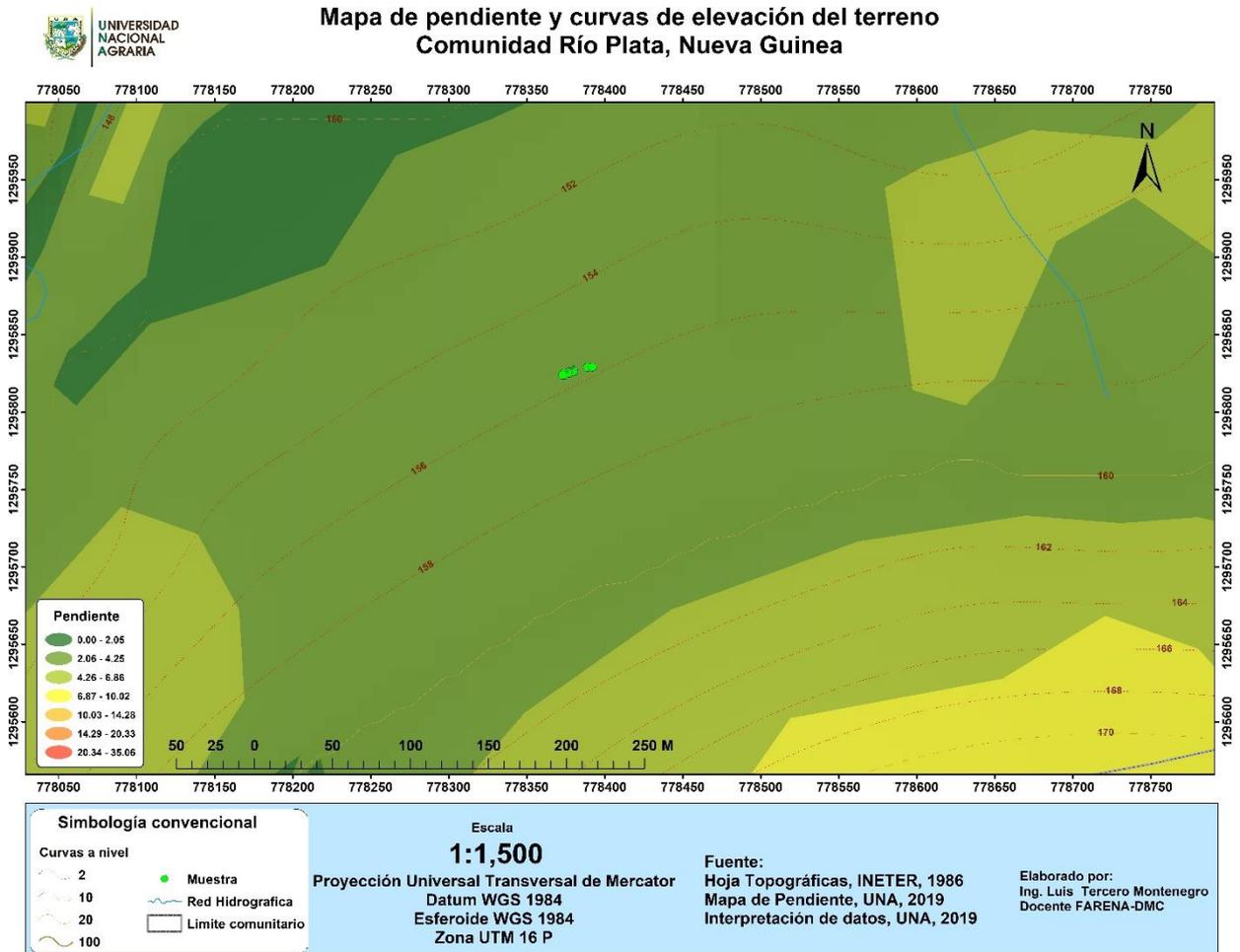
- Marksim. 2019. Marksim DSSAT weather file generator (en línea). consultado 30 ene. 2019. <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarksimGCM/#tabs-1>
- Martínez-Medina, A; Pascual, JA; Loret, E; Roldán, A. 2009. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* and their effects on fusarium wilt in melon plants grown in seedling nurseries. *J Sci Food Agric* 89, 1843–1850
- Mbarga, JB; Martijn Ten Hoopen, G; Kuate, J; Adiobo, A; Ngonkeu, MEL; Ambang, Z; Akoa Tondje, PR; Begoude, BAD. 2012. *Trichoderma asperellum*: A potential biocontrol agent for *Pythium myriotylum*, causal agent of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) root rot disease in Cameroon. En: Elsevier. *Crop protection* 36. p. 18-22
- MacRae, RJ; Hill, SB; Mehuys, GR; Henning, J. 1990. Farm-scale agronomic and economic -conversion from conventional to sustainable agriculture. In *Advances in agronomy*. 43, 155-198.
- Mwangi, M; Monda, E; Okoth, S; Jefwa, JM. 2011. Inoculation of tomato seedlings with *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi and their effect on growth and control of wilt in tomato seedlings. *Journal of Microbiology* 42, 508-513.
- Naseby, DC; Pascual, JA; Lynch, JM. 2000. Effect of biocontrol strains of *Trichoderma* on plan growth, *Pythium ultimum* populations, soil microbial communities and soil enzyme activities. UK
- Nzietchueng, S. 1984. Root rot of *Xanthosoma sagittifolium* caused by *Pythium myriotylum* in Cameroon. In *Tropical root crops: production and uses in Africa: proceedings of the Second Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch held in Douala, Cameroon, 14-19 Aug. 1983*. IDRC, Ottawa, ON, CA.
- Onwueme, IC; Charles, WB. 1994. Cultivation of cocoyam. En: *Tropical root in tuber crops. Production, perspectives and future prospects*. FAO plant production and protection paper 126, Rome, pp. 139-161.
- Papavizas, GC. 1985. *Trichoderma* and *Gliocladium*: biology, ecology, and potential for biocontrol. *Annual review of phytopathology*, 23(1), 23-54.
- Perneel, M. 2006. The root rot pathogen *Pythium myriotylum* on cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott): interespecific variability and biological control. ISBN 97-8905-98914-94.
- Picado, I; Tambong, JT; Saborío F; Gomes, L. 2008. Phylogenetic relationships between *Pythium myriotylum* isolates from cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) and *P. myriotylum* from other host crops and other species of *Pythium* based on cytochrome oxidase I, cytochrome oxidase II and β -Tubulin gene sequences. Centro de investigación Agronómico. Costa Rica.

- Pozo, MJ; Cordier, C; Gumaz-Gaudot, E; Gianinazzi, S; Barea, JM; Azcón-Aguilar, C. 2001. Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defense responses to Phytophthora infection on tomato plants. *Journal of Experimental Botany* 53, 525-534.
- Reddy, P. P. 2015. *Plant protection in tropical root and tuber crops*. New Delhi: Springer India.
- Reyes, G. 2006. *Studies on cocoyam (Xanthosoma spp.) in Nicaragua, with emphasis on Dasheen mosaic virus*. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala 35 p.
- Ruiz Martínez, L; Carvajal Sánchez, D; Espinosa Cuellar, E; Simó González, J; Rivera Espinoza, R; Espinosa Cuellar, A. 2015. Efecto de las micorrizas y bioplaguicidas sobre cultivares de raíces y tubérculos en un suelo pardo mullido carbonatado. *Rev. Agricultura Tropical* 1, 1: 1-6
- Sabando-Ávila, F; Molina-Atiencia, LM; Garcés-Fiallos, FR. 2017. *Trichoderma harzianum* en pre-trasplante aumenta el potencial agronómico del cultivo de piña. *Revista brasileira de ciencias agrarias*. 12: 4, 410-414.
- Saborío, F; Umaña, G; Solano, W; Amador, P; Muñoz, G; Valerin, AT; Torres, S; Valverde, R. 2004. Induction of genetic variation in *Xanthosoma* spp. in Genetic improvement of under-utilized and neglected crops in low income food deficit countries through irradiation and related techniques. *FAO- IAEA*. 143-154
- Sanders, I. 2002. Ecology and Evolution of Multigenomic Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *The American Naturalist*, 160(S4), S128-S141. doi:10.1086/342085
- Schüßler, A; Walker, C. 2010. *The Glomeromycota: a species list with new families and new genera*. The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University, 19
- Sennoi, R; Singkham, N; Jogloy, S; Boonlue, S; Saksirirat, W; Kesmala, T; Patanothai, A. 2013. Biological control of southern stem rot caused by *Sclerotium rolfsii* using *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi on Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Crop protection* 54, 148-153.
- Sequeira Orozco, MI; Silva Mendoza, ZT. 2010. Manejo de mal seco (*Pythium myriotylum*) en quequisque (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) mediante la siembra tardía, control de arvenses, enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. en Nueva Guinea, Nicaragua. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA. Singh, BK. 2002. Fertilización foliar de cultivos con ácidos húmicos. Memoria Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Eds. Meléndez y Molina. P. 101-106.
- Stockinger, H; Walker, C; Schubler, A. 2009. *Glomus intraradices* DAOM197198', a model fungus in arbuscular mycorrhiza research, is not *Glomus intraradices*. *New phytologist* 183. 1176-1187.
- Tercero Montenegro, L. 2019a. Mapa de pendientes y curvas de elevación del terreno comunidad Río plata, Nueva Guinea. UNA. Esc. 1:1.500. Color

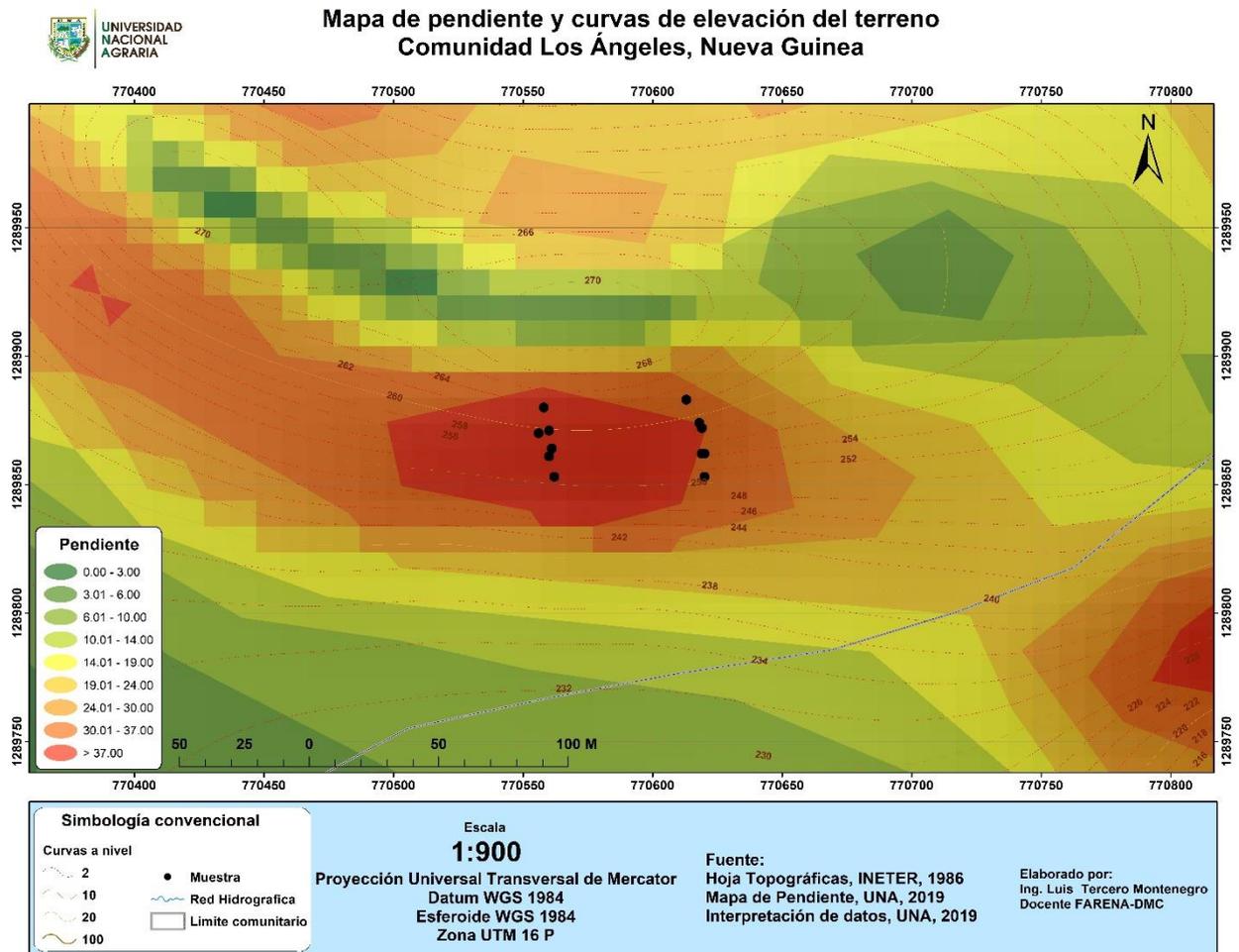
- Tercero Montenegro, L. 2019b. Mapa de pendientes y curvas de elevación del terreno comunidad Los Ángeles, Nueva Guinea. UNA. Esc. 1:900. Color
- Tchameni, SN; Cotârleț, M; Ghinea, IO; Bedine, MAB; Sameza, ML Borda, D; Dinică, RM. 2019. Involvement of lytic enzymes and secondary metabolites produced by *Trichoderma* spp. in the biological control of *Pythium myriotylum*. *International Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s10123-019-00089-x>
- Thangavelu, R; Gopi, M. 2015. Combined application of native *Trichoderma* isolates possessing multiple functions of the control of *Fusarium* wilt disease in banana cv. Grand Naine. En: *Biocontrol science and technology*. Vol 25, No 10. p. 1147-1164
- Tisserant, E; Malbreil, M; Kuo, A; Kohler, A; Symeonidi, A; Balestrini, R; Charron, P; Duensing, N; Frei dit Frey, N; Gianinazzi-Pearson, V; Gilbert L; Handa, Y; Herr, J; Hijri, M; Koul, R; Kawaguchi, M; Krajinski, F; Lammers, P; Masclaux, F; Murat, C; Morin, E; Ndikumana, S; Pagni, M; Petitpierre, D; Requena, N; Rosikiewicz, P; Riley, R; Saito, K; San Clemente, H; Shapiro, H; Tuinen, D; Bécard, G; Bonfante, P; Paszkowski, U; Shachar-Hill, Y; Tuskan, G; Young, P; Sanders, I; Henrissat, B; Rensing, S; Grigoriev, I; Corradi, N; Roux, C; Martin. F. 2013. Genoma of an arbuscular mycorrhizal fungus provides insight into the oldest plant symbiosis. *PNAS* 110. 20117-20122.
- Tsafack, JJ; Gilbert, C. 2014. Improvement strategies for cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schoot): conventional breeding to tissue culture technology. En: *Bulbous plant Biotechnology*. Ed. K. W. Ramawat y J. M. Mérillon. p. 75-91.
- Weimbaum, BS; Allen, MF. 1996. Survival of mycorrhizas fungi following reciprocal transplanting across the great basin, USA. *Ecological application*. 6: 14, 1365-1372
- Wezel, A; Casagrande, M; Celette, F; Vian, JF; Ferrer, A; Peigné, J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 34(1), 1-20.
- Young, JP. 2012. A molecular guide to the taxonomy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New phytologist* 193: 823-826.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de pendiente y elevaciones de terreno de la localidad Río Plata en Nueva Guinea (Tercero, 2019a).



Anexo 2. Mapa de pendiente y elevaciones de terreno de la localidad Los Ángeles en Nueva Guinea (Tercero, 2019b).



Anexo 3. Ficha de recepción de muestras para análisis patológico.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL

Ficha de recepción de Muestras para análisis patológico (Hongos, Bacterias y Nemátodos)

I. INFORMACION GENERAL

Fecha _____ Muestra N° _____ Dpto./Municipio _____
 Localidad _____ Fecha de recolección de la muestra _____
 Cultivo _____ Variedad _____
 Edad de la plantación _____ Etapa _____ Área Sembrada _____
 Descripción de síntomas _____

Parte de la planta afectada/ análisis de suelo

Raíz _____ Yemas _____ Suelo _____ Tallo _____
 Flor _____ Otro _____ Follaje _____ Semillas _____
 Ramas _____ Frutos _____

Distribución de la enfermedad

En focos _____ Uniforme _____
 Porcentaje de la infección de la enfermedad _____

II. MANEJO DEL CULTIVO

Cultivo anterior _____
 Tipo de suelo: Arcilloso _____ Franco _____ Arenoso _____ Otro _____
 Pendiente _____ Plano _____ Quebrado _____

Uso de agroquímicos

Fecha/aplicación	Producto	Dosis	Forma de aplicación

Sistema de riego
 Aspersión _____ Goteo _____ Gravedad _____ Otro _____

Tipo de labranza
 Convencional _____ Mínima _____ Vientos _____ Otro _____

Condiciones ambientales dos semanas antes del problema
 Temperatura _____ Humedad _____ Vientos _____ Otro _____

III. PROBLEMAS FITOSANITARIOS A NIVEL DEL VIVERO

Desinfección del Suelo
 Vapor _____ Química _____ Calor _____ Otro _____ Drenaje _____

Uso de Sombra
 Alta _____ Media _____ Baja _____ Otro _____

Descripción del problema (Síntomas)

Manejo de vivero

IV. INFORMACIÓN DEL CENTRO DE DIAGNÓSTICO

Nombre de la persona responsable del diagnóstico _____

Institución _____
 Dirección _____
 Teléfono _____

Adelanto del pago de diagnóstico (50%) _____
 Nombre de la persona que decepcionó la muestra _____
 Fecha de entrega de resultados _____

Anexo 4. Plano de campo y medidas del ensayo establecido en la localidad Río Plata en Nueva Guinea.

RÍO PLATA

βIII	Trichoderma 1	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 1	Testigo
BII	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 2	Testigo	Humega + Trichoderma 1	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 1
BI	Testigo	Trichoderma 1	Humega + Trichoderma 2	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 1

Área de ensayo: 1547 m²

Área de Tratamiento: 65 m²

Largo de tratamiento: 10 m

Ancho de tratamiento: 6.5 m

Espacio entre planta: 0.7 m

Espacio entre surco: 1.3 m

Espacio entre bloque: 2 m

Anexo 5. Plano de campo y medidas del ensayo establecido en la localidad Los Ángeles en Nueva Guinea.

LOS ANGELES

βIII	Trichoderma 1	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 1	Testigo
BII	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 2	Testigo	Humega + Trichoderma 1	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 1
BI	Testigo	Trichoderma 1	Humega + Trichoderma 2	Biogreen + Trichoderma 2	Trichoderma 2	Humega + Trichoderma 1

Área de ensayo: 1798 m²

Área de Tratamiento: 72 m²

Largo de tratamiento: 8 m

Ancho de tratamiento: 9 m

Espacio entre planta: 0.7 m

Espacio entre surco: 1 m

Espacio entre tratamiento: 2m

Espacio entre bloque: 2 m

Anexo 6. Mapa de campo de ensayo establecido en la localidad La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.

Biotor Mico	Mico	Testigo	UNA	Biotor	UNA Mico
UNA	Testigo	Biotor	UNA Mico	Biotor Mico	Mico
Biotor	UNA Mico	Mico	Biotor Mico	UNA	Testigo
UNA Mico	Biotor Mico	UNA	Testigo	Mico	Biotor

Dimensiones

Distancia entre planta y planta: 0.8 m

Distancia de surco: 8 m

Distancia entre bloque: 2 m

Número de surcos por tratamiento: 6

Número de plantas por Surco: 11

Número de plantas por tratamiento: 66

Anexo 7. Informe de resultados del análisis microbiológico realizado en las áreas donde se establecieron ensayos en las localidades Río Plata y Los Ángeles en Nueva Guinea.



Universidad Nacional Agraria
Facultad de Agronomía
Departamento de Protección Agrícola y Forestal

Managua, 22 de octubre 2012

Cultivo: Quequisque *Xanthosoma* sp. (Raíces)

Departamento: Nueva Guinea (RAAS)

INFORME DE RESULTADOS

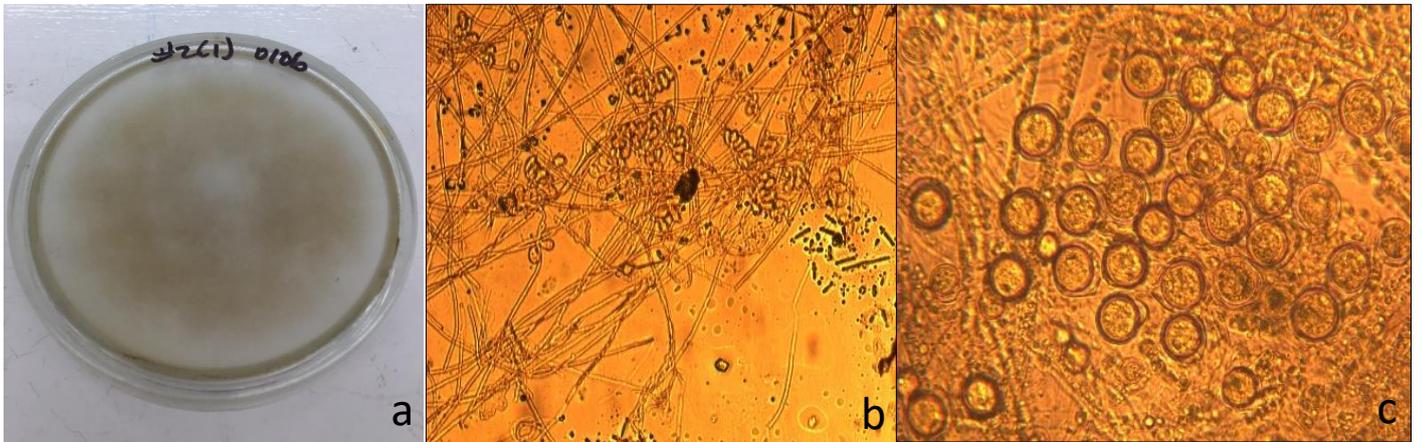
**RESULTADOS DE ANÁLISIS MICOLÓGICO DE TEJIDO VEGETAL
 (Hongos y bacterias)**



Muestra	Género de Bacterias	Género de Hongos
Guinea Vieja # 1	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Oomicetos</i>
Guinea Vieja # 2	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium myriotylum, Rizoctonia, Oomicetos</i>
Guinea Vieja # 3	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum, micrococos</i>	<i>Fusarium, Rizoctonia multinucleada</i>
Guinea Vieja # 4	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Oomicetos</i>
Guinea Vieja # 5	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Oomicetos</i>
Río plata # 1	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium spp, Fusarium</i>
Río plata # 2	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum, micrococus.</i>	<i>Oomicetos</i>
Río plata # 3	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium myriotylum</i>
Río plata # 4	<i>Streptomices, Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium myriotylum,</i>
Río plata # 5	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Rizoctonia</i>
INTA # 1	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Pythium sp</i>
INTA # 2	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum, Erwinia sp.</i>	<i>Fusarium, Pythium sp</i>

INTA # 3	<i>Bacilos sp, Rasltonia solanacearum,</i>	<i>Chaetomium,Pythium/sp , Fusarium</i>
INTA # 4	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium sp</i>
INTA # 5	<i>Bacilos sp, Rasltonia solanacearum, Erwinia sp.</i>	<i>Pythium sp ,Fusarium</i>
Ceiba # 1	<i>Streptomices, Rasltonia solanacearum</i>	<i>Macrophomina , Colectotrichum, Tilosporium</i>
Ceiba # 2	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Macrophomina , Fusarium</i>
Ceiba # 3	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium myriotylum , Collectotrichum falcatum , Clamidioporum</i>
Ceiba # 4	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium , Phoma, Macrophomina</i>
Ceiba # 5	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Pythium sp</i>
Esperanza # 1	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Pythium sp, Rizoctonia</i>
Esperanza # 2	<i>Streptomices, Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium sp. , Rizoctonia</i>
Esperanza # 3	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Macrophomina</i>
Esperanza # 4	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Fusarium, Pythium sp</i>
Esperanza # 5	<i>Streptomices, Rasltonia solanacearum, Pseudomonas Fluorescens</i>	<i>Fusarium</i>
Los ángeles # 1	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Macrophomina , Fusarium</i>
Los ángeles #2	<i>Streptomices, Rasltonia solanacearum, Pseudomonas Fluorescens</i>	<i>Pythium myriotylum, Rizoctonia, Oomicetos</i>
Los ángeles #3	<i>Streptomices, Bacilos sp., Rasltonia solanacearum</i>	<i>Pythium myriotylum,</i>
Los ángeles #4	<i>Bacilos sp, Rasltonia solanacearum, Erwinia sp</i>	<i>Macrophomina , Coletotrichum, Tilosporium</i>
Los ángeles #5	<i>Bacilos sp., Rasltonia solanacearum.</i>	<i>Pythium sp. , Rizoctonia</i>
Name	<i>Erwinia sp, Rasltonia solanacearum,</i>	<i>Negativo</i>

Anexo 8. Estructuras morfológicas de *Pythium myriotylum* Dreschler. Observadas en el microscopio e identificadas mediante claves taxonómicas, aislado del ensayo establecido en la comarca La Cruz Verde, San Carlos, Río San Juan.



a) Crecimiento de *Pythium myriotylum* en medio de cultivo V8+PARB, b) hifas cenocíticas y esporangios, c) oogonios de *Pythium myriotylum*