



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Maestría en Ciencias en Sanidad Vegetal

Trabajo de Tesis

**Evaluación fitosanitaria y del rendimiento de
tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en
El Jicaral, León, 2020**

Autora

Ing. Ana María Matamoros Cano

Asesor

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Managua, Nicaragua
Abril, 2022





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Maestría en Ciencias en Sanidad Vegetal

Trabajo de Tesis

**Evaluación fitosanitaria y del rendimiento de
tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en
El Jicaral, León, 2020**

Autora

Ing. Ana María Matamoros Cano

Asesor

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Maestro en Ciencias

Managua, Nicaragua

Abril, 2022



Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Maestro en Ciencias en Sanidad Vegetal

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: Managua, Nicaragua 20 de Abril 2022

DEDICATORIA

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender esta dedicatoria a quienes me apoyaron en hacer posible este sueño, aquellos que junto a mí en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Esta mención es dedicada en especial a Dios, a mi padre que en paz descansa Ernesto Matamoros; quien me condujo en esta vida, para lograr alcanzar mis metas. Pero Dios que todo lo dispone le hizo el llamado a su presencia el día 18 de junio 2021. Por tanto, ya no podré tener su compañía en esta ocasión muy especial.

También es dedicada a mis hijos, esposo y a mi madre; por demostrarme que el verdadero amor no es otra cosa, que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere.

Esta tesis se la dedico a mi asesor, Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz y a cada docente que con su apoyo y enseñanza forman la base fundamental de mi vida profesional.

Ing. Ana María Matamoros Cano

AGRADECIMIENTO

Agradezco, primeramente, a Dios, por permitirme culminar mis estudios, a la Universidad Nacional Agraria (UNA), por haberme abierto sus puertas y aceptar ser parte de ella y así poder estudiar mi maestría.

También le doy las gracias a los diferentes docentes que me brindaron sus sabias enseñanzas, en especial a mi asesor, Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a sus capacidades, conocimientos científicos, como también haberme tenido la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Mi agradecimiento también va dirigido a todos mis compañeros en el sector laboral que me apoyaron en la realización de mi tesis en prestigiosa empresa Melones de Nicaragua, S.A. (Melonicsa)

Para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clases, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo que aportaron en un alto porcentaje a mis ganas de salir adelante en mi carrera profesional.

Gracias infinitas a Todos.

Ing. Ana María Matamoros Cano

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. El cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	4
3.1.1. Origen, clasificación y botánica	4
3.1.2. Importancia nutricional del arroz	7
3.2. Problemas fitosanitarios en arroz	8
3.2.1. Plagas insectiles	8
3.2.2. Malezas en el arroz	9
3.2.3. Enfermedades del arroz	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1. Ubicación del estudio	16
4.2. Diseño metodológico	16
4.2.1. Características de las variedades de arroz	17
4.2.2. Manejo del experimento	18
4.3. Variables evaluadas	21
4.3.1. Variables de crecimiento, desarrollo y de rendimiento	21
4.3.2. Variables fitosanitarias	23
4.4. Recolección de datos	25
4.5. Análisis de datos	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1. Intensidad de las enfermedades	27

5.1.1. Severidad de las enfermedades en la variedad Lazarroz FL	27
5.1.2. Severidad de las enfermedades en la variedad Puita INTA-CL	28
5.1.3. Severidad de las enfermedades en la variedad Palmar 18	29
5.2. Fluctuación poblacional de sogata (<i>Tagosodes orizicolus</i>)	34
5.3. Rendimiento de las variedades evaluadas	37
VI. CONCLUSIONES	41
VII. RECOMENDACIONES	42
VIII. LITERATURA CITADA	43
IX. ANEXOS	50

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Valores promedios de severidad final de <i>R. solani</i> , <i>Gaeumannomyces</i> spp., y <i>P. oryzae</i> en las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18	29
2. Número promedio de ninfas y adultos de sogata (<i>T. orizicolus</i>) en las variedades de arroz Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18	32
3. Descripción de la altura de planta (AP), número de plantas por metro cuadrado (NP m ⁻²) y número de macollas por metro cuadrado (NM m ⁻²) en tres variedades de arroz	35
4. Número de panículas por metro cuadrado (NPA m ⁻²), número de granos totales por panícula (NGTPA), porcentaje de granos llenos (PGrLl) y peso de 1 000 granos (PeMGr) en gramos	36
5. Rendimiento de las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18 expresado en kilogramos por hectárea (kg ha ⁻¹) y toneladas por hectárea (t ha ⁻¹).	36

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Representación esquemática de las vías evolutivas del arroz asiático y africano cultivado (Adaptado de Dunna y Roy, 2013)	4
2.	Esquema del procedimiento de muestreo para la recolección de datos de plagas insectiles y patógenos	17
3.	Curvas de progreso del añublo de la vaina (<i>R. solani</i>) y del mal del pie (<i>Gaeumannomyces</i> spp) en la variedad Lazarroz FL	26
4.	Curvas de progreso del añublo de la vaina (<i>R. solani</i>) y del mal del pie (<i>Gaeumannomyces</i> spp) en la variedad Puita INTA-CL	27
5.	Curvas de progreso del añublo de la vaina (<i>R. solani</i>), del mal del pie (<i>Gaeumannomyces</i> spp) y piriculariosis (<i>P. oryzae</i>) en la variedad Palmar 18	28
6.	Valores de severidad promedio de las enfermedades añublo de la vaina (<i>R. solani</i>), mal del pie (<i>Gaeumannomyces</i> spp) y piriculariosis (<i>P. oryzae</i>) en las variedades de arroz	29
7.	Valores del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción variedades × patógenos	30
8.	Fluctuación de ninfas de sogata en las variedades de arroz (Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18)	33
9.	Fluctuación de adultos de sogata en las variedades de arroz (Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18)	34

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Localización del experimento en la localidad El Jicaral, municipio de León, Departamento de León	48
2.	Escala de severidad utilizada para la estimación y cálculo de la severidad de la enfermedad “mal del pie” causada por <i>Gaeumannomyces</i> spp (Echeverri Rico, 2016; Ospina e Higuera, 2008)	49
3.	Recolección de información de variables fitosanitarias y fenológicas en el cultivo de arroz	50

RESUMEN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un importante recurso nutricional y se enfrenta a varios desafíos para una producción sostenible como es la ocurrencia cada vez más severa de plagas, aplicaciones indiscriminadas de plaguicidas y una alta presión para aumentar el rendimiento. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de tres variedades (Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL) y su comportamiento ante las plagas insectiles y enfermedades más importantes del cultivo. Cada variedad se ubicó en unidades experimentales de una hectárea. En cada unidad experimental se ubicaron cinco estaciones de muestreo de un metro cuadrado, siguiendo un patrón de W. En cada estación se seleccionaron 10 plantas y en ellas se evaluó la severidad de *Rhizoctonia solani*, *Pyricularia oryzae* y *Gaeumannomyces* spp., la fluctuación poblacional de *Tagosodes orizicolus* y componentes de rendimiento. Todas las variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA). El ANDEVA reveló diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) en la severidad de las enfermedades. La severidad más alta se registró en la variedad Puita INTA-CL (16%) y Palmar 18 (15%), mientras que en la variedad Lazarroz FL la severidad fue de 7% y correspondieron a la enfermedad añublo de la vaina (*R. solani*). El número más alto de ninfas de sogata se registró en la variedad Puita INTA-CL con 3.9, mientras que el número más alto de adultos se observó en la variedad Palmar 18 con 2.7. En cuanto al rendimiento, no se encontró diferencias estadísticas significativas entre las variedades de arroz. En la variedad Lazarroz FL se obtuvo el rendimiento más alto (11.38 t ha⁻¹). El buen manejo agronómico y fitosanitario del cultivo contribuyó en el incremento del rendimiento.

Palabras clave: *Pyricularia oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Gaeumannomyces* spp., *Tagosodes orizicolus*, variedades, manejo agronómico

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is an important nutritional resource and faces several challenges for sustainable production, such as the increasingly severe occurrence of pests and indiscriminate pesticide applications, and high pressure to increase yield. In view of the above, the objective of this research was to evaluate the yield of three varieties (Lazarroz FL, Palmar 18 and Puita INTA-CL) and their behavior against the most important crop insect pests and diseases. Each variety was located in experimental units of one hectare. Five one square meter sampling stations were located in each experimental unit, following a W pattern. In each station, 10 plants were selected and the severity of *Rhizoctonia solani*, *Pyricularia oryzae* and *Gaeumannomyces* spp., the population fluctuation of *Tagosodes orizicolus* and yield components were evaluated. All the variables evaluated were subjected to an analysis of variance (ANOVA). ANOVA revealed significant differences ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) in the disease severity. The highest severity was recorded in the variety Puita INTA-CL (16%) and Palmar 18 (15%), while in Lazarroz FL the severity was 7% and corresponded to sheath blight disease (*R. solani*). The highest number of sogata nymphs was recorded in the Puita INTA-CL variety with 3.9, while the highest number of adults was observed in the Palmar 18 variety with 2.7. Regarding yield, no significant statistical differences were found between the varieties and the rice line. The highest yield was obtained in Lazarroz FL variety (11.38 t ha⁻¹). The good agronomic and phytosanitary crop management contributed to the yield increase.

Keywords: *Pyricularia oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Gaeumannomyces* spp., *Tagosodes orizicolus*, varieties, agronomic management

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un importante recurso nutricional y se cultiva a nivel mundial en alrededor de 153 millones de hectáreas (Chauhan, 2013). Se cultiva en al menos 114 países de todo el mundo y es un alimento básico para casi la mitad de la población mundial. La producción de arroz continúa siendo mayor en Asia, donde se cultiva el 90% de la cosecha, pero también se ha mantenido estable o en aumento en América, África y Europa (Katayama *et al.*, 2015).

Según las proyecciones de la ONU, la población mundial aumentará de seis a ocho mil millones entre 2000 y 2025, por lo que se deberá producir un 40% más de arroz para 2025 (Fahad *et al.*, 2018). Según las proyecciones de población e ingresos de la ONU, se estima que el requerimiento mundial de arroz aumentará de 439 millones de toneladas (arroz molido) en 2010 a 496 millones de toneladas (Mt) en 2020, y aumentará aún más a 555 Mt en 2035 (Fahad *et al.*, 2019).

Desde un punto de vista global, se deben enfrentar varios desafíos para una producción sostenible de arroz: i) ocurrencia cada vez más severa de plagas y aplicaciones indiscriminadas de plaguicidas; ii) alta presión para aumentar el rendimiento y el uso excesivo de fertilizantes; iii) escasez de agua y sequías más frecuentes; y iv) cultivo extensivo en tierras marginales (Zhang, 2007). El arroz es vulnerable a enfermedades donde sea que se cultive. Las estrategias de protección salvaguardan el 38% de la producción de arroz del ataque de plagas (Oerke, 2006).

Tres enfermedades se consideran las más devastadoras en la mayoría de las regiones productoras de arroz: el tizón bacteriano causado por *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, el añublo causado por *Pyricularia grisea* y el tizón de la vaina causado por *Rhizoctonia solani* (Zhang, 2007). En Nicaragua, estas tres enfermedades están presentes y hasta la fecha no se ha estimado cuanto es la pérdida en rendimiento ocasionado por estos patógenos.

En los últimos diez años en Nicaragua, según reportes de productores, una nueva enfermedad se está haciendo presente con mayor frecuencia en los campos de arroz. Esta enfermedad es

conocida como “mal del pie” o “pudrición parda de la vaina” y es causada por el hongo *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Von Arx y D. Olivier var. *graminis*, el cual fue identificado por primera vez en arroz cultivado en Florida en 1991 (Datnoff, 1993). Posteriormente, fue reportada en Brazil en el año 2002 (Peixoto *et al.*, 2013).

En vista de lo antes expuesto y teniendo en cuenta que como resultado del cambio climático muchos patógenos antes considerados secundarios hoy en día representan un serio peligro para los cultivos que garantizan la seguridad alimentaria y nutricional, con esta investigación se pretende evaluar el rendimiento de tres variedades de arroz comercial (*Oryza sativa* L.) y su comportamiento ante la presencia de plagas y enfermedades de importancia en el cultivo de arroz en la localidad El Jicaral, León en el ciclo 2020.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de tres enfermedades fungosas, una plaga insectil y los componentes del rendimiento en tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en la localidad de El Jicaral, León en el ciclo 2020.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la intensidad de las enfermedades causadas por *Rhizoctonia solani* AG1-1A Kühn, *Pyricularia oryzae* Cavara y *Gaeumannomyces* spp., (Sacc.) von Arx & D. Olivier en las variedades Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL en El Jicaral en el ciclo 2020.
- Estimar la fluctuación poblacional de *Tagosodes orizicolus* Muir (1926) en las variedades de arroz Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL en El Jicaral en el ciclo 2020.
- Determinar el rendimiento de las variedades de arroz Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL ante la presencia de *Rhizoctonia solani*, *Pyricularia oryzae* y *Gaeumannomyces* spp., y *Tagosodes orizicolus* en El Jicaral en el ciclo 2020.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1.El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)

El arroz se cultiva en una amplia gama de hábitats ecológicos que abarca regiones secas, húmedas hasta terrazas cortadas en las laderas de las colinas. Esta planta puede crecer en altitudes desde el nivel del mar hasta los 3 000 msnm y se cultiva hacia el norte hasta los 50° en China y hacia el sur hasta los 40° en Argentina (Fuller *et al.*, 2011). El arroz continúa ganando popularidad en muchas partes del mundo donde otros cereales, como el maíz, el sorgo y el mijo, o los tubérculos y raíces como papa, ñame y yuca han dominado tradicionalmente (Dunna y Roy, 2013).

3.1.1. Origen, clasificación y botánica

El principal centro de origen del arroz cultivado según la evidencia arqueológica e histórica es el sudeste asiático para *Oryza sativa* y África para *O. glaberrima*. El antepasado común del arroz se considera *O. perennis* y *O. sativa* se deriva de *O. rufipogon* perenne y *O. nivara* anual, mientras que *O. glaberrima* se deriva de *O. longistamine* perenne y *O. barthii* anual (Fuller, 2011; Figura 1).

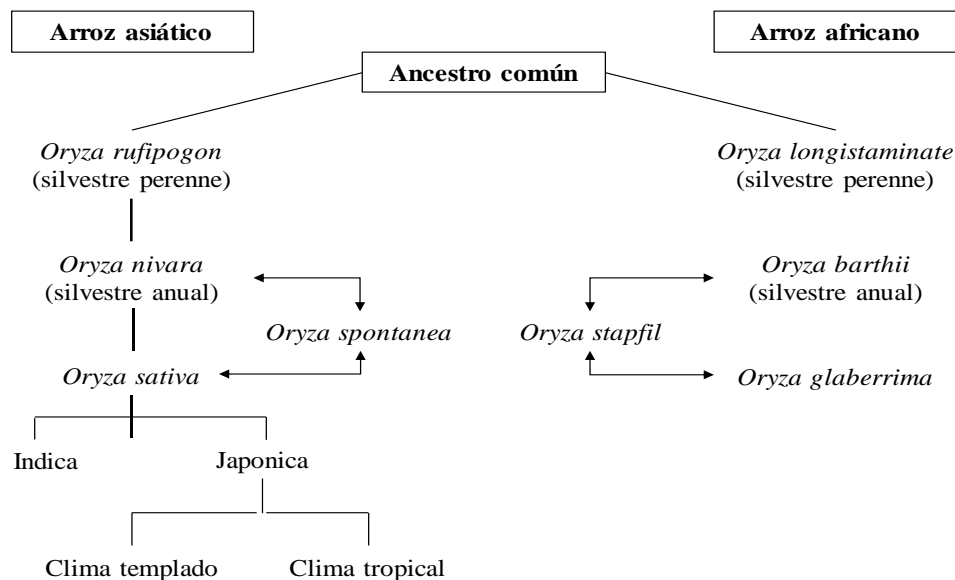


Figura 1. Representación esquemática de las vías evolutivas del arroz asiático y africano cultivado (Adaptado de Dunna y Roy, 2013).

El arroz pertenece al género *Oryza*, familia: Poaceae (Gramineae), tribu: Oryzeae. El género *Oryza* se distribuye en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Tiene 25 especies de las cuales 23 especies son silvestres y solo dos especies, *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima* son especies cultivadas. *Oryza sativa* se cultiva principalmente en la región asiática y *O. glaberrima* en África. El género contiene especies diploides ($2n = 24$) y tetraploides ($2n = 48$) (Dunna y Roy, 2013).

El arroz es un cultivo anual, pero algunos de sus parientes silvestres son de naturaleza perenne. La planta de arroz, típicamente una hierba, consiste en raíz, tallo, macollas, hojas y panículas en la parte terminal de las macollas productivas. La altura de la planta varía según la variedad y las condiciones ambientales, que van desde 0.4 m en variedades enanas hasta 5 m en arroz flotante de aguas profundas (Fuller *et al.*, 2010).

Los aspectos morfológicos de la planta de arroz que se describen a continuación se basan en el capítulo de revisión de Dunna y Roy (2013) y Yoshida (1981).

Todos los miembros de la familia de las gramíneas son monocotiledóneas con sistema de raíces adventicias. La raíz primaria que resulta debido a la prolongación del radical está a su vez apoyada por varias raíces adventicias. En general, las variedades más altas tienen una mayor penetración de raíces que las variedades enanas. Del mismo modo, las variedades con buen hábito de macollaje tienen un sistema de raíces bien desarrollado. El cultivo de siembra directa desarrolla un sistema de raíces más profundo, pero poco desarrollado, mientras que el cultivo trasplantado tiene un sistema de raíces poco profundo, pero bien desarrollado. En el caso de las variedades de arroz de aguas profundas, las raíces nodales se desarrollan incluso en los nodos superiores a medida que la planta se alarga.

Cuando una semilla de arroz germina en un suelo bien drenado, emerge la vaina (coleorhizae). Si germina bajo agua, el coleóptilo emerge antes que las coleorhizas. Las raíces primarias embrionarias (radícula) salen a través de la coleorhiza poco después de que aparece. Esto es seguido por dos o más raíces secundarias, todas las cuales desarrollan raíces laterales. Las raíces embrionarias luego mueren y son reemplazadas por raíces adventicias secundarias producidas a partir de los nudos subterráneos del culmo.

La especie *Oryzae*, al igual que otras gramíneas, consiste en rizomas subterráneos y pseudotallo aéreo. Esta condición es más visible en el arroz silvestre con hábito perenne, mientras que, en las especies cultivadas, no existe un rizoma bien diferenciado. El tallo sobre el nivel del suelo consiste en nudos sólidos y entrenudos huecos y comúnmente se llama culmo, el cual está formado por una serie de nudos y entrenudos. Los tallos de arroz son generalmente huecos, excepto en los nudos. Cada nudo porta una hoja y una yema. En condiciones favorables, las yemas cerca del nivel del suelo se convierten en macollas. Las macollas primarias dan lugar a macollas secundarias que dan lugar a macollas terciarias.

Las hojas del arroz son de naturaleza séstil, nacen en ángulo, en dos filas a lo largo del tallo, una en cada nudo. La lámina de la hoja está unida al nudo por la vaina de la hoja. La hoja de arroz es similar a la del trigo, pero generalmente se distingue de ella por la longitud de la lígula. En el arroz, la lígula es muy prominente, generalmente más de un centímetro. El número de hoja es mayor en macollas primarias que en macollas secundarias y terciarias.

A la inflorescencia del arroz se le conoce como panícula y es un grupo de espiguillas que nacen en el nudo superior del culmo. La rama primaria de la panícula se divide en ramas secundarias y a veces terciarias, las cuales sostienen la panícula.

La espiguilla individual consta de dos glumas externas. Todas las partes que se encuentran sobre las glumas externas se denominan colectivamente florete. Consiste en una cubierta dura cuyas dos secciones se conocen como lema y pálea (las glumas) y la flor completa está entre ellas. La lema y la pálea juntas se conocen como la "cáscara". La flor de arroz contiene seis estambres funcionales (órgano masculino) y un pistilo (órgano femenino). En la base de la flor hay dos estructuras transparentes conocidas como "lodículas". El arroz es un cultivo autopolinizado. Cuando la flor del arroz está lista para florecer, las lodículas se vuelven rígidas y separan la lema y la pálea, permitiendo que los estambres emerjan fuera del florete abierto. La ruptura de las anteras conduce al desprendimiento de los granos de polen. Después de que los granos de polen se vierten sobre el estigma, la lema y la pálea se cierran.

El grano de arroz se desarrolla después de que se completa la polinización y la fertilización. El grano está fuertemente cerrado por la lema y la pálea. El grano de arroz descascarado se conoce como arroz integral, ya que el pericarpio marrón lo cubre. El pericarpio es la capa más

externa que envuelve la cariopsis y se elimina cuando se muele y pule el arroz. El embrión se encuentra en el lado ventral de la espiguilla al lado de la lema. En la base de la parte ventral existe una mancha denominada “hilo” que corresponde a la unión del óvulo con el ovario y suele constituir un carácter específico. El embrión contiene la plomada y la radícula. La plúmula está encerrada por una vaina conocida como coleóptilo y la radícula está protegida por una cubierta denominada coleoriza.

3.1.2. Importancia nutricional del arroz

El arroz es el segundo cereal más consumido en el mundo después del trigo. Es el alimento básico para dos tercios de la población mundial. Más de 2 mil millones de personas solo en Asia obtienen el 80% de sus necesidades energéticas del arroz, que contiene 80% de carbohidratos, 7-8% de proteínas, 3% de grasas y 3% de fibra (Chaudhari *et al.*, 2018).

El arroz es una gran fuente de carbohidratos complejos. Los carbohidratos se descomponen en glucosa, la mayor parte de la cual se utiliza como energía para el ejercicio y como combustible esencial para la digestión lenta del almidón (con bajo índice glucémico), atribuido a una alta proporción de amilasa y al tamaño y estructura de los gránulos de almidón. Los consumidores de arroz que tienen diabetes tipo II deberían comer variedades de arroz de digestión lenta en lugar del arroz blanco. El arroz integral, por ejemplo, tiene una digestibilidad lenta del almidón y una parte del almidón nunca se convierte en azúcar y llega intacto al intestino grueso. Por ejemplo, en un estudio realizado por Sun *et al.*, (2010), se mostró que el reemplazo de arroz blanco por arroz integral u otros granos enteros se asoció con un menor riesgo de diabetes, mientras que en otro estudio (Qureshi *et al.*, 2002) se encontró que el salvado de arroz estabilizado redujo significativamente la hiperglucemia e hiperlipidemia en diabéticos tipo I y tipo II.

El arroz no tiene grasa, colesterol ni sodio. Los lípidos de arroz, que incluyen ácidos grasos, se encuentran predominantemente en el salvado de arroz que se elimina durante la molienda. Dependiendo de la variedad, el aceite de salvado de arroz puede tener hasta 80% de ácidos grasos insaturados. El ácido oleico y el ácido linoleico constituyen los ácidos grasos insaturados en el aceite de arroz. Estos ácidos grasos esenciales, que no pueden ser

sintetizados por los humanos, son importantes para mantener la función de las membranas celulares y el sistema nervioso (Chaudhari *et al.*, 2018).

La proteína de arroz, que comprende hasta el 8% del grano, tiene un beneficio especial ya que tiene ocho de los aminoácidos esenciales en una proporción adecuadamente equilibrada. Cuando la proteína del arroz se metaboliza en aminoácidos, se produce un rejuvenecimiento interno completo que fortalece la salud. Estos aminoácidos desarrollan músculos resistentes que vuelven a su forma original después de estirarse y doblarse, una piel y cabello sanos y una visión más clara y nutren el corazón y los pulmones, los tendones y ligamentos, el cerebro, el sistema nervioso y la red glandular (Sun *et al.*, 2010).

Las vitaminas del complejo B, especialmente la tiamina, la riboflavina y la niacina que ofrece el arroz integral natural, promueven la energía juvenil, la nutrición de la piel y los vasos sanguíneos. El salvado de arroz también contiene antioxidantes beneficiosos como los tocoferoles y tocotrienoles (de la familia de la vitamina E) y los orizoles (Lloyd *et al.*, 2000).

3.2. Problemas fitosanitarios en arroz

Los campos de arroz son agroecosistemas en los que una gran diversidad de especies de flora, fauna y microbios proporciona una amplia gama de servicios para el bienestar humano. La mayoría de estas especies no reducen la producción; de hecho, muchos son beneficiosos, como depredadores, parasitoides y bacterias promotoras del crecimiento. Sin embargo, algunas especies se convierten en plagas, es decir, son responsables de pérdidas en los rendimientos que exceden los umbrales aceptables, principalmente cuando ocurren en altas densidades (Savary *et al.*, 2006a, 2006b).

3.2.1. Plagas insectiles

Hay más de 800 especies de insectos que dañan el arroz de una forma u otra, aunque la mayoría de ellas hacen muy poco daño. En Asia tropical unas 20 especies son de gran importancia y de ocurrencia regular. En África, 15 especies de insectos se consideran plagas principales del arroz y en las Américas alrededor de 20 especies se consideran plagas principales. La planta de arroz tiene una fuerte capacidad compensatoria para recuperarse de

tales lesiones si ocurren en la etapa vegetativa (Heinrichs y Muniappan, 2017; Rubia *et al.*, 1996).

Los barrenadores del tallo son un grupo clave de plagas insectiles, pertenecientes principalmente a dos familias de lepidópteros, Pyralidae y Noctuidae. Las especies de barrenador más importantes en el continente americano son: *Diatraea saccharalis* (barrenador de la caña de azúcar), que es el barrenador del arroz más ampliamente distribuido en el Nuevo Mundo y se encuentra desde el norte de Argentina hasta el sur de los Estados Unidos; *Rupela albinella*, el barrenador blanco del tallo, encontrado desde México hasta Brasil; *Elasmopalpus lignosellus*, el barrenador menor del maíz, un insecto polífago, que es importante como plaga de arroz en México, América Central y del Sur, especialmente en los sistemas de producción de arroz de tierras altas. Las infestaciones en los campos de arroz a menudo involucran múltiples especies de barrenadores, y las pérdidas de rendimiento bajo infestaciones severas pueden alcanzar hasta el 60% (Lv *et al.*, 2008).

El insecto *Tagosodes oryzae* (Delphacidae) es una plaga seria en países de América Central, el Caribe y América del Sur, donde causa daños directos y transmite el virus de la hoja blanca (Morales y Jennings, 2010). Numerosas especies de insectos hemípteros que succionan la leche de los granos en desarrollo pertenecen a las familias Alydidae, Coreidae, Pentatomidae y Pyrrhocoridae y se consideran chinches del arroz. Por ejemplo, el chinche *Nezara viridula* se encuentra en todas las regiones geográficas, mientras que varias especies de *Oebalus* se alimentan de panículas en todo el continente americano (Heinrichs y Muniappan, 2017).

3.2.2. Malezas en el arroz

Un amplio espectro de malezas está presente en todas las áreas de cultivo de arroz. Por ejemplo, 140 especies se asocian comúnmente con el cultivo de arroz sembrado de forma directa y las especies de *Echinochloa*, son un factor limitante importante para el arroz en todo el mundo. Al menos 155 especies de malezas sirven como hospedantes alternativos para las principales especies de plagas insectiles del arroz, mientras que las principales enfermedades del arroz tienen más de 80 especies de malezas que sirven como plantas hospederas alternativas (Rao *et al.*, 2007).

La principal especie de gramínea que sirve como hospedante alternativo para las plagas insectiles del arroz es *Echinochloa* spp., seguido de *Eleusine indica*, *Leersia hexandra*, siete especies de arces silvestres del género *Oryza*, seis especies de *Panicum* y cinco especies de *Paspalum*. Las mismas cuatro especies principales de gramíneas y ocho especies de arces silvestres del género *Oryza* son también las gramíneas dominantes que albergan enfermedades del arroz (Rao *et al.*, 2007).

Las malezas son la causa de la reducción drástica del rendimiento en la producción de arroz en todo el mundo. Las pérdidas causadas por las malezas varían de un país a otro, dependiendo del tipo de maleza predominante y de los métodos de manejo. Por ejemplo, en China, se pierden 10 toneladas métricas de arroz anualmente debido a la competencia de malezas; tal cantidad de arroz sería suficiente para alimentar al menos a 56 millones de personas durante 1 año. En Sri Lanka, un país considerado autosuficiente en arroz, las malezas son el principal estrés biótico en la producción de arroz y representan el 30-40% de las pérdidas de rendimiento (Heinrichs y Muniappan, 2017).

El arroz y las malezas están estrechamente relacionados, tienen requisitos similares para el crecimiento y el desarrollo y, por lo tanto, compiten entre sí. El grado de competencia depende de la lluvia, los factores edáficos (del suelo), incluidos los nutrientes, la densidad de malezas, la variedad de arroz, la duración del crecimiento del arroz y las malezas, y la edad del cultivo cuando comienza la competencia (Rao *et al.*, 2007).

3.2.3. Enfermedades del arroz

Las enfermedades son también factores que limitan la producción de arroz en algunas áreas, sobre todo cuando se presentan condiciones ambientales favorables para el desarrollo de las enfermedades que afectan el cultivo. Debido a que las enfermedades pueden ocasionar daños severos en una plantación de arroz, es importante, que el productor sepa identificar y efectúe un monitoreo frecuente en su plantación para detectar los síntomas iniciales de la presencia de enfermedades, para proceder a tomar medidas de control o prevención.

Se han registrado más de 70 enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos en arroz. Entre ellos, el patógeno fúngico *Magnaporthe* (= *Pyricularia*) *oryzae* y el patógeno

bacteriano *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* (Xoo) son dos de los más destructivos y pueden causar pérdidas devastadoras de rendimiento en la mayoría de los países productores de arroz (Ke *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2014; Ning y Wang, 2018).

a) Añublo del arroz (*Pyricularia oryzae*)

El añublo es causado por el hongo hemibiotrófico *P. oryzae* y es la enfermedad fúngica más devastadora del arroz en todo el mundo. La pérdida anual de producción de arroz causada por este patógeno podría satisfacer el consumo anual de arroz de 60 millones de personas (Parker *et al.*, 2008). El hongo *P. oryzae* puede infectar todas las partes de la planta de arroz, incluidas las raíces (Duan *et al.*, 2014).

Dependiendo del sitio de los síntomas, se hace referencia a añublo de la hoja, del collar, del nudo y del cuello ("pudrición del cuello"). El añublo de las hojas no solo atrofia o mata las plántulas y las macollas, sino que también reduce la cantidad de panículas y disminuye el peso y la calidad del grano. Una infección del 10% del cuello de la panícula causa una pérdida de rendimiento del 6% y un aumento del 5% en los granos calcáreos. El añublo de la panícula causa pérdidas más graves, mientras que el añublo del collar también puede matar toda la lámina foliar (Heinrichs y Muniappan, 2017).

b) Tizón bacteriano (*Xanthomonas oryzae* pv *oryzae*)

Los síntomas del tizón bacteriano se pueden observar durante la etapa de plántulas en forma de hojas enrolladas de color verde grisáceo que se vuelven amarillas a medida que avanza la enfermedad. En etapas avanzadas de la enfermedad, el color amarillo cambia a hojas marchitas de color pajizo y, en última instancia, la muerte de las plántulas enteras. El tizón bacteriano es una enfermedad vascular que causa el marchitamiento de toda la planta. Esta enfermedad ocurre en regiones tropicales y templadas del mundo, en plantaciones con riego y de secano, cuando los fuertes vientos se combinan con fuertes lluvias (Fahad *et al.*, 2019).

El tizón bacteriano puede causar pérdidas de rendimiento de hasta 70%, y también afecta a la calidad del arroz. La bacteria infecta las hojas de arroz a través de los hidátodos o heridas, y se extiende en la planta a través de los vasos del xilema (Ke *et al.*, 2017). El patógeno sobrevive

en residuos de cosecha y se encuentran altas poblaciones bacterianas en el agua de riego, a lo largo de los canales y en los arrozales. La bacteria se propaga de una planta o campo a otro a través del agua de riego, el viento y el contacto de planta a planta. La enfermedad generalmente comienza en pequeños parches y luego se propaga gradualmente a otras partes del campo hasta que se infecta todo el campo (Heinrichs y Muniappan, 2017).

c) Tizón de la vaina (*Rhizoctonia solani*)

El agente causal del tizón de la vaina del arroz, *Rhizoctonia solani* AG1-1A, es responsable de la pérdida de rendimiento de hasta el 45%. El patógeno *Rhizoctonia solani* Kunh AG1-IA (anamorfo), *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (teleomorfo) es un parásito facultativo y saprotrófico que habita en el suelo. El patógeno causa lesiones en la vaina que afectan el llenado de grano y el rendimiento en arroz (Singh *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2012). El patógeno *R. solani* Kühn, sobrevive en el suelo y el agua como esclerocios que permanecen viables hasta por 3 años y forman micelio al entrar en contacto con las plantas (Kumar *et al.*, 2009).

La enfermedad emerge en etapas tardías del macollamiento y alcanza un estado agresivo en el momento de la diferenciación de la panícula. Los primeros síntomas de la enfermedad son la formación de lesiones en la vaina que conducen al ablandamiento y el doblamiento de la vaina y la inhibición del llenado de grano (Wu *et al.*, 2012). El hongo se propaga rápidamente a través del contacto entre las partes de la planta, como las macollas y las hojas, y también a través de esclerocios (masas hifales densamente compactas) presentes en las aguas superficiales (Tsiboe *et al.*, 2017). La severidad de la enfermedad depende de las prácticas de cultivo, las etapas de crecimiento de la planta en el momento de la infección, el uso de fertilizantes nitrogenados y la susceptibilidad a la variedad de arroz (Tang *et al.*, 2007).

d) Pudrición de la vaina de arroz

La podredumbre de la vaina del arroz es una enfermedad causada por un complejo de patógenos fúngicos y bacterianos. Los principales patógenos asociados con la pudrición de la vaina del arroz son hongos como *Sarocladium oryzae* y *Fusarium* sp., perteneciente al complejo *Fusarium fujikuroi* y al patógeno bacteriano *Pseudomonas fuscovaginae* (Bigirimana *et al.*, 2015).

Los principales síntomas de la pudrición de la vaina causada por *S. oryzae* se presentan en las vainas de las hojas superiores que encierran las panículas jóvenes; las lesiones comienzan como manchas oblongas o algo irregulares, de 0.5-1.5 cm de largo, con márgenes marrones y centros grises, o pueden ser de color marrón grisáceo; se agrandan ya menudo se unen y pueden cubrir la mayor parte de la vaina de la hoja; las panículas jóvenes permanecen dentro de la vaina o solo emergen parcialmente. Un abundante crecimiento de polvo blanquecino se puede observar dentro de las vainas afectadas y las panículas jóvenes se pudren. La infección por *S. oryzae* produce granos vanos y descoloridos, y afecta la viabilidad y el valor nutricional de las semillas (Gopalakrishnan *et al.*, 2010).

En general, *S. oryzae* está presente en todos los países productores de arroz en todo el mundo, siendo muy común en las estaciones lluviosas. Las temperaturas de 20°C-30°C y la humedad relativa en el rango de 65-85% favorecen el desarrollo de la enfermedad (Mew y Gonzales, 2002). El patógeno sobrevive en semillas infectadas, residuos de plantas (paja, rastrojo), pero también en el suelo, el agua o las malezas cuando las condiciones ambientales son favorables. Las plantas en diversas etapas de crecimiento pueden verse afectadas; el hongo ingresa a través de estomas o heridas, y es más destructivo después de la emergencia de la panícula, pero también infecta otras etapas de crecimiento (Gopalakrishnan *et al.*, 2010).

La pudrición de la vaina en el arroz también se ha asociado con *Fusarium* sp., perteneciente al complejo *F. fujikuroi*. Los síntomas se manifiestan en forma de panículas blanquecinas o parcialmente blanquecinas con flores o granos de color marrón rojizo a blanquecino a menudo cubiertos con un polvo blanco a rosado que consiste en microconidios y conidióforos del patógeno. La vaina de la hoja bandera desarrolla una lesión que se agranda rápidamente, tiene una apariencia opaca a marrón oscuro y luego blanquecina a tostada con un borde marrón rojizo, que eventualmente abarca toda la vaina y puede causar la muerte de la lámina de la hoja. Las especies de *Fusarium* en arroz son transmitidas por semillas y en la madurez, los granos infectados contienen micotoxinas (Wulff *et al.*, 2010).

El patógeno *Pseudomonas fuscovaginae* se considera la principal bacteria que causa la pudrición marrón de la vaina del arroz. Se ha encontrado tanto en la vaina como en la gluma. Los síntomas consisten en una necrosis longitudinal de color marrón a marrón rojizo de 2-5

mm de ancho que se extiende a todo lo largo de la vaina y la lámina de la hoja. Las vainas afectadas que encierran la panícula muestran ablandamiento y necrosis con márgenes indefinidos; las glumas se decoloran antes de salir de las panículas; los granos en los macollos afectados pueden estar completamente descoloridos y estériles hasta casi sin síntomas con solo pequeñas manchas marrones (Cothier *et al.*, 2009).

La bacteria *Pseudomonas fuscovaginae* se transmite por semillas y las plántulas infectadas a menudo mueren. Cuando la infección ocurre en una etapa posterior, la parte inferior de la vaina se vuelve marrón y más tarde, toda la vaina se vuelve necrótica. La patogenicidad de *P. fuscovaginae* se expresa a nivel de grano, plántula y formación de panícula. El patógeno *P. fuscovaginae* puede colonizar toda la planta como endófito (Adorada *et al.*, 2015; Cardona, 2013). La bacteria puede sobrevivir epífitamente en la planta huésped con baja población bacteriana en el tejido y esto explica cómo la enfermedad puede ser transmitida por semillas, pero solo expresa síntomas en la etapa de emergencia de la panícula o “embuchamiento” (Batoko *et al.*, 1997). Esto también puede estar relacionado con el hecho de que la etapa de embuchamiento y la fase reproductiva en general, es la etapa más sensible al estrés en el desarrollo de la planta de arroz (Fageria, 2007).

e) Mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*)

En el arroz, los síntomas del mal del pie comienzan a la altura de la lámina de agua como lesiones de color marrón oscuro o negro en las vainas, en la base del culmo, así como en el primero y segundo nudo y entrenudos. Las raíces se oscurecen debido a la intensa necrosis tisular causada por la infección fúngica (Prabhu y Filippi, 2002). La enfermedad causa pudrición de raíces, tallos y vainas y se detecta en estados finales de desarrollo. Sin embargo, se puede presentar en todas las etapas fenológicas del cultivo y en todos los órganos incluyendo la semilla. A medida que se acerca la floración, en casos de alta severidad, la maduración es prematura y se producen panículas con espiguillas decoloradas y estériles (Echeverri-Rico, 2016).

El hongo coloniza las raíces y la base del culmo al producir dos tipos de hifas conocidas como hifas corredoras (de nutrición) e infecciosas. Las hifas corredoras son marrones, septadas, con

paredes gruesas y a menudo crecen en la superficie de las raíces y el culmo formando hebras miceliales, mientras que las hifas infecciosas son hialinas con paredes celulares delgadas y se encuentran dentro del tejido del huésped (Peixoto *et al.*, 2013).

El micelio que crece sobre la base del culmo infectado produce abundantemente hifopodios que son estructuras planas, hialinas o marrones y lobuladas, y juegan un papel en la fijación del hongo y una mayor penetración. Los peritecios producidos por *G. graminis* var. *graminis* son oscuros, esféricos y contienen muchas ascas unitarias, alargadas y clavadas con un anillo apical (Hawerth *et al.*, 2017). El patógeno puede sobrevivir en rastrojos de arroz infectados y en varios hospedantes alternativos (Datnoff *et al.*, 1997; Peixoto *et al.*, 2013 Peixoto *et al.*, 2014). El manejo de la enfermedad es difícil debido a la ausencia de cultivares resistentes y la falta de disponibilidad de fungicidas efectivos (Peixoto *et al.*, 2014; Prabhu y Filippi, 2002).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en la empresa Melones de Nicaragua, S, A. (Melonicsa), ubicada en el kilómetro 154 ½ carretera León San Isidro 15 kilómetros al sur en el Municipio del Jicaral perteneciente al Departamento de León. Las coordenadas del lugar son 12°35'03.1" Latitud Norte y 86°22'36.7" Longitud Oeste (Anexo 1), se encuentra a 88 kilómetros de la capital Managua y a una altura de 0 a 50 metros sobre el nivel del mar (msnm). La temperatura fluctúa entre los 24°C y 28°C, la precipitación anual varía entre los 750 a 1 250 mm anuales lloviendo mayormente entre los meses de mayo a octubre.

4.2. Diseño metodológico

La investigación fue experimental, inició en enero y finalizó en abril del año 2020 (época seca). Se utilizó un diseño de medidas repetidas de dos factores no replicado. Unos de los factores o tratamientos fueron las variedades Lazarroz FL, Palmar-18 y Puitá INTA-CL. El otro factor fueron las fechas (tiempo) en las cuales se registraron los datos (Quinn y Keough, 2009). Cada variedad se ubicó en unidades experimentales de una hectárea. En cada unidad experimental se ubicaron cinco estaciones de muestreo sistemático de un metro cuadrado, siguiendo un patrón de W (Xu *et al.*, 2018). Las estaciones de muestreo estaban ubicadas a 50 metros una de otra (Figura 2).

En cada estación se seleccionaron 10 plantas (macollas) en las cuales se evaluó la severidad de *Rhizoctonia solani*, *Pyricularia oryzae* y *Gaeumannomyces* spp. Estas evaluaciones se realizaron cada siete días iniciando después de la emergencia del cultivo y finalizaron dos semanas antes de la cosecha. Además, en las mismas 10 plantas se evaluaron las siguientes variables de crecimiento y desarrollo, incluyendo el rendimiento: altura de planta (cm), número de plantas por metro cuadrado, número de macollas por metro cuadrado, longitud de panícula (cm), número de granos por panícula, porcentaje de granos llenos por panícula, peso de 1000 granos, rendimiento (kg ha⁻¹). El procedimiento mediante el cual se midieron estos

dos tipos de variables (epidemiológicas y fenológicas) se describe en detalle en la sección 5.4. Variables a evaluar.

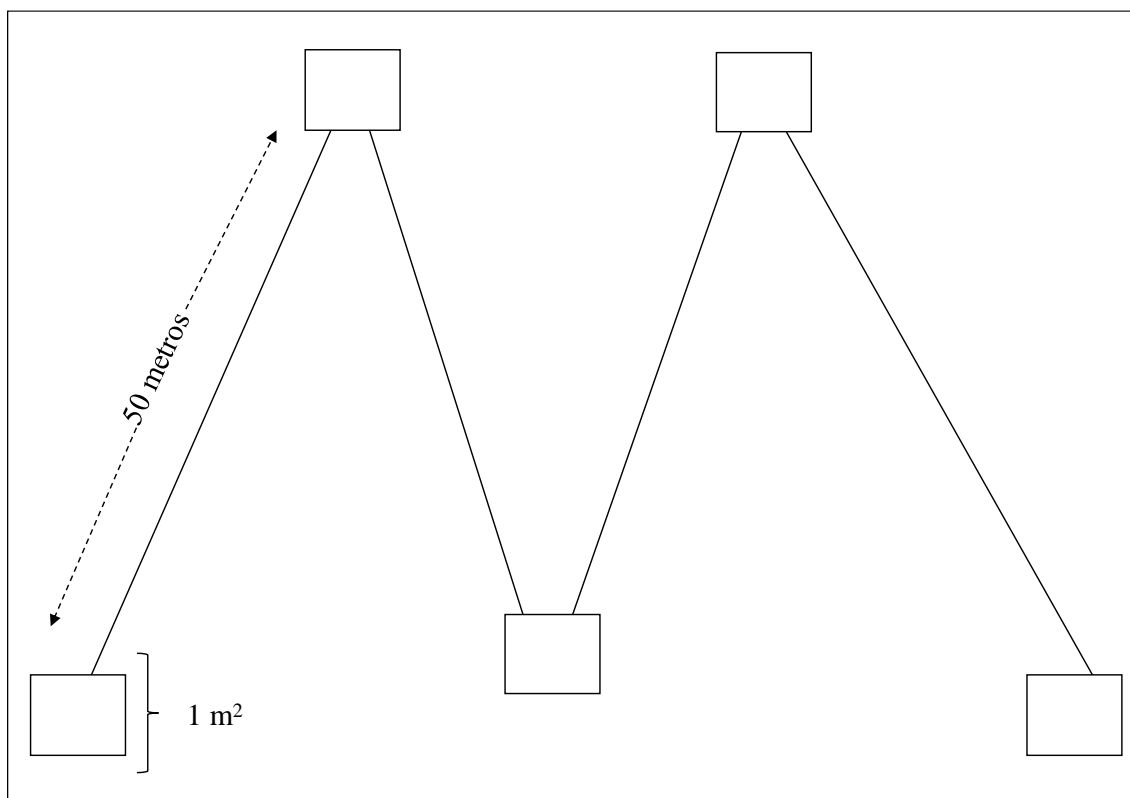


Figura 2. Esquema del procedimiento de muestreo para la recolección de datos de plagas insectiles y patógenos.

4.2.1. Características de las variedades de arroz

a) Puita INTA-CL

La variedad de alto rendimiento agrícola, calidad molinera superior, excelente calidad culinaria y resistente a herbicidas del grupo de las imidazolinonas. No transgénico; es una planta de alto macollaje, semienana, la panoja es de tamaño intermedio (100 cm), bajo porcentaje de vaneo, pubescente, granos móticos de color pajizo y los 1000 granos tienen un peso de 23.6 gramos. Es una variedad de ciclo corto (90 días desde la emergencia a floración) y alcanza la madurez a los 120 días de emergido. La variedad es resistente al linaje A y E y susceptible al linaje F de *Pyricularia oryzae*. Es una variedad de alta calidad molinera industrial, posee un mínimo porcentaje de granos panza blanca, de excelente calidad culinaria

y resiste la cosecha a bajo porcentaje de humedad conservando la calidad molinera (Fundación Proarroz, 2015).

b) Palmar-18

Variedad de alto rendimiento agrícola, calidad molinera buena, posee un porcentaje de rendimiento de molino de 65.7% y un rendimiento grano entero de 49%. Es una planta de macollaje intermedio, altura de la planta es de 97-105 cm. Es una variedad de ciclo corto (80-90 días a emergencia a floración) y madurez a los 110-115 días de siembra. La variedad es susceptible a *Rhizoctonia solani* y *Pseudomonas spp*, presenta cierta tolerancia a enfermedades como *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae* y el virus de la hoja blanca. Presenta tolerancia al complejo de manchado del grano: *Cochliobolus miyabeanus*, *Sarocladium oryzae*, *Pseudomonas fuscovaginae*, *Alternaria sp* y *Cercospora sp*. El rendimiento es de 5-8 t ha⁻¹. Es una variedad de buena calidad molinera, bajo porcentaje de granos panza blanca, y excelente calidad culinaria. Resiste la cosecha a bajo porcentaje de humedad conservando la calidad molinera (Tinoco Mora y Acuña Chinchilla, 2009).

c) Lazarroz FL

Variedad de alto rendimiento agrícola, calidad molinera buena, posee un rendimiento de molino de 68%. Es una planta de buen macollaje, altura de la planta es de 97 cm. Variedad de ciclo corto (95 días de emergencia a floración) y madurez a los 115-120 días de emergido. Es una variedad tolerante a Virus de la Hoja Blanca. Es susceptible a *Pyricularia oryzae*, *Rhizoctonia solani* y *Burkholderia glumae*. El rendimiento es de 8-9 t ha⁻¹. Es una variedad con buena calidad molinera y calidad culinaria con tolerancia al retraso de cosecha (Conarroz, 2020).

4.2.2. Manejo del experimento

El suelo se preparó realizando dos pases de gradas y un pase de rufa (niveladora) formando la cama de siembra, posteriormente se formó los muros de retención de agua y se dejaron por

unos 35 a 45 días para que este sea esterilizado a través de calor solar. Posteriormente se realizó la siembra de forma mecanizada con sembradora de 20 surcos a una distancia de 17 cm entre surco. La densidad de siembra se ajustó a 1.8 quintales por hectárea (81.81 kg ha^{-1}), colocando la semilla a una profundidad de 1 a 2 cm. El riego se realizó a intervalo de una vez por semana cuando fue necesario a los 18 días después de la emergencia (DDE) el cultivo, momento en el cual se estableció una lámina de agua de 5 – 10 cm de altura, la cual permaneció por un período de 95 – 100 DDE.

a) Manejo agronómico

El manejo nutricional se efectuó a través de fórmulas especiales, en base a las necesidades nutricionales del cultivo y de acuerdo a los análisis del suelo en cuatro momentos. La primera fertilización se hizo al momento de la siembra iniciando con una fertilización básica con la fórmula 3.6-17.0-33.3-11.35 (NPKS) en dosis de 3 qq ha^{-1} , y se incorporó con la sembradora. Los requerimientos adicionales de Potasio (K) de la planta se completaron al aplicar 4 qq ha^{-1} de KCl (0-0-60) con voliadora. La segunda fertilización se realizó en el momento de establecer el segundo baño, cuando el cultivo tenía las primeras dos hojas, y se aplicó la fórmula 26.7-0-0-15.0-14.10 (NPKSZn) en dosis de 6.0 qq ha^{-1} . A los 14 días después de la emergencia (DDE) del cultivo, en el momento de establecer la lámina de agua, se realizó una aplicación de urea (46% N) en dosis de 4.0 qq ha^{-1} como complemento a la segunda fertilización. Luego de haber establecido la lámina de agua del cultivo a los 22 (DDE), se realizó la tercera fertilización para la cual se utilizó la fórmula 32.8-0-0-12.6 (NPKS) a una dosis de 3.0 qq ha^{-1} . Se realizó una cuarta fertilización a los 42 DDE a base de urea (46% N) a una dosis de 2.0 qq ha^{-1} en el momento de la formación de anillo verde.

b) Manejo de malezas

Para el manejo de malezas se utilizó el herbicida Root Out 36 SL ® (glifosato) a una dosis de 4 L ha^{-1} más Indicate-5 ® (regulador de agua ácido ortofosfórico 25%, alquifenoletoxilato 30%) - 0.03 L ha^{-1} . La aplicación pre-emergente se realizó una vez finalizada la siembra o 3 días después de haber finalizado el primer baño (riego) con los productos Round-Up 35.6 SL

® (glifosato) a una dosis de 4.0 L ha⁻¹, Prawl 50 SL ® (pendimetalina) – 4 L ha⁻¹, Heatt 50 EC ® (definil) – 120 g ha⁻¹, Indicate-5 ® - 0.09 L ha⁻¹. Para el manejo de malezas en el momento de post-emergencia temprana se utilizó el herbicida Spada 60 WG ® (propanil) - 3.5 kg ha⁻¹, Carrier ® (mezcla de ácidos carboxílicos y glicéridos con base en aceite vegetal) con una dosis de 0.2 L ha⁻¹. Luego se realizó una segunda aplicación de post-emergencia temprana utilizando el herbicida Command 36 EC ® (clomazona) a una dosis de 2 L ha⁻¹ más Indicate-5 ® - 0.09 L ha⁻¹.

c) Manejo de plagas insectiles

El manejo de plagas insectiles se realizó de acuerdo a evaluaciones de campo y el nivel de incidencia de la plaga. Para Sogata (*Tagosodes orizicolus*) se aplicó Biomix ® (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) a una dosis de 1 L ha⁻¹ más Indicate-5 ® - 0.04 L ha⁻¹. Se realizó una segunda aplicación entre los 45 DDE con Tryclan 50 SP, insecticida sistémico de origen biológico a base de la toxina natural (thiocyclam hidrógeno oxalato extraída de anélido marino *Lumbrineris heteropoda*) en dosis de 0.5 kg ha⁻¹ e Indicate-5 ® a una dosis de 0.03 L ha⁻¹.

Para la novia del arroz (*Rupella albinella*), en el momento de la aparición de los primeros adultos se realizó una aplicación de Coragen 28 SC ® (rynaxipyr) a una dosis de 0.125 L ha⁻¹, Carrier ® (mezcla de ácidos carboxílicos y glicéridos con base en aceite vegetal) a una dosis de 0.125 L ha⁻¹ encapsulado e Indicate-5 ® a una dosis de 0.09 L ha⁻¹.

En el momento de la aparición de larvas de *Spodoptera* se realizaron dos aplicaciones de acuerdo al nivel crítico del insecto, el cual es de 4-6 larvas por m². La primera aplicación se realizó a los 8 DDE con Winner 6 SC ® (spinosyn - spinoteran) a una dosis de 0.075 L ha⁻¹ y una segunda aplicación a los 20 DDE con Dipel WG ® [*Bacillus thuringiensis* subsp *kurstaki* (cepa ABTS-350)] a una dosis de 0.5 kg ha⁻¹. Esta aplicación se realizó tomando en cuenta el nivel crítico de la plaga. En cada una de las aplicaciones se le agregó el regulador de agua Indicate-5 ® a una dosis de 0.09 L ha⁻¹.

d) Manejo de enfermedades

El tratamiento de semilla se llevó a cabo con microorganismos eficientes (EM.1®) con una dosis de 1 L por quintal de semilla. Luego se realizó una primera aplicación aérea con EM.1 al momento del primer sello (aplicación del herbicida Prawl 50 SL ®) en dosis de 20 litros del producto disuelto que resultó de la mezcla de 20 litros de EM con 20 litros de melaza en mil litros de agua. Al momento del segundo sello con el herbicida Command 36 EC ®, se realizó una segunda aplicación de EM en dosis de 20 L ha⁻¹. Cuando se realizó el tercer sello con el herbicida Command 36 EC ®, también se efectuó una tercera aplicación de EM en dosis de 20 L ha⁻¹ y Trichozan (*Trichoderma*) a una dosis de 200 g ha⁻¹. A los 30 DDE se llevó a cabo una cuarta aplicación de EM en dosis de 30 L ha⁻¹. La quinta aplicación se efectuó con Timorex Gold ® (producto natural, basado en el extracto de la planta *Melaleuca alternifolia*) a una dosis de 0.7 L ha⁻¹, Carrier ® a una dosis de 0.2 L ha⁻¹ y EM en dosis de 30 L ha⁻¹. En cada una de las aplicaciones se agregó el regulador de agua Indicate-5 ® a una dosis de 0.09 L ha⁻¹. A los 50 DDE y 65 DDE se realizaron aplicaciones con los productos Robust ® (mezcla de 5 especies del género *Bacillus*) a una dosis de 0.5 L ha⁻¹, Valoram ® (mejorador de suelos y biodigestor para grasas y aceites a base de microorganismos saprofitos) a 1 L ha⁻¹ y regulador de agua Indicate-5 ® a una dosis de 0.09 L ha⁻¹.

4.3. Variables evaluadas

Las variables que se registraron y se evaluaron fueron medidas conforme se realizaron los muestreos correspondientes a las etapas fenológicas del cultivo hasta la cosecha de acuerdo a cada unidad experimental de 1 hectárea.

4.3.1. Variables de crecimiento, desarrollo y de rendimiento

- a) Altura de planta (cm):** Se realizó desde los ochos días de emergencia (DDE) del cultivo hasta el momento de la aparición de la hoja bandera. En cada unidad experimental de 1 ha se ubicaron cinco estaciones de muestreo de un metro cuadrado (m²), en cada uno de los puntos se seleccionaron diez macollas y se midieron

considerando el nivel del suelo, hasta el ápice de la primera hoja más alta, usando una cinta métrica.

- b) **Número de plantas por metro cuadrado (m²):** Se registró desde los ocho días de emergido (DDE) del cultivo hasta el máximo macollamiento (43 DDE); en el mismo sitio usando un cuarto de metro cuadrado se contabilizó el número de plantas iniciales y finales.
- c) **Número de macollas por m²:** En las mismas cinco estaciones se seleccionaron diez plantas y se contaron el número de macollas por planta; actividad que se inició entre los ocho y 43 DDE, momento en que el cultivo presentaba el máximo macollamiento.
- d) **Longitud de la panícula (cm):** En las mismas plantas seleccionadas se midió su longitud, los datos se expresarán en cm, considerando desde la base hasta el ápice de la panícula y se promedió, usando una cinta métrica.
- e) **Granos por panícula:** En las mismas macollas se contaron el número de granos existentes y se obtuvo el promedio, expresado en números.
- f) **Porcentaje de granos llenos por panícula:** En las panículas de las mismas macollas se contó el número de granos llenos y granos vanos, se estimó el promedio y se expresó en porcentaje, usando la fórmula propuesta por Cordero Flores y Manzaneda Delgado (2021):

$$PGLL = \frac{\text{Granos llenos}}{\text{Total de granos}} \times 100$$

Donde PGLL es el porcentaje de granos llenos

- g) **Peso de 1000 semillas:** De las mismas panículas se contaron los mil granos y se obtuvo el dato en base al peso de 1000 granos con el 13% de humedad y se expresó en gramos.

h) Rendimiento (kg ha⁻¹): Para el rendimiento en el momento de la cosecha se cosechó cada unidad experimental, los datos se expresaron en kilogramos por hectárea usando la siguiente fórmula (Pantha *et al.*, 2017):

$$Rg \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(100 - H_i) \times \text{rendimiento de parcela (kg)} \times 10000 \text{ m}^2}{(100 - H_d) \times \text{área de la parcela útil}}$$

Donde, Rg = rendimiento de grano; H_i = humedad inicial (22%); H_d = humedad deseada (13%)

4.3.2. Variables fitosanitarias

Las variables fitosanitarias más importantes fueron la severidad de las enfermedades causadas por los patógenos *Rhizoctonia solani* (tizón de la vaina), *Pyricularia oryzae* (añublo del arroz) y *Gaeumannomyces* spp (mal del pie) y el conteo de ninfas y adultos de sogata (*Tagosodes oryzicolus*) para determinar su fluctuación poblacional. Para el conteo de ninfas y adultos de sogata se seleccionaron cinco puntos y se realizaron cinco pases dobles de malla entomológica por punto muestreado (Vivas *et al.*, 2009).

a) Severidad de enfermedades

El registro de la severidad de enfermedades inició a los 8 días después de la emergencia (DDE). Para la estimación de la severidad de *P. oryzae* a nivel foliar en campo se utilizó la escala del IRRI (2013), la cual toma en cuenta los siguientes grados según porcentaje del área foliar afectada: 0 – ninguna lesión; 1 – menos del 1%; 3 – del 1% al 5%; 5 – del 6% al 25%; 7 – del 26% al 50%; 9 – del 51% al 100%.

Para la evaluación de la intensidad de la enfermedad “mal del pie” causada por *Gaeumannomyces* spp., se utilizó la escala de severidad propuesta por Echeverri Rico (2016) y Ospina e Higuera (2008) y que se encuentra en el Anexo 2. Para el cálculo de los valores de severidad de piriculariosis y mal del pie se empleó la fórmula siguiente (Salimah *et al.*, 2019):

$$S = \frac{\sum(n \times v)}{(N \times V)} \times 100$$

Donde,

S = severidad de la enfermedad; n = número de hojas con cierto grado de severidad; v = grado de hojas afectadas; N = número de hojas evaluadas; V = máximo grado de severidad.

Para el caso del registro y cálculo de la severidad de la enfermedad “añublo de la vaina” causada por *R. solani*, se utilizó la escala de severidad y el índice de severidad propuesto por Park *et al.*, (2008). La escala de severidad consta de seis grados los cuales se describen a continuación: 0 = ninguna lesión; 1 = aparición de lesiones acuosas; 2 = aparición de lesiones necróticas; 3 = menos del 50% de necrosis en la sección transversal de la hoja; 4 = más del 50% de necrosis en la sección transversal de la hoja; 5 = necrosis en toda la sección de la hoja que resulta en la muerte de la hoja. A partir de esta escala se calculó los valores de severidad con el siguiente índice de severidad:

$$IS = \frac{(5n_5 + 4n_4 + 3n_3 + 2n_2 + 1n_1 + 0n_0)}{5N} \times 100$$

Donde, IS es el índice de severidad de *R. solani*; n_{0-5} es el número de hojas en cada grado de severidad (de 0 a 5) y N es el número total de hojas evaluadas por macolla por metro cuadrado.

Los valores de severidad se utilizaron para el cálculo del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) con la ecuación (Shaner y Finney, 1977):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde, ABCPE es el área bajo la curva de progreso de la enfermedad; n es el número de observaciones; y_i es la evaluación de la enfermedad en la i -ésima observación; y_{i+1} es la

evaluación en la $i+1$ -ésima observación (segunda, tercera, etc.); y t es el tiempo (inicial y posterior).

4.4. Recolección de datos

Los datos para las variables agronómicas se comenzaron a recolectar desde los 8 días de emergido el cultivo hasta la aparición de la hoja bandera entre los 65 a 75 DDE. En el caso de las variables fitosanitarias, su evaluación terminó al momento de la maduración del cultivo, teniendo en cuenta que la cosecha se debe realizar con el arroz seco, 18%-20% de humedad y del 2% al 3% de granos verdes (Anexo 3).

La recolección de las muestras se realizó con un marco de 0.25×0.25 metros en cada uno de los puntos de muestreos, estas muestras fueron tomadas totalmente marcadas para darle seguimiento a cada punto de estación. En el rendimiento se realizó la cosecha con un marco de PVC de un 1 m^2 y posteriormente se realizaron los análisis en equivalentes en kilogramos por hectárea.

En el momento de la cosecha se registraron las variables de rendimiento como son longitud de la panícula, granos llenos, granos totales, el peso de los 1 000 granos. Para estas actividades en cada muestra recolectada se seleccionaron 10 macollas al azar y se le realizaron las evaluaciones. Se registró el peso de 1 000 granos llenos por cada una de las muestras. En caso de que no se completaran los 1 000 granos con las plantas escogidas, se tomaron otras plantas hasta completar los 1 000 granos.

4.5. Análisis de datos

Todas las variables evaluadas en este estudio se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial con medidas repetidas en el tiempo. En el caso de las variables epidemiológicas, antes de proceder con cualquier tipo de análisis estadístico, se realizó una transformación de los datos de incidencia y severidad con el fin de satisfacer los criterios de normalidad requeridos para el análisis de varianza (ANDEVA). La incidencia se transformó al

arcoseno $\sqrt{\frac{y(\%)}{100}}$ y la severidad se transformó a la $\sqrt{S + 0.5}$, donde y (%) es la incidencia de las enfermedades y S es el valor en la escala de la severidad de las enfermedades (Quinn y Keough, 2009). Posteriormente se realizó el ANDEVA con el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Intensidad de las enfermedades

La intensidad de las tres enfermedades que se presentaron en las variedades de arroz evaluadas se expresó en términos de severidad y el área bajo la curva de progreso de las enfermedades (ABCPE). Las tres enfermedades que se evidenciaron en el presente estudio fueron el “mal del pie”, causada por *Gaeumannomyces* spp; añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*); y la piriculariosis o añublo del arroz (*Pyricularia oryzae*).

5.1.1. Severidad de las enfermedades en la variedad Lazarroz FL

El análisis de varianza (ANDEVA) detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) en la severidad de las enfermedades a través del tiempo (días después de la emergencia – DDE), entre patógenos ($p = 0.0067$; $\alpha = 0.05$), pero no en la interacción DDE \times patógenos ($p = 0.1225$; $\alpha = 0.05$). La severidad final de *R. solani* sobre la variedad Lazarroz FL fue de 12.3%, mientras que la de *Gaeumannomyces* spp., fue de 8% (Cuadro 1). El añublo de la vaina causado por *R. solani* inició con un 4% de severidad a los 64 DDE y finalizó con un 28% a las 99 DDE. La enfermedad “mal del pie” ocasionado por *Gaeumannomyces* spp., inició hasta los 78 DDE con un 10% de severidad y finalizó con un 14% a los 99 DDE (Figura 3).

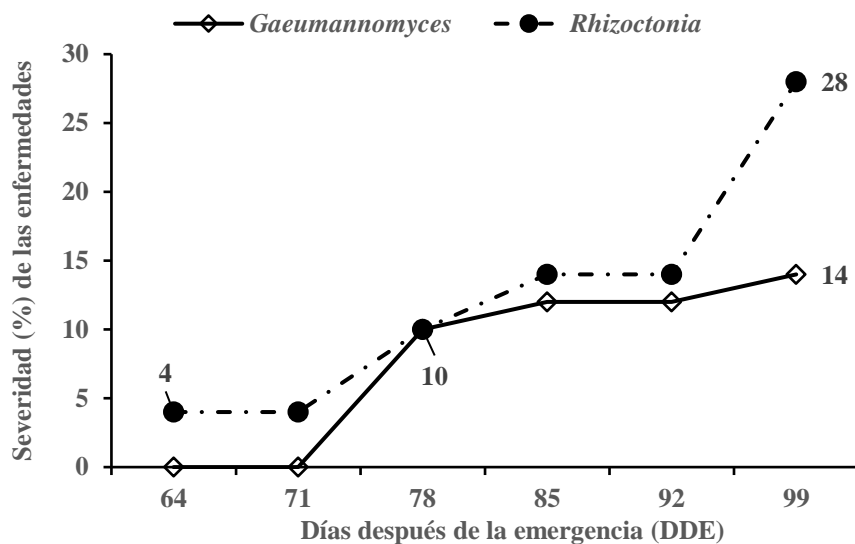


Figura 3. Curvas de progreso del añublo de la vaina (*R. solani*) y del mal del pie (*Gaeumannomyces* spp) en la variedad Lazarroz FL.

5.1.2. Severidad de las enfermedades en la variedad Puita INTA-CL

En la variedad Puita INTA-CL, el ANDEVA demostró que hubo diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) en la severidad de las enfermedades en los DDE, entre patógenos ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), pero no en la interacción DDE \times patógenos ($p = 0.0671$; $\alpha = 0.05$). La severidad final de *R. solani* sobre la variedad Puita INTA-CL fue de 25%, mientras que la de *Gaeumannomyces* spp., fue de 6.9% (Cuadro 1). El añublo de la vaina causado por *R. solani* inició con un 4% de severidad a los 57 DDE y finalizó con un 40% a las 99 DDE. La enfermedad “mal del pie” ocasionado por *Gaeumannomyces* spp., inició a los 64 DDE con un 4% de severidad y finalizó con un 12% a los 99 DDE (Figura 4).

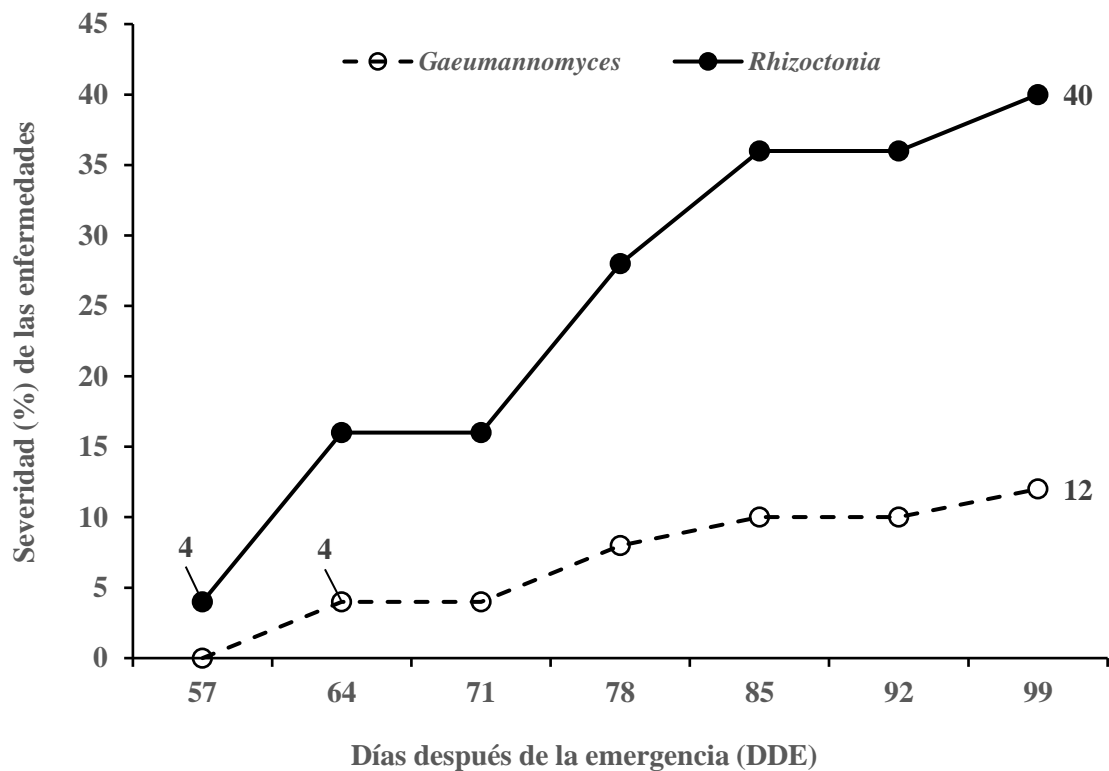


Figura 4. Curvas de progreso del añublo de la vaina (*R. solani*) y del mal del pie (*Gaeumannomyces* spp) en la variedad Puita INTA-CL.

5.1.3. Severidad de las enfermedades en la variedad Palmar 18

En la variedad Palmar 18, el ANDEVA indicó que hubo diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) en la severidad de las enfermedades en los DDE, entre patógenos ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), y en la interacción DDE \times patógenos ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En esta variedad se observaron tres enfermedades: el añublo de la vaina (*R. solani*), el mal del pie (*Gaeumannomyces* spp) y piriculariosis o añublo del arroz (*P. oryzae*). La severidad final de *R. solani* sobre la variedad Palmar 18 fue de 15%, la de *Gaeumannomyces* spp., fue de 5.8%, mientras que *P. oryzae* ocasionó un 5.3% de severidad (Cuadro 1). El añublo de la vaina causado por *R. solani* inició con un 4% de severidad a los 36 DDE y finalizó con un 42% a las 99 DDE. La enfermedad “mal del pie” ocasionado por *Gaeumannomyces* spp., inició a los 78 DDE con un 4% de severidad y finalizó con un 24% a los 99 DDE. La piriculariosis inició a los 36 DDE con un 2% de severidad y finalizó con un 13% a los 99 DDE (Figura 5).

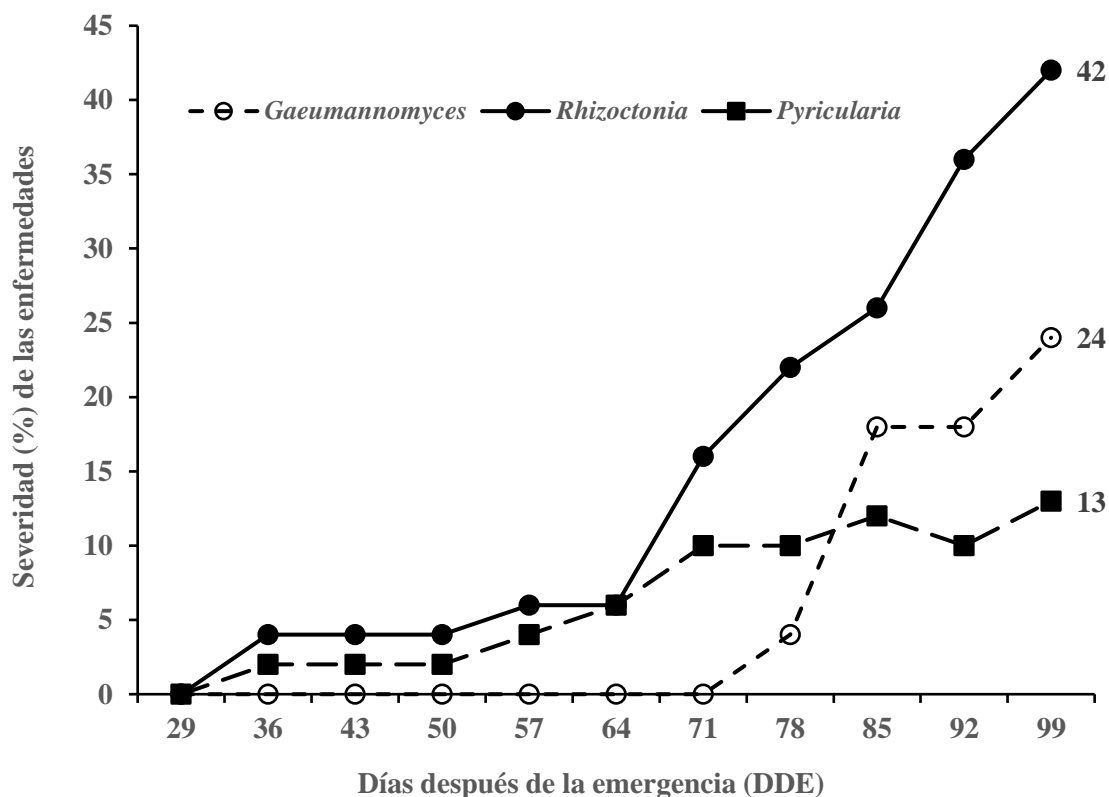


Figura 5. Curvas de progreso del añublo de la vaina (*R. solani*), del mal del pie (*Gaeumannomyces* spp) y piriculariosis (*P. oryzae*) en la variedad Palmar 18.

El ANDEVA reveló diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) en la severidad promedio de las enfermedades causadas por los patógenos *R. solani*, *Gaeumannomyces* spp., y *P. oryzae* y en las variedades ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). Los valores promedio de severidad más altos se observaron en la variedad Puita INTA-CL (16%) y Palmar 18 (15%), mientras que en la variedad Lazarroz FL la severidad promedio fue de 7% y correspondieron a la enfermedad añublo de la vaina (*R. solani*). Para las enfermedades mal del pie y piriculariosis la severidad promedio osciló entre 4% y 6% en las tres variedades evaluadas (Figura 6).

Cuadro 1. Valores promedios de severidad final de *R. solani*, *Gaeumannomyces* spp., y *P. oryzae* en las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18.

Patógenos	Severidad final (%) de las enfermedades en las variedades		
	Lazarroz FL	Puita INTA-CL	Palmar 18
<i>Gaeumannomyces</i> spp	8.0 a	6.9 a	5.8 a
<i>R. solani</i>	12.3 b	25 b	15 b
<i>P. oryzae</i>	-	-	5.3 a

Medias con letras diferentes en la columna de las variedades son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

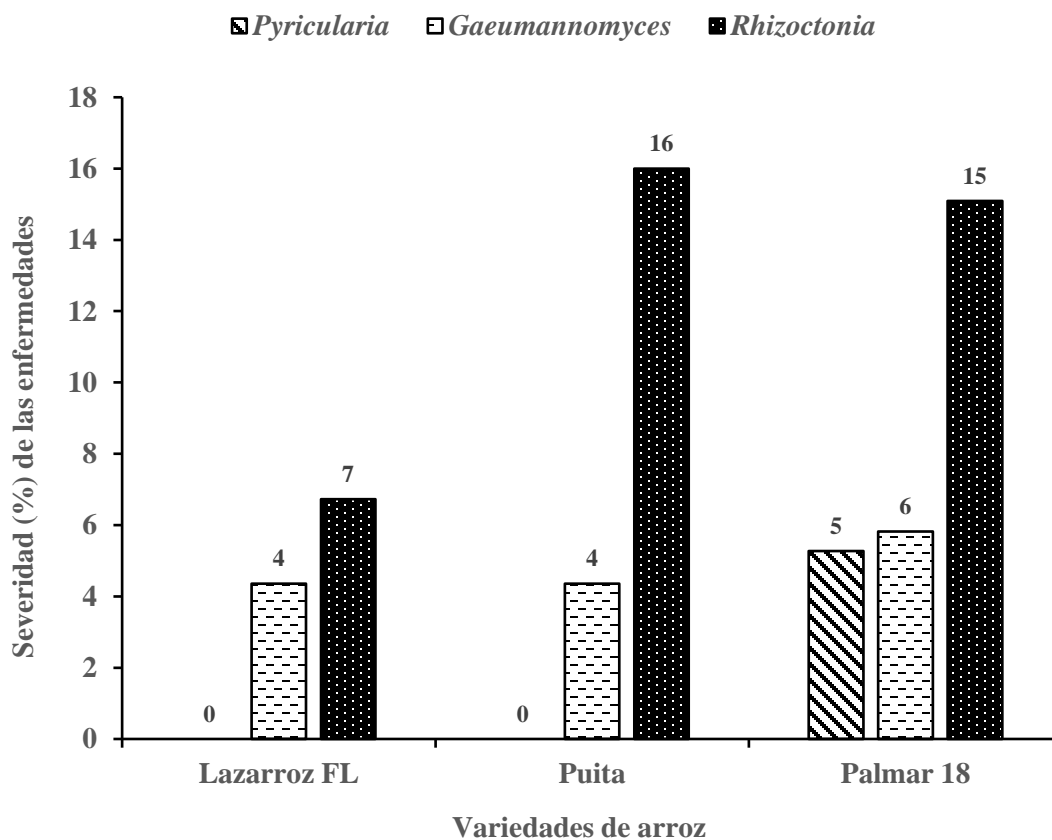


Figura 6. Valores de severidad promedio de las enfermedades añublo de la vaina (*R. solani*), mal del pie (*Gaeumannomyces* spp) y piriculariosis (*P. oryzae*) en las tres variedades de arroz.

En relación con el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), se encontraron diferencias significativas entre variedades ($p = 0.0355$; $\alpha = 0.05$), entre patógenos ($p = 0.0001$; $\alpha = 0.05$), pero no en la interacción variedad \times patógeno ($p = 0.1624$; $\alpha = 0.05$). Los valores más altos del ABCPE se observaron en las variedades Puita INTA-CL (1092 %-días) y Palmar 18 (1036 %-días) y correspondieron a la enfermedad añublo de la vaina (*R. solani*). En la variedad Lazarroz FL el ABCPE más alto fue de 420 %-días y fue debido también al añublo de la vaina. Para las enfermedades inducidas por los patógenos *Gaeumannomyces* spp., y *P. oryzae*, los valores de ABCPE fluctuaron entre 287 %-días y 406 %-días en las tres variedades evaluadas (Figura 7).

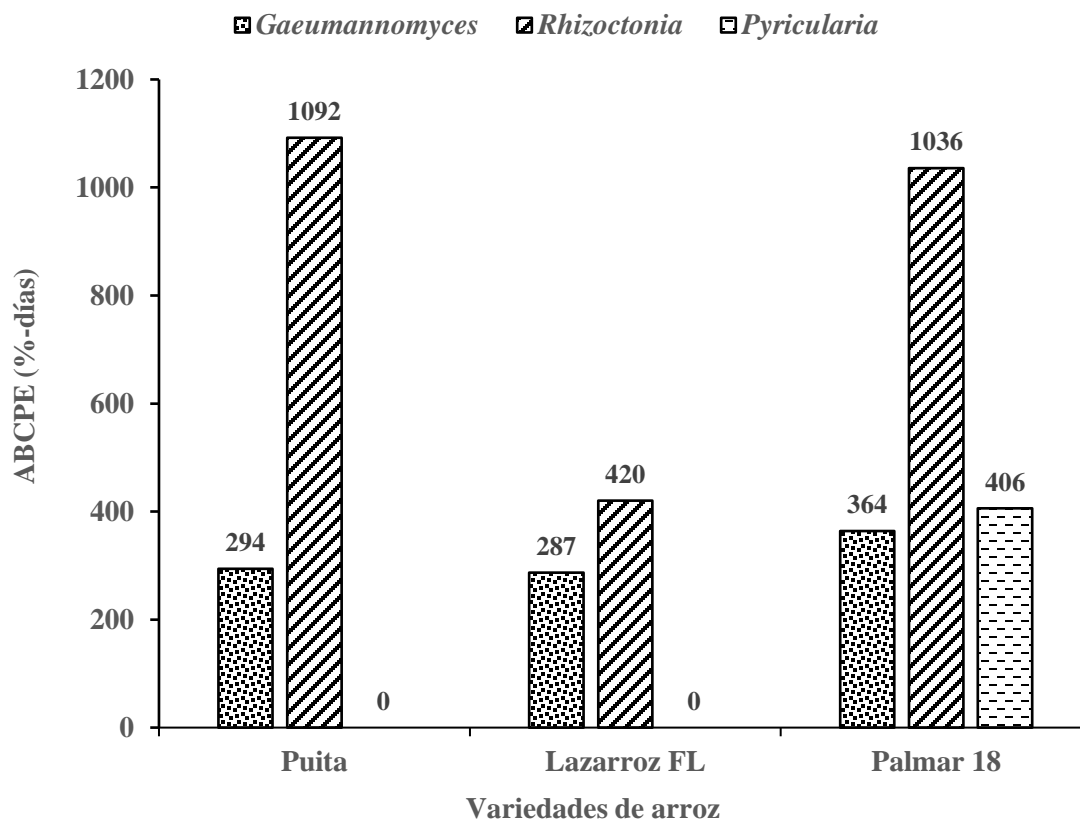


Figura 7. Valores del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción variedades \times patógenos.

Las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18, fueron susceptibles al añublo de la vaina causado por el hongo *R. solani*, lo cual se reflejó en los valores más altos de severidad y ABCPE que obtuvieron estos genotipos de arroz en comparación con las otras dos enfermedades que se presentaron durante la evaluación. Por un lado, el presente estudio concuerda con lo reportado por Tinoco Mora y Acuña Chinchilla (2009) con respecto a la susceptibilidad a *R. solani* de las variedades Puita INTA-CL y Palmar 18. Por otro lado, en el caso de la variedad Lazarroz FL, este estudio concuerda con Conarroz (2020), donde se reporta que está variedad es moderadamente susceptible al ataque de *R. solani*. Además, es importante destacar que los valores promedios tanto de severidad como de ABCPE de *R. solani* fueron más bajos en la variedad Lazarroz FL en comparación con los valores que registraron en las variedades Puita INTA-CL y Palmar 18, por lo que se podría hipotetizar que contiene genes que le ayudan a tolerar de forma más resiliente el ataque del patógeno.

El basidiomiceto *R. solani* contiene 14 grupos de anastomosis (AG1-AG13 y AGBI). El grupo de anastomosis AG-1 y el subgrupo IA ha sido señalado de causar infecciones en áreas de cultivo de arroz en todo el mundo. La pérdida de rendimiento de arroz de *R. solani* AG1 IA se ha registrado hasta en un 50% en condiciones favorables (Bernardes-De-Assis *et al.*, 2009; Dörfors *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2020).

Hasta la fecha, no se ha identificado ningún cultivar con resistencia completa después del tamizado de miles de cultivares de arroz en varias regiones del mundo. Debido a la falta de germoplasma resistente a *R. solani*, el éxito en los programas de mejoramiento convencional ha sido muy limitado (Li *et al.*, 2021; Shi *et al.*, 2020). Sin embargo, en el presente estudio la variedad Lazarroz FL se podría considerar como un genotipo promisorio para estudios futuros que involucren la obtención de cultivares tolerantes a *R. solani*.

Con respecto al patógeno *Gaeumannomyces* spp., éste se presentó en los tres genotipos de arroz evaluados, Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18, pero con valores bajos de severidad y del ABCPE. En Nicaragua, de *Gaeumannomyces* spp., solamente se conoce un estudio llevado a cabo por Rivera Rivas (2020), en el cual identificó a la especie *G. oryzinus* en muestras infectadas de plantas de arroz provenientes de arroceras localizadas en Malacatoya (Granada) y de San Lorenzo (Boaco). En países latinoamericanos como Brasil, Perú, Colombia y Cuba, *Gaeumannomyces* spp., ha sido reportado como un patógeno importante en el cultivo de arroz (Briones, 2014; Martínez *et al.*, 2014; Prabhu y Filippi, 2002; Salazar, 2014). Por lo antes expuesto, es importante continuar realizando labores de vigilancia epidemiológica sobre el comportamiento de este patógeno en las diferentes zonas arroceras de nuestro país a fin de evitar de que se convierta en problema fitopatológico de difícil manejo.

En lo concerniente al hongo *P. oryzae* agente causal del añublo del arroz, se observó su presencia solamente en la variedad Palmar 18, aun cuando existen reportes que indican que la variedad Puita INTA-CL también se infecta con el hongo, pero exhibe tolerancia a este patógeno (Conarroz, 2020). En Nicaragua, no existen estudios donde se haya evaluado el comportamiento epidemiológico de las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18 en presencia del patógeno *P. oryzae*. Por consiguiente, esta es la primera investigación que da

a conocer aspectos relacionados con la severidad de *P. oryzae* en las tres variedades de arroz que fueron evaluadas en el presente estudio.

5.2. Fluctuación poblacional de sogata (*Tagosodes orizicolus*)

De acuerdo al ANDEVA, en el caso del número de ninfas hubo diferencias significativas entre los DDE ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), entre variedades ($p = 0.0010$; $\alpha = 0.05$), pero no en la interacción variedades \times DDE ($p = 0.1094$; $\alpha = 0.05$). El número promedio más alto de ninfas por pase de malla entomológica se registró en la variedad Puita INTA-CL con 3.9, en la variedad Palmar 18 fue de 3.7 y en la variedad Lazarroz FL fue de 2 ninfas (Cuadro 2).

En el conteo de adultos de sogata, el ANDEVA indicó que hubo diferencias significativas solamente entre los DDE ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), pero no entre variedades ($p = 0.0523$; $\alpha = 0.05$), ni en la interacción variedades \times DDE ($p = 0.3616$; $\alpha = 0.05$). El número promedio más alto de adultos se observó en la variedad Palmar 18 con 2.7, mientras que en la variedad Puita INTA-CL fue de 2.5 adultos por pase de malla entomológica. En la variedad Lazarroz FL se registró el valor más bajo de adultos con 1.8 por pase de red (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número promedio de ninfas y adultos de sogata (*T. orizicolus*) en las variedades de arroz Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18.

Variedad	Estadios de la sogata (<i>T. orizicolus</i>)	
	Ninfas	Adultos
Lazarroz FL	2.0 a	1.8 a
Palmar 18	3.7 b	2.7 a
Puita INTA-CL	3.9 b	2.5 a

Medias con letras diferentes en la columna de los estadios son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

A los 64 DDE se presentaron tres picos poblacionales de ninfas de sogata, siendo el mayor en la variedad Puita INTA-CL con 13 individuos. En la variedad Palmar 18 se registraron 10 ninfas, mientras que en la variedad Lazarroz FL se observó un promedio de 4.2 ninfas por pase de red (Figura 8).

En el caso de los adultos de sogata, los picos poblacionales se presentaron a los 71 DDE, el mayor de los cuales se registró en la variedad Puita INTA-CL con 7.6 individuos. En la variedad Palmar 18, el número de adultos encontrados fue de 5.6, mientras que en la variedad Lazarroz FL el número promedio de adultos de sogata fue de 4.6 (Figura 9).

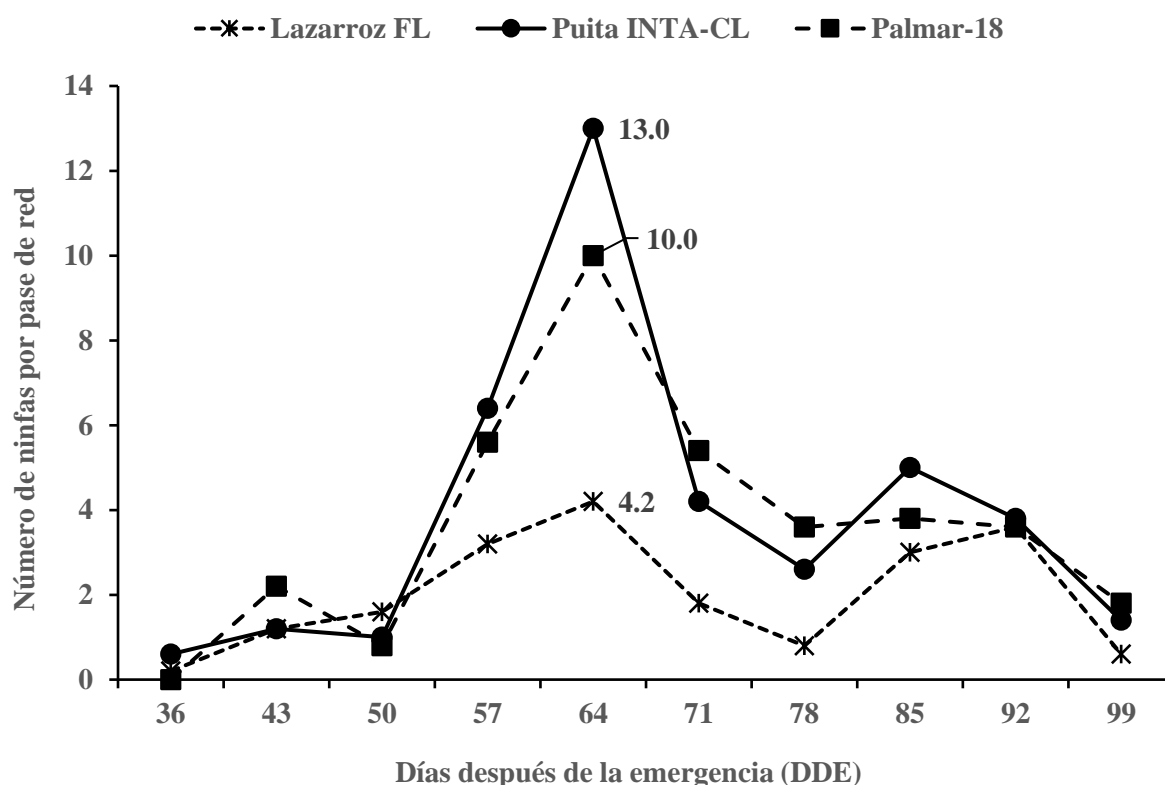


Figura 8. Fluctuación de ninfas de sogata en las variedades (Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL).

La presencia de sogata en el cultivo de arroz tiene una doble importancia, ya que por un lado provoca daño mecánico al alimentarse y ovipositar sobre el cultivo y, por otro lado, causa un daño indirecto al transmitir al Virus de la Hoja Blanca (VHB). El insecto puede transmitir el virus como ninfa o adulto (Morales y Jennings, 2010). En el presente estudio no se observó esta patología y se puede afirmar que las poblaciones tanto de las ninfas como de los adultos fueron bajas si se comparan con el umbral de acción que se ha establecido en Venezuela por Vivas *et al.*, (2009), el cual indica que se debe aplicar el control químico cuando el número de adultos es igual a mayor de 15.

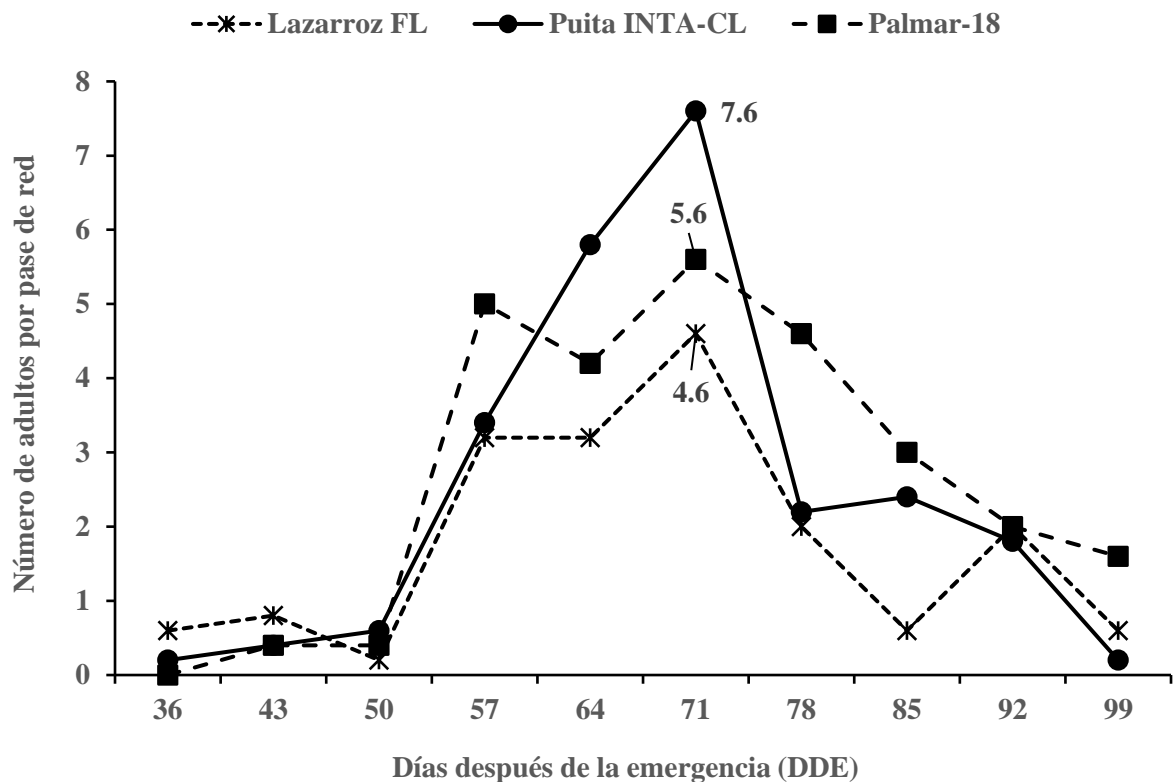


Figura 9. Fluctuación de adultos de sogata en las variedades (Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL).

La presente investigación se llevó a cabo durante el período seco y existen varios reportes que indican que durante la temporada seca la abundancia del insecto es mayor. En un estudio llevado a cabo por Vivas-Carmona *et al.*, (2017), encontraron que durante la época seca y lluviosa la abundancia promedio del insecto fue de 11006.94 y 99.29 individuos respectivamente. En otro estudio realizado en Colombia por Saavedra de Castro y Fernández Herrera (2019), reportan que en la época seca el número de individuos fue 201, mientras que en la época lluviosa el conteo fue de 107 individuos. No obstante, otra investigación indica que el número de individuos de sogata en época seca osciló entre 1.27 y 4.06 (Vivas-Carmona *et al.*, 2009), lo cual coincide con el número de adultos de sogata encontrados en el presente estudio el cual osciló entre 1.8 y 2.5 individuos (Cuadro 2).

El bajo número de individuos de sogata encontrados en el presente estudio son una indicación de que se realizó un buen manejo del insecto y por consiguiente no hubo presencia del VHB,

ya que se ha establecido que solamente un 5%-15% de los individuos en una población dada de sogata pueden transmitir el VHB (Morales y Jennings, 2010). Además, una suposición es que dentro de los individuos de sogata presentes en el cultivo de arroz no había vectores del virus.

5.3. Rendimiento de las variedades evaluadas

Se encontraron diferencias significativas entre variedades en altura de plantas ($p < 0.0123$; $\alpha = 0.005$), número de plantas por metro cuadrado ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.005$) y número de macollas por metro cuadrado ($p < 0.0039$; $\alpha = 0.005$). El ANDEVA también reveló que hubo diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.005$) en la interacción variedades \times DDE con respecto a la altura de plantas. La variedad Puita INTA-CL fue la que presentó mayor altura promedio con 97.3 cm y la de menor altura fue la variedad Palmar 18 con 87.1 cm, pero fue la que desarrolló mayor número de plantas por metro cuadrado con 497 y mayor número de macollas por metro cuadrado con 124. En la variedad Lazarroz FL se registró un valor intermedio de altura de planta con 87.5 cm y no se diferenció estadísticamente de la variedad Palmar 18 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de la altura de planta (AP), número de plantas por metro cuadrado (NP m⁻²) y número de macollas por metro cuadrado (NM m⁻²) en tres variedades de arroz

Variedad	AP	NP m ⁻²	NM m ⁻²
Palmar 18	87.1 a	497 b	124 b
Lazarroz FL	87.5 a	409 a	83 a
Puita INTA CL	97.3 b	435 a	79 a

Medias con letras diferentes en las columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Con respecto a la altura de plantas, el presente estudio coincide con lo que reporta la Corporación Arrocera Nacional (Conarroz, 2020), ya que las variedades Palmar 18 y Puita pueden crecer hasta 105 cm y 87 cm respectivamente, mientras que la variedad Lazarroz FL puede crecer entre 115 cm y 120 cm.

Según la escala de evaluación de altura de plantas de arroz del Instituto Internacional de Investigación Sobre el Arroz (IRRI, 2013), las tres variedades de arroz que se evaluaron en el presente estudio están en la categoría de plantas semienanas porque todas alcanzaron una

altura menor de los 100 cm. La altura de la planta es una característica agronómica importante del arroz que afecta directamente el rendimiento de este cultivo. El fenotipo enano es beneficioso para evitar el acame del arroz, pero si las plantas son demasiado bajas, provocará un crecimiento insuficiente y, en última instancia, afectará el potencial de rendimiento. Por lo tanto, es fundamental mantener la altura de la planta en tamaños apropiados para evitar el acame y aumentar el rendimiento (Zhang *et al.*, 2017). El desarrollo de variedades semienanas a través de la heterosis ha aumentado sustancialmente el rendimiento del arroz en los últimos 50 años (Qian *et al.*, 2016; Xing y Zhang, 2010).

Según el ANDEVA, entre variedades hubo diferencias significativas en el número de panículas por metro cuadrado – NPA m⁻² ($p = 0.0225$; $\alpha = 0.05$), número de granos totales por panícula – NGTPA ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), porcentaje de granos llenos – PGrLl ($p = 0.0015$; $\alpha = 0.05$) y en el peso de mil granos – PeMGr ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). La variedad Puita INTA CL fue superior a las variedades Palmar 18 y Lazarroz FL en cuanto a los tres primeros parámetros de rendimiento (NPA m⁻², NGTPA y PGrLl), pero inferior con respecto al PeMGr y se diferenció estadísticamente de las variedades Palmar 18 y Lazarroz FL (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de panículas por metro cuadrado (NPA m⁻²), número de granos totales por panícula (NGTPA), porcentaje de granos llenos (PGrLl) y peso de 1 000 granos (PeMGr) en gramos

Variedad	NPA m ⁻²	NGTPA	PGrLl	PeMGr
Palmar 18	50 a	60 a	84 a	31 b
Lazarroz FL	73 ab	83 b	92 b	30 b
Puita INTA CL	78 b	106 c	95 b	25 a

Medias con letras diferentes en las columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En cuanto al rendimiento, no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p = 0.3919$; $\alpha = 0.05$) entre las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18. Sin embargo, se pudo observar que en la variedad Lazarroz FL se obtuvo el valor promedio de rendimiento más alto (11.38 t ha⁻¹) en comparación con las variedades Puita INTA-CL y Palmar 18 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento de las variedades Lazarroz FL, Puita INTA-CL y Palmar 18 expresado en kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹) y toneladas por hectárea (t ha⁻¹).

Variedad	Rendimiento	
	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹
Palmar 18	10 140 a	10.14 a
Puita INTA-CL	10 220 a	10.22 a
Lazarroz FL	11 378 a	11.38 a

El rendimiento estimado para cada una de las variedades evaluadas en el presente estudio fue alto si lo comparamos con lo que reporta Conarroz (2020) para las variedades Palmar 18 y Puita INTA-CL. El rendimiento potencial de la variedad Palmar 18 es de 5-8 t ha⁻¹, para la variedad Puita INTACL es de 4-5.9 t ha⁻¹, mientras que de la variedad Lazarroz FL es de 8 – 9 t ha⁻¹. (Conarroz, 2020).

En algunas investigaciones se indica que, en el arroz, el rendimiento está determinado por características indirectas como la altura de la planta, el período de crecimiento, la capacidad de macollamiento, la longitud de la panoja, la longitud de la semilla, la tasa de formación de semillas y los granos por panícula, así como por características directas como el número de panículas por unidad de área y/o por planta, granos llenos por panícula y peso de 1 000 granos (Li *et al.*, 2019; Sakamoto y Matsuoka, 2008).

Otras investigaciones son más categóricas al afirmar que el rendimiento en el arroz está determinado por tres componentes principales: número de panojas por planta, número de granos por panoja y peso del grano. El presente estudio coincide con Huang *et al.*, (2013), los cuales expresan que el componente más confiable es el peso del grano, que se mide como el peso de 1 000 granos. Esto fue especialmente más evidente para la variedad Lazarroz FL en la cual se obtuvo el rendimiento más alto, aunque el peso de 1000 granos fue estadísticamente igual al de la variedad Palmar 18 (Cuadro 4).

Los componentes de rendimiento se compensan entre sí, y un aumento o disminución en un componente no necesariamente resulta en un aumento general en el rendimiento de grano. Es difícil aumentar el potencial de rendimiento del arroz mejorando solamente uno de sus componentes (Li *et al.*, 2015; Qian *et al.*, 2016). Por ejemplo, un aumento en el rendimiento

de grano no solo necesita agrandar el tamaño del sumidero aumentando el número de panículas, sino que también requiere el ajuste de otros procesos de formación de rendimiento (Li *et al.*, 2019).

El rendimiento en arroz se puede aumentar mediante el fitomejoramiento de nuevas variedades con un mayor potencial de rendimiento, pero también mediante un manejo adecuado del cultivo y de los recursos que se utilizan. Entre las prácticas que se podrían mencionar están un buen manejo de nutrientes y agua, métodos adecuados de siembra y densidad, los cuales han demostrado que son altamente efectivos para mejorar el rendimiento en el cultivo de arroz (Das *et al.*, 2018; Usui *et al.*, 2016).

En esta investigación se realizó un buen manejo de nutrientes y agua de acuerdo con los requerimientos del cultivo y se suministraron en el momento oportuno. Además, el manejo de plagas insectiles, enfermedades y malezas también fue efectivo, ya que se llevó a cabo un monitoreo sistemático y se hicieron las aplicaciones cuando era necesario. Otro aspecto importante de resaltar es que solamente en el caso de las malezas se utilizaron herbicidas convencionales porque para el manejo de plagas insectiles y de enfermedades se hizo uso de productos biológicos y botánicos. Todos estos factores mencionados en su conjunto, en definitiva, contribuyeron al bajo impacto negativo que se observó de las plagas insectiles y enfermedades sobre el rendimiento del cultivo.

VI. CONCLUSIONES

- La enfermedad “anublo de la vaina” causada por el hongo *R. solani* fue la que se observó con mayor severidad en los tres genotipos de arroz evaluados, siendo la variedad Lazarroz FL con la de menor afectación.
- El número promedio de ninfas y adultos de la sogata (*T. orizicolus*) fue bajo y no alcanzó el umbral económico que está establecido para este insecto a pesar que el estudio se realizó en época seca que es cuando se debería encontrar una mayor densidad poblacional.
- El rendimiento de las variedades evaluadas en esta investigación, Lazarroz FL, Palmar 18 y Puita INTA-CL superaron los valores de rendimiento potencial que se reportan en otras investigaciones.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en otras regiones arroceras del país se retomen las prácticas de manejo del cultivo que se han descrito en esta investigación a fin de obtener mejores rendimientos y hacer un mejor manejo de los problemas fitosanitarios con un menor impacto negativo sobre el ambiente.
- Se recomienda el uso de la variedad Lazarroz FL, por sus características agronómicas y fitosanitarias demostradas en la presente investigación.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adorada, D.L., Stodart, B.J., Pangga, I.B., and Ash, G.J. (2015). Implications of bacterial contaminated seed lots and endophytic colonization by *Pseudomonas fuscovaginae* on rice establishment. *Plant Pathology* 64:43-50.
- Batoko, H., Bouharmont, J., Kinet, J.-M., and Maraite, H. (1997). Involvement of toxins produced by *Pseudomonas fuscovaginae* in aetiology of rice bacterial sheath Brown rot. *Journal of Phytopathology* 145:525-531.
- Bernardes-de-Assis, J., Storari, M., Zala, J., Wang, W., Jiang, W., ShiDong, L., Jin, M., McDonald, B. A., and Ceresini, P. C. (2009). Genetic structure of populations of the rice infecting pathogen *Rhizoctonia solani* AG-1 IA from China. *Phytopathology* 99:1090-1099
- Bigirimana, V.P., Hua, G.K.H., Nyamangyoku, O.I., and Höfte, M. (2015). Rice Sheath Rot: An emerging ubiquitous destructive disease complex. *Frontiers in Plant Science* 6:1-16.
- Briones, G.F. (2014). Efecto de *Trichoderma asperellum* sobre la incidencia y severidad de *Rhizoctonia solani* y *Gaeumannomyces graminis* en la zona de Daule (Tesis Ingeniero Agrónomo). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Cardona, R. (2013). *Sarocladium oryzae*: agente causal de la pudrición de la vaina del arroz en Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 33:80-82
- Chaudhari, P.R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., and Sharma, D. (2018). Rice nutritional and medicinal properties: A review article. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7:150-156.
- Chauhan, B.S. (2013). Strategies to manage weedy rice in Asia. *Crop Protection* 48:51-56.
- Cordero Flores, P., y Manzaneda Delgado, F. 2021. Evaluación agronómica de seis variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) sembradas en dos épocas bajo riego, en el municipio de San Buenaventura, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, La Paz 8(1):7-16.
- Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ). (2020). Informe anual estadístico. San José, Costa Rica. https://www.conarroz.com/userfile/file/Informe_Anual_2019_2020.
- Cother, E.J., Stodart, B., Noble, D.H., Reinke, R., and Van De Ven, R.J. (2009). Polyphasic identification of *Pseudomonas fuscovaginae* causing sheath and glume lesions on rice in Australia. *Australasian Plant Pathology* 38:247-247.
- Das, K., Panda, B.B., Shaw, B.P., Das, S.R., Dash, S.K., Kariali, E., Mohapatra, P.K. (2018). Grain density and its impact on grain filling characteristic of rice: mechanistic testing of the concept in genetically related cultivars. *Scientific Reports* 8:1-12.

- Datnoff, L. E., Elliott, M. L., and Jones, D. B. (1993). Black sheath rot caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* on rice in Florida. *Plant Disease* 77:210.
- Datnoff, L. E., Elliott, M. L., and Krausz, J. P. (1997). Cross pathogenicity of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* from Bermudagrass, St. Augustinegrass, and rice in Florida and Texas. *Plant Disease* 81:1127-1131.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 p.
- Dörfors, F., Holmquist, L., Dixelius, C., and Tzelepis, G. (2019). A LysM effector protein from the basidiomycete *Rhizoctonia solani* contributes to virulence through suppression of chitin triggered immunity. *Molecular Genetics and Genomics*. 294:1211-1218.
- Duan, L., Liu, H., Li, X., Xiao, J. and Wang, S. (2014). Multiple phytohormones and phytoalexins are involved in disease resistance to *Magnaporthe oryzae* invaded from roots in rice. *Physiologia Plantarum* 152:486-500.
- Dunnan, V., and Roy, B. (2013). Chapter 4: Rice (*Oryza sativa* L.). In: *Breeding Biotechnology and Seed Production of Field Crops*. Roy, B., Basu, A.K., and Mandal, A.B. (eds). New India Publishing Agency New Delhi. 71-122 pp.
- Echeverri-Rico, J. (2016). “Mal del pie”, objetivo prioritario de la investigación en arroz. *Revista Arroz* 64:10-19.
- Fageria, N.K. (2007). Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition* 30:843-879.
- Fahad, S., Muhammad, Z.I., Abdul, K., Ihsanullah, D., Saud, S., Saleh, A., Nasim, W., Abdullah, M., Khan, I.A., Wu, C., Wang, D., and Huang, J. (2018). Consequences of high temperature under changing climate optima for rice pollen characteristics-concepts and perspectives. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64:1473-1488.
- Fahad, S., Adnan, M., Noor, M., Arif, M., Alam, M., Ali Khan, I., Ullah, H., Wahid, F., Mian, I.A., Jamal, Y., Basir, A., Hassan, S., Saud, S., Riaz, M., Wu, C., Khan, M.A., and Wang, D. (2019). Major constraints for global rice production. In: *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*. Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Nahar, K., and Biswas, J.K. (eds.) Woodhead Publishing. 986 p.
- Fuller, D.Q., Sato, Y.-I., Castillo, C., Qin, L., Weisskopf, A.R., Kingwell-Banham, E.J., Song, J., Ahn, S.-M., and Van Etten, J. (2010). Consilience of genetics and archaeobotany in the entangled history of rice. *Archaeological and Anthropological Sciences* 2:115-131.
- Fuller, D.Q. (2011). Pathways to Asian civilizations: tracing the origins and spread of rice and rice cultures. *Rice* 4:78-92.

- Fuller, D.Q., Van Etten, J., Manning, K., Castillo, C., Kingwell-Banham, E., Weisskopf, A., Qin, L., Sato, Y.-I., and Hijmans, R.J. (2011). The contribution of rice agriculture and livestock pastoralism to prehistoric methane levels: an archaeological assessment. *The Holocene* 21:743-759.
- Fundación Proarroz. (2015). Puita INTA-CL. Arroz resistente a herbicida. Disponible en <https://proarroz.com.ar/informacion-de-interes/variedades-de-arroz/puita-inta-cl>.
- Gopalakrishnan, C., Kamalakannan, A., and Valluvaparidasan, V.(2010). Effect of seed-borne *Sarocladium oryzae*, the incitant of rice sheath rot on rice seed quality. *Journal of Plant Protection Research* 50:98-102.
- Hawerth, C., Araujo, L., and Ávila Rodrigues, F. (2017). Infection process of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* on the roots and culms of rice. *Journal of Phytopathology*. 165:692-700.
- Heinrichs, E.A., and Muniappan, R. (2017). IPM for tropical crops: rice. *CAB Reviews* 12:1-31.
- Huang, R., Jiang, L., Zheng, J., Wang, T., Wang, H., Huang, Y., and Hong, Z. (2013). Genetic bases of rice grain shape: so many genes, so little known. *Trends Plant Sci.* 18:218-226.
- International Rice Research Institute (IRRI). (2013). Standard Evaluation System (SES) for Rice. 5th Edition. Manila, Philippines. 65 p.
- Katayama, N., Baba, Y.G., Kusumoto, Y., and Tanaka, K.(2015). A review of post-war changes in rice farming and biodiversity in Japan. *Agricultural Systems* 132:73-84.
- Ke, Y., Deng, H., and Wang, S. (2017). Advances in understanding broad-spectrum resistance to pathogens in rice. *The Plant Journal* 90:738-748.
- Kumar, K.V.K., Reddy, M.S., Kloepper, J.W., Lawrence, K.S., Groth, D.E., and Miller, M.E. (2009). Sheath blight disease of rice (*Oryza sativa* L.) - an overview. *Biosciences Biotechnology Research Asia* 6:465-480.
- Li, T., Hasegawa, T., Yin, X., Zhu, Y., Boote, K., Adam, M., Bregaglio, S., Buis, S., Cofalonieri, R., Fumoto, T., Gaydon, D., Marcaida III, M., Nakagawa, H., Oriol, P., Ruane, A.C., Ruget, F., Singh, B., Singh, U., Tang, L., Tao, F., Wilkens, P., Yoshida, H., Zhang, Z., and Bouman, B. (2015). Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. *Global Change Biology* 21:1328-1341.
- Li, R., Li, M., Ashraf, U., Liu, S., and Zhang, J. (2019) Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. *Frontiers in Plant Science* 10:1-12.

- Li, D., Li, S., Wei, S., and Sun, W. (2021). Strategies to manage Rice Sheath Blight: Lessons from interactions between rice and *Rhizoctonia solani*. *Rice* 14:1-15.
- Liu, W., Liu, J., Triplett, L., Leach, J.E., and Wang, G.L. (2014). Novel insights into rice innate immunity against bacterial and fungal pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 52:213-241.
- Lloyd, B.J., Siebenmorgen, T.J., Beers, K.W. (2000). Effects of commercial processing on antioxidants in rice bran. *Cereal Chemistry* 75:551-555.
- Lv, J., Wilson, L.T., and Longnecker, M.T. 2008. Tolerance and compensatory response of rice to sugarcane borer (Lepidoptera: Cambidae) injury. *Environmental Entomology* 37:796-807.
- Martínez, E., Abreu, J., y García, D. (2014). Presencia de *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* y *Magnaporthe salvinii* en variedades de arroz cultivadas en Cuba. *Fitosanidad* 18:163-168.
- Mew, T.W., and Gonzales, P. (2002). A Handbook of rice seedborne fungi. Enfield, NH: Science Publishers. 91 p.
- Morales, F.J., and Jennings, P.R. (2010). Rice hoja blanca: a complex plant-virus-vector pathosystem. *CAB Reviews* 5:1-16.
- Ning, Y., and Wang, G.-L. (2018). Breeding plant broad-spectrum resistance without yield penalties. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 2859-2861.
- Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144:31-43.
- Ospina, J.O., e Higuera, A. O. (2008). Anaranjamiento asociado al cultivo del arroz en Colombia. *Fedearroz* 55:28-37.
- Pantha, P., Shrestha, S.M., Manandhar, H.K., Gaire, S.P., Aryal, L., and Yadav, D.R. (2017). Evaluation of rice genotypes for resistance against brown spot disease caused by *Bipolaris oryzae*. *International Journal of Current Research* 9 (04):48562-48569.
- Park, D.-S., Sayler, R.J., Hong, Y.-G., Nam, M.-H., and Yang, Y. (2008). A method for inoculation and evaluation of rice sheath blight disease. *Plant Disease* 92:25-29.
- Parker, D., Beckmann, M., Enot, P., Overy, D.P., Rios, Z.C., Gilbert, M. and Draper, J. (2008). Rice blast infection of *Brachypodium distachyon* as a model system to study dynamic host/pathogen interactions. *Nature Protocols* 3:435-445.
- Peixoto, C.N., Ottoni, G., Filippi, M.C.C., Silva-Lobo, V.L., and Prabhu, A.S. (2013). Biology of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* isolates from rice and grasses and epidemiological aspects of crown sheath rot of rice. *Tropical Plant Pathology* 38:495-504.

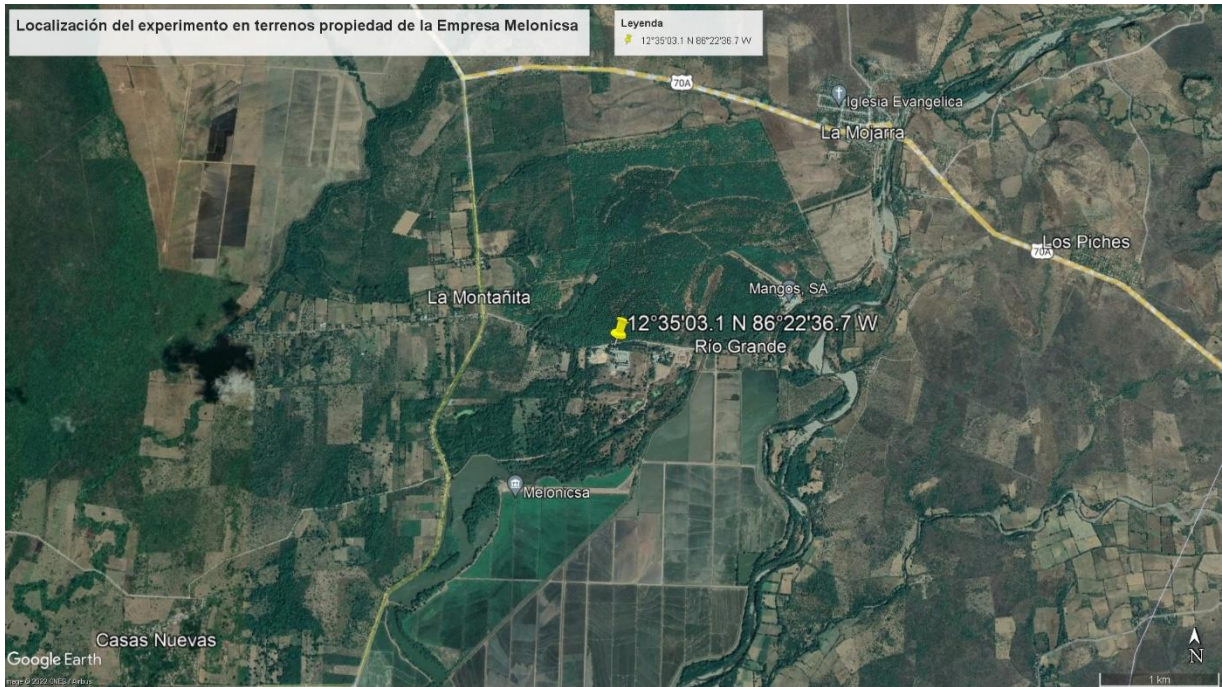
- Peixoto, C. N., Ottoni, G. F., Silva-Lobo, V. L., Filippi, M. C. C., & Prabhu, A. S. (2014). Mal-do-pé do arroz: Hospedeiros e resistência varietal a *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 44:318-324.
- Prabhu, A. S., and Filippi, M. C. (2002). Ocorrência do mal-do-pé causado por *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, uma nova enfermidade em arroz no Brasil. *Fitopatological Brasileria*, 27:417-419.
- Qian, Q., Guo, L.B., Smith, S.M., and Li, J.Y. (2016). Breeding high-yield superior quality hybrid super rice by rational design. *National Science Review* 3:283-294.
- Quinn, G. P., and Keough, M. J. (2009). *Experimental design and data analysis for biologists*. Eighth printing. New York, USA. Cambridge University Press, New York, US. 537 p.
- Qureshi, A., Sami, S.A., and Khan, F.A. (2002). Effects of stabilized rice bran in humans with type I and type II diabetes. *Journal of Nutritional Biochemistry* 13:175-187.
- Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K., and Mortimer, A.M. (2007). Weed management in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy* 93:153-255.
- Rivera Rivas, R.M. (2020). Morfología, proceso infeccioso y sensibilidad a fungicidas comerciales de tres aislados de *Gaeumannomyces* spp en Nicaragua (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Rubia, E.G., Heong, K.L., Zalucki, M., Gonzales, B., and Norton, G.A. (1996). Mechanisms of compensation of rice plants to yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* (Walker) injury. *Crop Protection* 15:335-340.
- Saavedra de Castro, E., y Fernández Herrera, C. (2019). Fluctuación poblacional de insectos fitófagos asociados a las fases fenológicas en arroz riego en dos épocas de siembra. *Arroz* 67:16-25.
- Salazar, L. (2014). Elaboración de escalas diagramáticas de severidad en hoja y tallos para evaluar la enfermedad “mal del pie” (*Gaeumannomyces graminis* Sacc.) Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en diferentes estados fenológicos del arroz (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia.
- Sakamoto, T., and Matsuoka, M. (2008). Identifying and exploiting grain yield genes in rice. *Current Opinion in Plant Biology* 11:209-214.
- Salimah, N.A., Kuswinanti, T., Rianingsih, Nasruddin, A., and Baharuddin. (2019). Virulence diversity of rice blast *Pyricularia oryzae* Cavara. *Earth and Environmental Science* 343:1-6.

- Savary, S., Teng, P.S., Willocquet, L., and Nutter Jr., F.W. (2006a). Quantification and modeling of crop losses: a review of purposes. *Annual Review of Phytopathology* 44:89-112.
- Savary, S., Mille, B., Rolland, B., and Lucas, P. (2006b). Patterns and management of crop multiple pathosystems. *European Journal of Plant Pathology* 115:123-138.
- Shaner, G., and Finney, R.E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- Shi, W., Zhao, S.L., Liu, K., Sun, Y.B., Ni, Z.B., Zhang, G.Y., Tang, H.S., Zhu, J.W., Wan, B.J., Sun, H.Q., Dai, J.Y., Sun, M.F., Yan, G.H., Wang, A.M., and Zhu, G.Y. (2020). Comparison of leaf transcriptome in response to *Rhizoctonia solani* infection between resistant and susceptible rice cultivars. *BMC Genomics* 21:1-16.
- Singh, P., Mazumdar, P., Harikrishna, J.A., and Babu, S. (2019). Sheath blight of rice: a review and identification of priorities for future research. *Planta* 250:1387-1407.
- Sun, Q., Spiegelman, D., van Dam, R.M., Holmes, M.D., Malik, V.S., Willett, W.C., Hu, F.B. (2010). White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Archives of Internal Medicine* 170:961-969.
- Tang, Q., Peng, S., Buresh, R.J., Zou, Y., Castilla, N.P., Mew, T.W., and Zhong, X. (2007). Rice varietal difference in sheath blight development and its association with yield loss at different levels of N fertilization. *Field Crops Research* 102:219-227.
- Tinoco Mora, R.; Acuña Chinchilla, A. (2009). Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 78 p.
- Tsiboe, F., Nalley, L.L., Durand, A., Thoma, G., and Shew, A. (2017). The economic and environmental benefits of sheath blight resistance in rice. *Journal of Agricultural Resources* 42:215-235.
- Usui, Y., Sakai, H., Tokida, T., Nakamura, H., Nakagawa, H., and Hasegawa, T. (2016). Rice grain yield and quality responses to free-air CO₂ enrichment combined with soil and water warming. *Global Change Biology* 22:1256-1270.
- Vivas, L.E., Astudillo, D., y Campos, L. (2009). Evaluación del insecticida thiamethoxam 25% para el manejo del insecto sogata en el cultivo de arroz en calabozo, estado Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical* 59:89-98.
- Vivas-Carmona, L.E., Astudillo, D., y Poleo, J. (2009). Monitoreo de *Tagosodes orizicolus* M. e incidencia del virus de la hoja blanca "VHB" en el cultivo de arroz en Calabozo, Estado Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical Maracay* 59:57-67.

- Vivas-Carmona, L.E., Astudillo-García, D.H., Monasterio-Piñero, P.P. (2017). Fluctuación poblacional del insecto sogata, *Tagosodes orizicolus* empleando una trampa de luz y su relación con variables climáticas en Calabozo Estado Guárico, Venezuela. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 5:70-79.
- Wei, M., Wang, A., Liu, Y., Ma, L., Niu, X., and Zheng A. (2020). Identification of the novel effector RsIA_NP8 in *Rhizoctonia solani* AG1 IA that induces cell death and triggers defense responses in non-host plants. *Frontiers in Microbiology* 11:1115.
- Wu, W., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Wang, Q., Yang, F., Shah, F., Yao, F., and Peng, S. (2012). Sheath blight reduces stem breaking resistance and increases lodging susceptibility of rice plants. *Field Crops Research* 128:101-108.
- Wulff, E.G., Sørensen, J.L., Lübeck, M., Nielsen, K.F., Thrane, U., and Torp, J. (2010). *Fusarium* spp., associated with rice Bakanae: ecology, genetic diversity, pathogenicity and toxigenicity. *Environmental Microbiology* 12:649-657.
- Xing, Y., and Zhang, Q. (2010). Genetic and molecular bases of rice yield. *Annual Review of Plant Biology* 61:421-442.
- Xu, F., Yang, G., Wang, J., Song, Y., Liu, L., Zhao, K., Li, Y., and Han, Z. (2018) Spatial distribution of root and crown rot fungi associated with winter wheat in the North China Plain and its relationship with climate variables. *Frontiers in Microbiology* 9:1-14.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop*. Los Baños, Laguna, Philipines. The International Rice Research Institute, Manila Phipilines. 279 p.
- Zhang, Q. (2007). Strategies for developing Green Super Rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:16402-16409.
- Zhang, Y., Yu, C., Lin, J., Liu, J., Liu, B., Wang, J., Huang, A., Li, H., and Zhao, T. (2017) OsMPH1 regulates plant height and improves grain yield in rice. *PLoS ONE* 12:1-17.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Localización del experimento en la localidad El Jicaral, municipio de León, Departamento de León.



Anexo 2. Escala de severidad utilizada para la estimación y cálculo de la severidad de la enfermedad “mal del pie” causada por *Gaeumannomyces* spp (Echeverri Rico, 2016; Ospina e Higuera, 2008).



0 = Ninguna lesión visible. Material sano; 1 = Lesiones incipientes de color oscuro en la vaina foliar únicamente; material ligeramente enfermo; 3 = Necrosamiento considerable en las vainas con presencia de peritecios; 5 = Presencia de micelio oscuro acompañado de hifopodios generalmente entre la cara externa del tallo y la vaina de la hoja; 7 = Debilitamiento y marchitamiento del tallo por crecimiento micelial del hongo; 9 = Secamiento generalizado del tallo y hojas; muerte de los tejidos.

Anexo. Recolección de información de variables fitosanitarias y fenológicas en el cultivo de arroz.

