

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE



**“RESPUESTA DE LÍNEAS AVANZADAS A *Meloidogyne graminicola*
EN POBLACIONES DERIVADAS DE CRUZAS INTER E INTRA
ESPECÍFICAS DEL GÉNERO *Oryza*”**

Presentada por:

EMMA DORILA LOMBEIDA GARCÍA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**













Lima - Perú

2022

Document Information

Analyzed document	20 JUL. TESIS FINAL EMMA LOMBEIDA.pdf (D142617123)
Submitted	8/3/2022 2:36:00 AM
Submitted by	Alfredo Alberto Beyer Arteaga
Submitter email	abeyer@lamolina.edu.pe
Similarity	17%
Analysis address	abeyer.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5287/ruiz-camacho-wilfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 4/8/2022 8:46:04 PM		16
W	URL: http://scielo.iics.una.py/pdf/rscp/v26n1/2617-4731-rscp-26-01-64.pdf Fetched: 9/17/2021 8:50:09 PM		67
SA	Tesis en Office 2010.docx Document Tesis en Office 2010.docx (D10856926)		6
SA	Tesis Alvaro García Sanchez URKUND.docx Document Tesis Alvaro García Sanchez URKUND.docx (D106114576)		9
SA	TESINA JUAN ORDOÑEZ (final).docx Document TESINA JUAN ORDOÑEZ (final).docx (D70314155)		3
SA	Tesis elvis.doc Document Tesis elvis.doc (D10787906)		2
SA	Nilson Joel Osorio Peñafiel.docx Document Nilson Joel Osorio Peñafiel.docx (D55745282)		5
SA	MONOGRAFIA NELSON RAMIREZ.docx Document MONOGRAFIA NELSON RAMIREZ.docx (D12993095)		3
SA	TESIS SANCHEZ-2.docx Document TESIS SANCHEZ-2.docx (D20828753)		2
SA	SOTOMAYOR PADILLA DIANA VALERIA.docx Document SOTOMAYOR PADILLA DIANA VALERIA.docx (D37293283)		3
SA	RAMÍREZ BAJAÑA ENOC LEONEL.docx Document RAMÍREZ BAJAÑA ENOC LEONEL.docx (D38075626)		7
SA	alexi.docx Document alexi.docx (D12044480)		2

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**"RESPUESTA DE LÍNEAS AVANZADAS A *Meloidogyne graminicola*
EN POBLACIONES DERIVADAS DE CRUZAS INTER E INTRA
ESPECÍFICAS DEL GÉNERO *Oryza*"**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR

DOCTORIS PHILOSOPHIAE (Ph.D.)

Presentada por:

EMMA DORILA LOMBEIDA GARCÍA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Liliana Aragón Caballero
PRESIDENTE

Dra. Luz Gómez Pando
ASESOR

Ph.D. Walter Reyes Borja
CO-ASESOR

Dr. Alberto Julca Otiniano
MIEMBRO

Dr. Feliz Camarena Mayta
MIEMBRO

Ph.D. Faustino Sanjinez Salazar
MIEMBRO EXTERNO

A Dios todo poderoso.

A mi querida madre, mujer, trabajadora, perseverante y luchadora, que, con mucha humildad, su gran amor e inquebrantable orientación en valores, permitieron forjar a ser una mujer de bien. Dedicación especial a mi padre que, desde el cielo, me acompaña y me guía a seguir adelante.

A mi amado esposo Omar Albán López y mis queridos hijos, Jeampierre, Renatta y George por su grandioso amor y comprensión.

AGRADECIMIENTO

A la Dra. Luz Gómez Pando, asesora de la tesis, por su valiosa contribución al trabajo de investigación. Asimismo, a la Dra. Carmen Triviño Gilces y a mi co-asesor Dr. Walter Reyes Borja, por su acompañamiento en el proceso de desarrollo del presente trabajo.

A los miembros del Comité consejero, Ph.D. Liliana Aragón Caballero, Dr. Alberto Julca Otiniano, Dr. Félix Camarena Mayta y Ph.D. Faustino Sanjinez Salazar por sus observaciones realizadas en el trabajo de investigación.

A mis amigos y compañeros Reina Medina, Edwin Hasang y Fernando Cobos, del Doctorado en Agricultura Sustentable de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por los momentos vividos durante los estudios.

A la Universidad Técnica de Babahoyo, al departamento de Fitopatología y autoridades.

Al coordinador del Programa de Doctorado en Agricultura Sustentable, Dr. Alberto Julca Otiniano, al personal docente, a quienes conforman el personal de mucho apoyo Marcial Enciso, Rebeca Ordoñez y Bertha Paullo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE ARROZ.....	4
2.2. IMPORTANCIA DEL ARROZ	5
2.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ARROZ	8
2.4. FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ	8
2.4.1. Fase vegetativa.....	10
2.4.2. Fase reproductiva.....	10
2.4.3. Etapa de llenado de grano.....	11
2.4.4. Fase maduración	12
2.5. PROBLEMAS Y LIMITACIONES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL ARROZ	12
2.5.1. La tecnificación de los cultivos	12
2.5.2. Uso de semillas y variedades	13
2.5.3. Sistemas de producción de arroz en el Ecuador.....	13
2.6. DIVERSIDAD GENÉTICA DEL ARROZ.....	15
2.7. <i>Meloidogyne graminicola</i>	16
2.7.1 Características morfológicas.....	16
2.7.2. Clasificación taxonómica.....	16
2.7.3. Distribución geográfica de <i>M. graminicola</i>	17
2.7.4. Síntomas.....	18
2.7.5. Ciclo de vida	20
2.7.6. Daños provocados por <i>M. graminicola</i>	21
2.7.7. Hospederos de <i>M. graminicola</i>	22
2.8. FACTORES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO Y REPRODUCCIÓN DE LOS NEMATODOS	22
2.8.1. Humedad en el suelo.....	22
2.8.2. Temperatura del suelo.....	23
2.8.3. Tipos de suelo	23
2.8.4. pH del suelo	24
2.8.5. Condición fisiológica del cultivo.....	24

2.8.6. Rotación de cultivos.....	24
2.9. RESPUESTA DE LAS PLANTAS AL PARASITISMO	24
2.9.1. Tolerancia	24
2.9.2. Resistencia	25
2.9.3. Resistencia inducida o adquirida	25
2.9.4. Resistencia y tolerancia en nematodos	25
2.9.5. Evaluación de la resistencia.....	27
2.10. DINÁMICA POBLACIONAL DEL GÉNERO <i>Meloidogyne</i>	27
2.11. <i>M. graminicola</i> ASOCIADO AL CULTIVO DE ARROZ	29
2.12. REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO.....	30
2.13. SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA.....	30
2.13.1. Indicadores de sustentabilidad	31
2.13.2. Sustentabilidad económica	32
2.13.3. Sustentabilidad ecológica	32
2.13.4. Sustentabilidad social	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. LOCALIDAD EXPERIMENTAL	33
3.2. NIVELES DE RESISTENCIA A <i>Meloidogyne graminicola</i> DE 50 LÍNEAS AVANZADAS DE ARROZ (F5) PROVENIENTES DE LOS CRUCES INTERESPECÍFICAS DE <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i> x <i>Oryza rufipogon</i> G., Y CRUZAS INTRAESPECÍFICAS de <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i> x <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i> .34	
3.2.1. Material genético	34
3.2.2. Tratamientos estudiados	34
3.2.3. Análisis estadístico	36
3.2.4. Suelo solarizado.....	36
3.2.5. Multiplicación del nematodo	36
3.2.5. Método de Inoculación	37
3.2.6. Evaluación	38
3.3. EFECTO DE LOS NIVELES DE POBLACIÓN DE <i>M. graminicola</i> EN CARACTERES AGRONÓMICOS DE LÍNEAS AVANZADAS F6 SELECCIONADAS DE ARROZ.....	40
3.3.1. Material genético	40
3.3.2. Análisis estadístico	40
3.3.3. Descripción de los tratamientos.....	41

3.3.4. Multiplicación del nematodo	42
3.3.5. Método de inoculación.....	43
3.3.6. Variables Evaluadas.....	44
3.4. SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN DIFERENTES CONDICIONES DE INFESTACIÓN CON <i>M. graminicola</i>	47
3.4.1. Metodología.....	47
3.4.2. Fórmulas empleadas para el cálculo de los indicadores de sustentabilidad	58
3.4.3. Índice de sustentabilidad general (ISGen)	60
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. NIVELES DE RESPUESTA A <i>Meloidogyne graminicola</i> DE 50 LÍNEAS AVANZADAS DE ARROZ (F5) PROVENIENTES DE LOS CRUCES INTERESPECÍFICOS DE <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i> x <i>Oryza rufipogon</i> G, Y CRUCES INTRAESPECÍFICA <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i> x <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>japonica</i>	61
4.1.1. Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> (J2 /10 g de raíces) en raíces de líneas avanzadas provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> , inoculadas con 2 500 estados infectivos del nematodo.....	61
4.1.2. Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en 100 cm ³ de suelo en el material genético provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> inoculados en forma controlada con 2 500 estados infectivos.....	63
4.1.3. Índices de reproducción de <i>M. graminicola</i> en el material genético provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> inoculados en forma controlada con 2500 estados infectivos	65
4.2. EFECTO DE LOS NIVELES DE POBLACIÓN DE <i>M. graminicola</i> EN CARACTERES AGRONÓMICOS DE LÍNEAS AVANZADAS SELECCIONADAS F6 DE ARROZ.	67
4.2.1. Determinación del efecto de la inoculación en diferentes etapas del cultivo y niveles de <i>M. graminicola</i> en caracteres agronómicos de genotipos de arroz	67
4.2.2. Determinación de la densidad poblacional y el índice de reproducción del nematodo en genotipos de arroz	72
4.3. SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ, EN DIFERENTES CONDICIONES DE INFESTACIÓN CON <i>M. graminicola</i>	83
4.3.1. Poblaciones de <i>M. graminicola</i> en suelo y raíces obtenidas en campos de arroz en las zonas de Babahoyo y Quevedo	83
4.3.2. Análisis de la sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz en la zona de Babahoyo y Quevedo.....	85

V. CONCLUSIONES	101
VI. RECOMENDACIONES.....	103
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
VIII. ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción y superficie del cultivo de arroz 2017 - 2020.....	6
Tabla 2: Producción de arroz por tamaño de unidades de producción arroceras del Ecuador	8
Tabla 3: Tratamientos estudiados de líneas avanzadas de arroz de la F5.....	35
Tabla 4: Escala para calificar la infestación de <i>M. graminicola</i> en vivero	39
Tabla 5: Escala para calificar el índice de reproducción a <i>M. graminicola</i> de acuerdo al tipo de hospedante.....	40
Tabla 6: Distribución de grados de libertad.....	41
Tabla 7: Fase fenológica del arroz (Factor A) y niveles de nematodos (Factor B) en condiciones de invernadero.....	42
Tabla 8: Escala para calificar la infestación de <i>M. graminicola</i> en vivero mediante el número de agallas en las raíces	45
Tabla 9: Datos y coordenadas geográficas de zonas de muestreo para determinar la densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en 100 cm ³ de suelo y 10 g de raíces en campos de arroz de los cantones Babahoyo y Quevedo - Ecuador.....	48
Tabla 10: Indicadores y sub indicadores para las tres dimensiones de sustentabilidad utilizando la metodología de “análisis multicriterio”	51
Tabla 11: Principales indicadores para evaluar la sustentabilidad	52
Tabla 12: Número de macollos, número de panículas, altura y longitud de raíz de plantas (cm) de genotipos de arroz, inoculados con diferentes niveles de población de <i>M.</i> <i>graminicola</i>	68
Tabla 13: Rendimiento de granos (t/ha) y porcentaje de reducción del rendimiento de tres genotipos de arroz por efecto de diferentes niveles de inoculación con <i>M.</i> <i>graminicola</i> en etapa de plántulas.....	71
Tabla 14: Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en raíces y suelo en etapa de floración y número de agallas por planta en llenado de grano, sometida a diferentes niveles de inóculo en cuanto a caracteres agronómicos de genotipos seleccionadas de arroz	73
Tabla 15: Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en raíces y suelo en etapa de llenado de grano y cosecha, sometida a diferentes niveles iniciales de inóculo en líneas avanzadas seleccionadas de arroz (F6)	77

Tabla 16: Densidad poblacional promedio de <i>M. graminicola</i> a la floración de las plantas de arroz, inoculadas al trasplante	81
Tabla 17: Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en 100 cm ³ de suelo y 10 g de raíces, en campos de arroz de los cantones Babahoyo y Quevedo, Ecuador	83
Tabla 18: Evaluación de la sustentabilidad en localidades productoras de arroz con el método de análisis multicriterio, en Quevedo y Babahoyo	96
Tabla 19: Resultados de ISG en, sistemas de producción de arroz en Quevedo y Babahoyo	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción de arroz a nivel mundial.....	5
Figura 2: Distribución de la producción de arroz a nivel mundial	6
Figura 3: Producción de arroz por provincia (miles Tm)	7
Figura 4: Porcentaje de producción de arroz por provincias en el Ecuador 2017	7
Figura 5: Fase fenológica del cultivo de arroz	9
Figura 6: Secuencia de aparición de hojas y macollos en el cultivo de arroz	10
Figura 7: Etapa de floración del cultivo de arroz	11
Figura 8: Etapa de llenado de grano	11
Figura 9: Etapa de maduración del grano en el arroz.....	12
Figura 10: Centro de Biociencia Agrícola Internacional -CABI, de color naranja se observa la distribución de <i>M. graminicola</i> a nivel mundial.....	17
Figura 11: Estudio del patrón perineal de <i>M. graminicola</i>	19
Figura 12: Características causadas por <i>M. graminicola</i> en el arroz.....	20
Figura 13: Etapas de la vida de <i>M. graminicola</i> en diferentes días.....	21
Figura 14: Ubicación de la zona de estudio del cantón Quevedo.....	33
Figura 15: Ubicación de la zona de estudio del cantón Babahoyo.....	34
Figura 16: Proceso de multiplicación del nemátodo. (A) Extracción de <i>M. graminicola</i> , (B) Agallas de <i>M. graminicola</i> y (C) conteo de los nematodos en 1 ml de inóculo.....	37
Figura 17: Método de Inoculación: (A) Medición de inóculo; (B) Cantidad exacta de inóculo para cada planta (C) Inoculación a cada planta	38
Figura 18: Extracción de masas de huevo de <i>M. graminicola</i> para obtención de J.....	43
Figura 19: Inoculación de los niveles de J2 a cada planta.....	44
Figura 20: Escala para determinar el daño en raíz de arroz causado por <i>M. graminicola</i> ..	46
Figura 21: Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> (J /10 g de raíces), en raíces de líneas avanzadas provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> , inoculadas con 2 500 estados infectivos del nematodo	62
Figura 22: Densidad poblacional de <i>M. graminicola</i> en suelo en el material genético provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> inoculados en forma controlada con 2500 estados infectivos.....	64

Figura 23: Índice de reproducción de <i>M. graminicola</i> en el material genético provenientes de cruces del género <i>Oryza</i> inoculados en forma controlada con 2 500 estados infectivos.....	66
Figura 24: Efecto de diferentes niveles de inoculación de <i>M. graminicola</i> en el peso de 1 000 granos (g) de tres genotipos de arroz.....	72
Figura 25: Densidades poblacionales de <i>M. graminicola</i> en raíces de arroz inoculadas con diferentes niveles en diferentes etapas fenológicas de floración, llenado de grano y maduración.....	82
Figura 26: Diversificación de cultivos Babahoyo y Quevedo.....	85
Figura 27: Superficie de arroz Babahoyo y Quevedo.....	86
Figura 28: Ingreso Económico Babahoyo y Quevedo.....	87
Figura 29: Producción de Arroz Babahoyo y Quevedo.....	87
Figura 30: Acceso a crédito Babahoyo y Quevedo.....	88
Figura 31: Manejo de cobertura Babahoyo y Quevedo.....	89
Figura 32: Rotación de cultivo Babahoyo.....	89
Figura 33: Rotación de cultivo Quevedo.....	90
Figura 34: Aplicación de fertilizantes Babahoyo.....	90
Figura 35: Aplicación de fertilizantes Quevedo.....	91
Figura 36: Manejo de agua Babahoyo.....	91
Figura 37: Manejo de agua Quevedo.....	92
Figura 38: Control de plagas Babahoyo y Quevedo.....	92
Figura 39: Población de <i>M. graminicola</i> en 10g de raíces Babahoyo y Quevedo.....	93
Figura 40: Población de <i>M. graminicola</i> en 100 cm ³ de suelo.....	94
Figura 41: Conocimiento y conciencia ecológica Babahoyo.....	95
Figura 42: Conocimiento y conciencia ecológica Quevedo.....	96
Figura 43: Componentes del indicador económico (ISC) para los sistemas de producción de arroz.....	98
Figura 44: Componentes del indicador ecológico (IA), para los sistemas de producción de arroz.....	98
Figura 45: Componentes del indicador socio cultural (ISC), para los sistemas de producción de arroz.....	99
Figura 46: Resultado de ISGen, sistema de producción en arroz.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta	120
Anexo 2. Fotos de raíces sometidas a diferentes niveles de <i>M. graminicola</i> en la etapa de floración	125
Anexo 3. Semillas de arroz de los genotipos luego de haber sido sometidas a diferentes niveles de <i>M. graminicola</i>	130
Anexo 4. Métodos de muestreo de raíces y suelo.....	131

LISTA DE ACRÓNIMOS

AGRIPAC	: Empresa de Insumos Agrícolas, Pecuarios y Acuícolas en Ecuador.
BCE	: Banco Central del Ecuador
CABI	: Centro de Biociencia Agrícola Internacional
CEDEGE	: Proyecto de Riego y Drenaje Babahoyo
CIP	: Centro Internacional de la Papa
ESPAC	: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
ECUAQUIMICA	: Empresa dedicada a la comercialización y distribución de productos orgánicos, químicos, biológicos, medicinales, alimenticios, equipos, maquinarias
FACIAG	: Facultad de Ciencias Agropecuarias
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEDEARROZ	: Federación Nacional de Arroceros
INAMHI	: National Institute of Meteorology and Hydrology
INEC	: Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIAP	: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INIFAP	: Instituto nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
INTA	: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
J2	: Juvenil 2
MAG	: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
PRONACA	: Procesadora Nacional de Alimentos C. A.
UNCTAD	: Conferencia de las Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo
UTB	: Universidad Técnica de Babahoyo

RESUMEN

M. graminicola es el nematodo parasítico más importante en las zonas arroceras del mundo, considerado un grave problema por su efecto negativo en el rendimiento. Los objetivos de esta investigación fue determinar el nivel de resistencia de líneas avanzadas de arroz (F₅) provenientes de los cruces interespecíficos de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, y cruces intraespecíficos de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica* a *M. graminicola* y determinar la sustentabilidad de sistemas de producción de arroz, en diferentes condiciones de infestación con *M. graminicola*. En una fase inicial se estudió la respuesta de 50 líneas avanzadas de arroz de las cruces interespecíficas e intraespecíficas y la variedad comercial INIAP 15 bajo un nivel de infestación de 2500 J2 de *M. graminicola* y en segunda fase se evaluaron las líneas con mayor resistencia con infestaciones de 500, 1000, 2000 y 3000 J2, en diferentes etapas fenológicas del cultivo. Los experimentos se hicieron empleando diseños completos al azar con arreglo factorial. La sustentabilidad se determinó en dos zonas con alta infestación de nematodos, el cantón Babahoyo y el cantón Quevedo, realizándose mediante encuestas. Las evaluaciones de la primera fase permitieron identificar del total de las 50 líneas avanzadas F₅ de arroz y la variedad comercial INIAP 15, las líneas avanzadas 32 (PUYÓN/JP002 P11 – 10) y 5 (PUYÓN/JP002 P8 – 20) con una baja poblacional de *M. graminicola* en 10 g raíces y las líneas 24 (PUYÓN/JP002-P8-28) y (PUYÓN/JP002-P8-32), con una baja poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³ de suelo. La evaluación de los diferentes niveles de infestación con el inóculo de *M. graminicola*, desde el trasplante hasta la floración, permitió identificar a la línea PUYON / PJ002 P11-10 como la más susceptible y que *M. graminicola* permanece en todas las etapas fenológicas. Los estudios sobre la sustentabilidad del cultivo mostraron que los sistemas de producción de arroz no son sustentables.

Palabras claves: *Meloidogyne graminicola*, resistencia, sustentabilidad, genotipos.

ABSTRACT

M. graminicola is the most important parasitic nematode in rice-growing areas of the world, considered a serious problem due to its negative effect on yield. The objectives of this research was to determine the resistance level of advanced rice lines (F5) from interspecific crosses of *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, and intraspecific crosses of *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica* to *M. graminicola* and to determine the sustainability of rice production systems under different conditions of infestation with *M. graminicola*. In an initial phase, the response of 50 advanced lines of rice from interspecific and intraspecific crosses and the commercial variety INIAP 15 under an infestation level of 2500 J2 of *M. graminicola* was studied, and in the second phase the lines with the greatest resistance were evaluated with infestations of 500, 1000, 2000 and 3000 J2, in different phenological stages of the crop. The experiments were carried out using completely randomized designs with a factorial arrangement. Sustainability was determined in two areas with high infestation of nematodes, the Babahoyo canton and the Quevedo canton, carried out through surveys. The evaluations of the first phase allowed the identification of the total of 50 advanced F5 rice lines and the commercial variety INIAP 15, the advanced lines 32 (PUYÓN/JP002 P11 – 10) and 5 (PUYÓN/JP002 P8 – 20) with a low population of *M. graminicola* in 10 g roots and lines 24 (PUYÓN/JP002-P8-28) and (PUYÓN/JP002-P8-32), with a low population of *M. graminicola* in 100 cm³ of soil. The evaluation of the different levels of infestation with the inoculum of *M. graminicola*, from transplant to flowering, allowed the identification of the PUYON / PJ002 P11-10 line as the most susceptible and that *M. graminicola* remains in all phenological stages. Studies on the sustainability of the crop showed that rice production systems are not sustainable.

Keywords: *Meloidogyne graminicola*, resistance, sustainability, genotypes.

I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el arroz (*Oryza sativa* L.) es un alimento básico o consumido diariamente por la población. Entre los países productores de arroz en el mundo, Ecuador ocupa el puesto 26 (ONU 2015). Se cultiva mayormente en la región costa, ubicándose el 89 por ciento de la superficie de arroz total cosechada en la provincia del Guayas y Los Ríos (ESPAC 2020). El arroz es mayormente cultivado por agricultores de pequeña escala. La producción se destina en un 96 por ciento al consumo interno y un 4 por ciento para la exportación. La provincia de Los Ríos es la segunda zona productora de arroz, con un rendimiento promedio de 4,25 t/ha (BCE 2021).

La producción de arroz debe ser sostenible y en incremento permanente para satisfacer la demanda nacional. Sin embargo, se observan descensos en el rendimiento de este cultivo que producen impactos económicos y sociales negativos. Muchos de estos descensos en el rendimiento se atribuyen principalmente a la presencia de plagas y posiblemente al exceso de lluvias durante el desarrollo del cultivo (Castro 2017).

Entre las diversas plagas que afectan el arroz tenemos a los nematodos que ocasionan perjuicios al cultivo y descensos en los rendimientos. Los nematodos asociados al arroz son *Ditylenchus angustus*, *Aphelenchoides besseyi*, *Hirschmanniella* spp., *Heterodera oryzicola* y *Meloidogyne graminicola* (*M. graminicola*), siendo esta última el más importante nematodo parasítico en la mayor parte de áreas arroceras del mundo (Ramesh *et al.* 2011; Mantelin *et al.* 2017).

Bajo condiciones simuladas de inundación o inundación intermitente, las pérdidas de rendimiento causadas por *M. graminicola* varía del 20 por ciento al 80 por ciento y de 11 por ciento a 73 por ciento, respectivamente (Soriano *et al.* 2000). En el campo, estas pérdidas pueden ser exacerbadas en combinación con otros factores bióticos o abióticos estresantes, como la sequía. El *M. graminicola* es, por lo tanto, un limitante importante para la productividad en los países productores de arroz y es probable que se subestime el daño del

patógeno debido a la falta de síntomas específicos en la parte aérea y que pueden llevar a los productores a atribuir erróneamente el daño a trastornos nutricionales y asociados al agua o a trastornos originados por otras enfermedades secundarias. En Ecuador, *M. incognita* se reporta con un 80 – 89 por ciento de la incidencia poblacional de nematodos; sin embargo, *M. graminicola* puede ser detectada en el 89 por ciento de las muestras de raíces y suelos colectados en plantaciones de arroz del Ecuador (Triviño 2003).

La poca información que reciben los agricultores para la prevención y control de *M. graminicola* se ha convertido un factor importante que favorece su propagación y como consecuencia son los bajos rendimientos del cultivo causados por los daños que se han incrementado día a día en las zonas arroceras del Ecuador.

El control eficiente de una plaga como *M. graminicola*, requiere de la combinación de diferentes métodos como el uso de nematicidas, manejo del agua, rotaciones con especies no hospederas por periodos largos y el uso de variedades resistentes. El uso de nematicidas contribuye a mantener o mejorar la productividad del arroz, pero los niveles de contaminación pueden afectar los recursos naturales y hacen no sustentable el cultivo.

Las variedades de arroz resistentes a nematodos no requieren de aplicaciones de nematicidas, reduciendo o eliminando totalmente la aplicación de nematicidas protegiendo el medio ambiente y reduciendo los costos de cultivo, contribuyendo a un cultivo sustentable del arroz. Se identificaron líneas resistentes en especies de arroz africano *O. glaberrima*, *O. longistaminata* y *O. rufipogon*. También se identificaron variedades locales de *Oryza*, con resistencia total o parcial a *M. graminicola* las cuales fueron utilizadas como donantes de resistencia en cruces interespecíficos con el arroz cultivado asiático *O. sativa* (Soriano *et al.* 2002a).

El objetivo general la presente investigación fue:

- Determinar la respuesta de líneas avanzadas de arroz (F₅) provenientes de los cruces interespecíficos de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, y cruces intraespecíficos de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica* a *M. graminicola*.

Los objetivos específicos fueron:

- Estudiar el efecto de los niveles de población de *M. graminicola* en caracteres agronómicos de líneas avanzadas seleccionadas de arroz en (F₆).
- Evaluar la sustentabilidad de sistemas de producción de arroz, en diferentes condiciones de infestación con *M. graminicola*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE ARROZ

Se cree que el cultivo del arroz se inició hace más de 6 500 años, paralelamente en varios países. Los primeros cultivos aparecen en la China 5 000 años antes de nuestra era, en el paraje de Hemu Du, así como en Tailandia hacia 4 500 antes de Cristo, para aparecer luego en Camboya, Vietnam y al sur de la India (FAO 2004).

La especie *Oryza sativa* tiene dos subespecies principales: *O. japonica*, pegajosa y de grano corto, denominada también variedad “sínica” y se cultiva en campos secos, en zonas templadas y en zonas montañosas elevadas del Sur de Asia; y *O. indica*, de granos largos y no pegajosa, crece mayormente sumergida a través de toda el Asia tropical. Se cultiva en países asiáticos como Corea, Japón, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, Filipinas e Indonesia, y son principalmente arroces de tierras bajas (UNCTAD 2000a).

El arroz de tipo *japónico*, de grano redondo o semilargo, con procedencia de California y España tiene gran ahijamiento, hojas gruesas, estrechas y erectas responden mejor a niveles elevados de fertilización (Franquet 2004). La demanda del consumo de arroz *japónico* de alta calidad va en aumento de manera continua debido a la mejora de la situación económica.

La especie africana *Oryza glaberrima* se desarrolló desde el delta del Níger, hasta el Senegal entre 1 500 y 800 (a.C.), y su cultivo se desarrolla en su zona de origen, la cual posiblemente fue introducida en el continente africano por las caravanas árabes que procedían de la costa oriental entre el siglo VII y el siglo XI (UNCTAD 2000b).

Los “arroces silvestres” son genotipos procedentes de los centros de origen del arroz, principalmente del sudeste de Asia, pertenecen al mismo género y especie que las variedades cultivadas; o sea, *Oryza sativa* y, en consecuencia, pueden cruzarse fácilmente en condiciones naturales. Los granos son comestibles y nutritivos igual que los de las variedades cultivadas.

El arroz silvestre se diferencia básicamente de las variedades cultivadas por tener los granos con arista (barba), con pericarpio rojo y autodesgrane precoz. Dichas plantas también suelen diferir en caracteres morfológicos como altura y grosor del tallo, longitud, anchura y color de las hojas, pigmentación rojiza o violácea de los nudos (Franquet 2004).

2.2. IMPORTANCIA DEL ARROZ

El arroz es el alimento básico predominante de 17 países de Asia y el Pacífico, nueve países de América del Norte y del Sur y ocho países de África. Este cereal proporciona el 20 por ciento del suministro de energía alimentaria del mundo. Es una rica fuente de energía y una buena fuente de tiamina, riboflavina y niacina, con bajo contenido de grasas (FAO 2004).

El arroz es uno de los cereales más producido en el mundo con 508,7 millones de toneladas en el 2020; con 1,6 millones de toneladas más, que la producción mundial de arroz de 2019 (FAO 2020). Está previsto un crecimiento, en gran parte en Asia, también se prevé una fuerte recuperación de la producción en los Estados Unidos de América, y nuevos incrementos de la producción en África. Con ciertas regiones las perspectivas son menos favorables, para los productores con suministros insuficientes de agua para el riego. El estancamiento de las importaciones africanas y la dispersión de la demanda asiática pueden limitar el aumento del comercio mundial de arroz. Sin embargo, se prevé un crecimiento el 2021.

En las Figuras 1 y 2, se muestra la distribución y las zonas arroceras más importantes a nivel mundial.

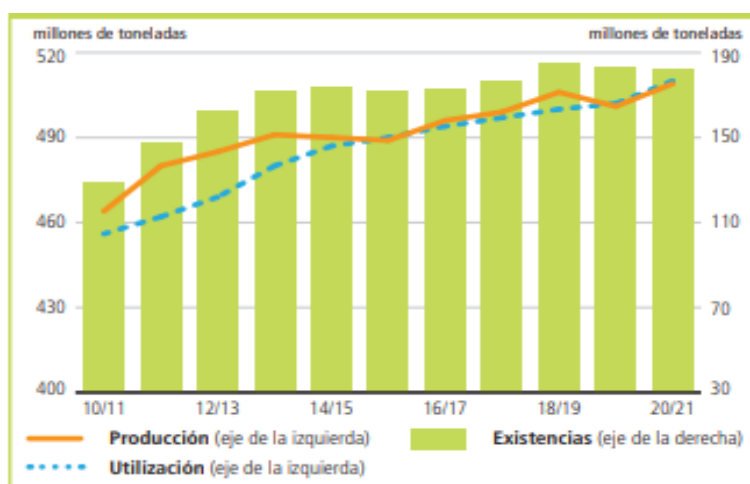


Figura 1: Producción de arroz a nivel mundial

Fuente: FAO (2020).

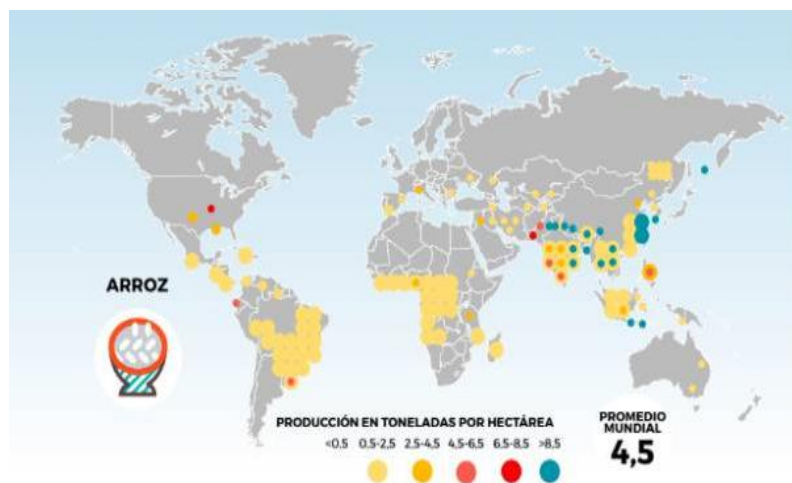


Figura 2: Distribución de la producción de arroz a nivel mundial

Fuente: FAO (2016).

En el Ecuador la producción de arroz proviene de las provincias del Guayas en un 64.96 por ciento y de Los Ríos en 24.45 por ciento. La producción de arroz se realiza durante todo el año en forma escalonada y en ciertas zonas, se siembra hasta tres ciclos en el año.

En la Tabla 1, se presenta la superficie sembrada y cosechada de arroz del 2017 -2020 (ESPAC 2021).

Tabla 1: Producción y superficie del cultivo de arroz 2017 - 2020

Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm.)	Ventas (Tm.)
	Sembrada	Cosechada		
2017	370.406	358.100	1.066.614	1.017.087
2018	301.853	298.298	1.350.093	1.251.638
2019	261.770	257.273	1.099.686	1.054.862
2020	315.023	312.876	1.336.502	1.305.990

Fuente: ESPAC (2021).

En las Figuras 3 y 4, el porcentaje de la superficie y la producción nacional.

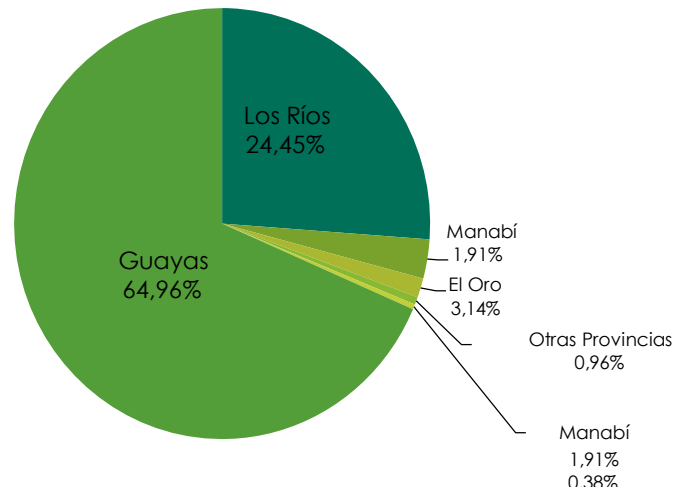


Figura 3: Producción de arroz por provincia (miles Tm)

Fuente: INEC - ESPAC (2021).

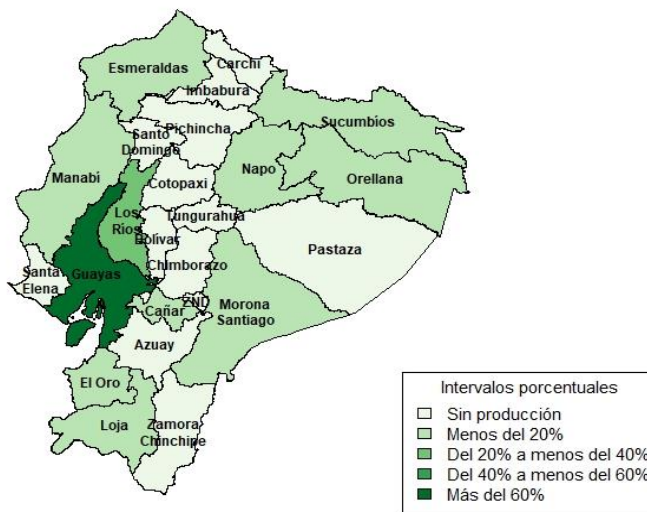


Figura 4: Porcentaje de producción de arroz por provincias en el Ecuador 2017

Fuente: INEC – ESPAC (2015 – 2017)

En la Tabla 2, se puede apreciar el tamaño de las unidades agrícolas, la cantidad cosechada en los diferentes tipos de unidades agrícolas. De un total de 79 401 UPA'S de arroz, en el Ecuador, el 45,06 por ciento de los UPAs tienen hasta 5 ha, sembrando el 17,24 por ciento de la superficie y produciendo el 17,33 por ciento del arroz del Ecuador. Los UPAs, entre 5 y 20 ha, representan el 32,55 por ciento de la superficie de arroz y producen el 31,40 por ciento del total.

Tabla 2: Producción de arroz por tamaño de unidades de producción arroceras del Ecuador

Tamaño de UPAs	Número de UPAs		Superficie sembrada		Superficie cosechada		Cantidad cosechada	
	Número	%	Has	%	Has	%	TM	%
Hasta 5 ha	35 779	45,06	60 297	17,24	57 458	16,97	216 040	17,33
5 - 10 ha	15 768	19,86	55 680	15,92	53 275	15,73	190 009	15,24
10-20 ha	12 106	15,25	58 151	16,63	56 333	16,63	201 477	16,16
20 - 50 ha	10 340	13,02	64 353	18,40	62 319	18,40	209 129	16,78
50-100 ha	3 689	4,65	35 491	10,15	34 648	10,23	125 012	10,03
100 - 200 ha	1 202	1,51	31 581	9,03	30 998	9,15	125 439	10,06
Más de 200 ha	517	0,65	44 173	12,63	43 622	12,88	179 528	14,40
Total. Nacional	79 401	100.00	349 726	100.00	338 653	100.00	1 246 634	100.00

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario (2000).

2.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ARROZ

Según Andrade y Hurtado (2007), la clasificación taxonómica del arroz es la siguiente:

Reino	:	plantae
División	:	<i>fanerógama</i>
Tipo	:	espematófita
Subtipo	:	angiosperma
Clase	:	monocotiledónea
Orden	:	glumifloral
Familia	:	<i>gramineae</i>
Subfamilia	:	<i>panicoidea</i>
Tribu	:	<i>oryzeae</i>
Subtribu	:	<i>oryzinea</i>
Género	:	<i>Oryza</i>
Especie	:	<i>O. sativa</i>

2.4. FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ

El conocimiento de las fases fenológicas del desarrollo del cultivo del arroz permite mejorar la eficiencia en la planificación y programación de las diferentes actividades agrícolas, conducentes a incrementar la productividad en los cultivos (Lázaro 2018).

En la Figura 5, se presentan las fases fenológicas de desarrollo del cultivo del arroz.

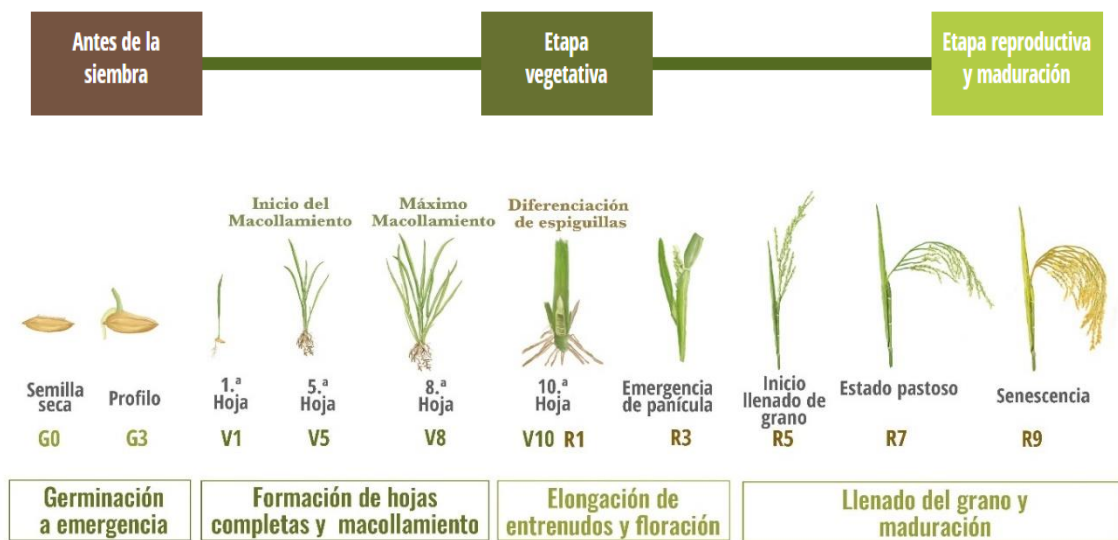


Figura 5: Fase fenológica del cultivo de arroz

Fuente: FEDEARROZ (2018).

El crecimiento de la planta de arroz es un proceso fisiológico continuo que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano. Este crecimiento muestra un patrón común en el tiempo, que puede variar ligeramente dependiendo de características genéticas de la planta o la influencia del ambiente. El ciclo de vida de la planta de arroz varía de 100 a 210 días (INIFAP 2012).

Los factores climáticos como la temperatura, influyen significativamente en el aumento o disminución de las fases fenológicas de la planta de arroz. Cada etapa fenológica necesita la acumulación de una determinada cantidad de unidades térmicas y cuando la temperatura se eleva, los grados días son mayores y el ciclo se acorta. Los cambios en la duración de las fases fenológicas de desarrollo y afecta al cultivo originando variación en los rendimientos (Velázquez 2015).

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10 a 13 °C, considerándose su óptimo entre 30 y 35 °C. Por encima de 40 °C no se produce la germinación. Se observa un crecimiento del tallo, hojas y raíces con un mínimo de 7 °C, considerándose su óptimo en los 23 °C. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se vuelven más blandos, haciéndolas más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades (Villalobos y Retana 1997).

2.4.1. Fase vegetativa

Esta fase tiene dos etapas importantes la germinación – emergencia y el macollamiento.

La duración de la germinación - emergencia depende de muchos factores ambientales, principalmente de la temperatura del suelo y otros factores como: la profundidad de siembra, fertilizantes colocados muy próximos a la semilla y el ataque de plagas y/o enfermedades. Estos factores pueden influir en el porcentaje de emergencia y número de plantas/m².

La fase de macollamiento o la emisión de macollos, se inicia en plantas con cuatro a cinco hojas y a la vez se inicia también la emisión de raíces. Depende mucho del material genético utilizado, la altura de la lámina de agua, densidad de siembra, temperatura del suelo y disponibilidad de nitrógeno entre otros. Esta fase dura 4 a 6 semanas y le permite al arroz tener respuesta elástica a la densidad de plantas (INTA 2015).

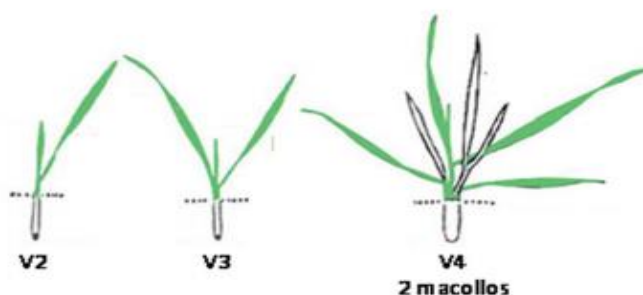


Figura 6: Secuencia de aparición de hojas y macollos en el cultivo de arroz

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2016).

2.4.2. Fase reproductiva

La fase reproductiva se inicia antes del estado de máximo macollamiento dependiendo de la variedad y condiciones ambientales (Figura 7). Se caracteriza por la elongación del tallo, emergencia de las hojas, embuchamiento y llenado de las espiguillas. En este período comprendido entre la iniciación de la panícula y la floración, el primordio de la panícula se desarrolla y la altura de la planta y la materia seca se incrementan muy rápidamente. Esta fase está marcada por un incremento en el peso de la panícula acompañado de una disminución en el peso de la biomasa (Sharma *et al.* 1999).



Figura 7: Etapa de floración del cultivo de arroz

Fuente: Gonzales y Zamorano (2009).

2.4.3. Etapa de llenado de grano

En esta fase, el grano pasa por un estado acuoso, estado de grano lechoso, de masa blanda y de masa dura (Figura 8). En esta fase alcanza la madurez fisiológica con semillas en estado de masa dura con una humedad superior a 25 por ciento y con una coloración verdosa. La cosecha se debe realizar con granos con humedad apropiada que permite una trilla eficiente. Cuando se trilla con humedades inferiores a 15 por ciento, las semillas envueltas con el lema y palea se desprenden en forma natural de la panoja; cuando se trilla con humedades aún más bajas, existe la posibilidad de que se produzca un resquebrajamiento de la carióspside dentro del lema y la pálea (Amparo 2016).



Figura 8: Etapa de llenado de grano

Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Fase maduración

La fase de madurez abarca desde la emergencia de la panícula (floración), el llenado y desarrollo de los granos (estado lechoso y pastoso) hasta la cosecha (madurez del grano) y dura de 30 a 40 días (Figura 9). En general el ciclo vegetativo y reproductivo de las variedades de arroz que se cultivan actualmente, varía de 120 a 140 días desde la germinación hasta a la cosecha del grano, aunque actualmente se encuentran variedades de arroz con 105 días a la cosecha con rendimientos aceptables (Sharma *et al.* 1999).



Figura 9: Etapa de maduración del grano en el arroz

Fuente: Elaboración propia.

2.5. PROBLEMAS Y LIMITACIONES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL ARROZ

2.5.1. La tecnificación de los cultivos

El Ecuador cada vez avanza hacia la tecnificación del cultivo de arroz y su uso en la industria agroalimentaria. Sin embargo, existen una serie de limitaciones de diversa naturaleza que deben de ser eliminadas o reducidas para iniciar un nuevo proceso de transformación. Entre los factores limitantes que afectan los rendimientos y por lo tanto los costos de producción del arroz están: Falta de tecnificación de los cultivos, carencia de sistemas de riego, uso de semilla reciclada en lugar de certificada, uso inapropiado de fertilizantes, suelos desnivelados, suelos deteriorados o cansados, e insuficiente capital de operación y alta incidencia de plagas (Velásquez 2016).

En los sistemas tecnificados, donde se emplea maquinaria agrícola para la preparación del suelo, siembra y controles fitosanitarios, con sistemas de riego y drenaje, se realizan de dos a tres siembras al año y los rendimientos llegan hasta las 7 t/ha. Este sistema cubre el 56 por ciento del área arroceras del país y el 19 por ciento de las unidades productivas y con área de cultivo que sobrepasan las 20 ha. Los sistemas semi tecnificados, utilizan algo de maquinaria en el proceso conjuntamente con abundante mano de obra que puede ser contratada. La producción promedio está entre 3 a 4 TM/ha. Son productores que cultivan en invierno y si tienen acceso a agua, cultivan en verano utilizando riego con bombas. Este tipo de agricultores cubre el 27 por ciento del área arroceras del país y el 36 por ciento de las unidades productivas, son productores que mantienen de 5 a 20 ha (Velásquez 2016).

Sistemas tradicionales de producción del cultivo de arroz donde la mayor parte de los procesos usan mano de obra llegan a tener rendimientos de hasta 3 t/ha. No poseen facilidades de riego y no aplican fertilizantes ni agroquímicos al cultivo. Este tipo de agricultores cubre el 17 por ciento del área arroceras del país y el 45 por ciento de las unidades productivas. Son cultivos entre 1 y 5 ha. En su mayoría venden su producción y en pequeño porcentaje lo destinan al autoconsumo (Velásquez 2016).

2.5.2. Uso de semillas y variedades

En el Ecuador, se identificó que el 69 por ciento de las zonas arroceras usan semilla reciclada y el 31 por ciento utilizan semilla certificada. Cabe indicar que la mayoría de los productores acostumbran a reciclar la semilla. Entre las variedades más utilizadas por los productores en el 2018 destaca: la SFL-011 empleada en un 62 por ciento de los agricultores, del área con rendimiento promedio de 5.91 t/ha, con un ciclo de cultivo de 127 a 131 días de promedio. Se caracteriza por ser tolerante al acame, por su alto porcentaje de germinación y con un índice de pilado del 67 por ciento. Las variedades menos empleadas fueron SFL-09, INIAP FL CRISTALINO y FERÓN (MAG 2018).

2.5.3. Sistemas de producción de arroz en el Ecuador

Los sistemas de producción arroceras dependen de la estación climática, zona de cultivo, disponibilidad de infraestructura de riego, ciclo vegetativo, tipo y clase de suelo niveles de explotación y grados de tecnificación (Delgado 2011).

El total anual de siembra en el país es de alrededor de 333 000 ha, de las que 224 000 están en Guayas, 92 000 en Los Ríos, 9 000 en Manabí, 2 500 en El Oro, 2 500 en Loja y 1 800 en la Amazonía norte (UNIVERSO 2018). En el primer periodo del 2018, el 44 por ciento de los productores sembraron arroz utilizando plántulas, teniendo un rendimiento de 6.15 t/ha. Por otro lado, el 56 por ciento de los agricultores emplearon semillas y obtuvieron 4.10 t/ha de rendimiento. Se aprecia un mayor rendimiento en los campos establecidos con plántulas. Un 77 por ciento de los agricultores tuvo acceso a riego y 69 por ciento de los arroceros nivelaron el suelo como práctica cultural (MAG 2018).

La época de siembra es uno de los principales factores que influyen en el desarrollo de la planta de arroz, e influye significativamente en el rendimiento (Delgado 2011).

2.5.4. Factores abióticos que afectan durante el desarrollo del cultivo.

La producción de arroz se ve afectada por factores estresantes de tipo físico como son la temperatura, la radiación solar, el viento, el suelo, el agua entre otros. Por ejemplo, los umbrales máximos y mínimos de temperatura afectan los componentes del rendimiento, principalmente el número de macollos, número de espiguillas y la duración de la maduración (Maqueira 2018). Una inadecuada selección de los suelos puede afectar los rendimientos por deficiencia de nutrientes y toxicidad (FAO 2015). El nivel de agua o la humedad de suelo deficiente o excesivo puede influir negativamente en el desarrollo del cultivo, en la población de malezas, enfermedades e insectos (Cristo *et al.* 2012). El 13 por ciento de los agricultores en el Ecuador han visto afectados sus campos por falta de agua y problemas de salinidad (MAG 2018).

2.5.5. Factores bióticos que afectan durante el desarrollo del cultivo

Existe una serie de limitantes de naturaleza biótica que pueden afectar negativamente la productividad y calidad del arroz, y por ende las utilidades de los agricultores. Una inadecuada regulación y control de semillas introducidas facilita el ingreso y proliferación de plagas (Velásquez 2016).

Por otro lado, la mayoría de los productores de arroz no coordinan la siembra, generando cultivos de diferentes edades durante en el año agrícola. Asimismo, esta acción también facilita la proliferación de plagas. El 64 por ciento de los agricultores del Ecuador han sido perjudicados por problemas fitosanitarios (MAG 2018).

Son muchos los problemas de naturaleza biótica que afecta el cultivo del arroz. Las malezas pueden reducir en un 20 por ciento el rendimiento si no son adecuadamente controladas. Más de 100 especies de insectos han sido identificados en el cultivo del arroz, siendo algunos de mayor importancia económica como Mosca minadora (*Hydrellia wirthii*), gusano rojo (*Chironomus xantis*), sogata (*Tagosades oryzicolus*), gorgojito del agua (*Lissorhoptrus gracilipes*), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), la novia del arroz (*Rupella albinella*), gusano cañero (*Diatrea saccharalis*), chinche hediondo (*Oebalus poecillus*), entre otros; los daños se pueden presentar en diferentes fases del cultivo. Entre las enfermedades destacan el quemado (*Pyricularia grisea*), pudrición de la vaina (*Tanatephora cucumeris*), pudrición del tallo (*Nakataea sigmoidea*), manchas foliares (*Helminthosporium oryzae*, *Drascheleria gigantea*), el falso carbón (*Ustilaginoidea virens*), entre otros. A nivel mundial se estima que el 76 por ciento del área dedicada a arroz se encuentra infestada con densidades nocivas de nematodos fitoparásitos (Guzmán *et al.* 2011). Según López *et al.* (1987), existen más de 100 especies asociadas con arroz. En Ecuador *Meloidogyne graminicola* es el principal nematodo del cultivo de arroz (Reyes 2013).

2.6. DIVERSIDAD GENÉTICA DEL ARROZ

El mejoramiento genético de plantas permite generar nuevos genotipos incrementando la diversidad genética de las especies y por ende reduciendo la vulnerabilidad genética. Esta diversidad generada, en el material genético, permite eliminar o reducir en forma significativa la aparición de nuevos genotipos de plagas y enfermedades que afectan las especies cultivadas (Berrio *et al.* 2016). Considerando el cultivo del arroz se informa una mayor diversidad genética en la especie *O. sativa* debido a que incluye hasta tres subespecies, diferenciadas por su ecología y morfología como Indica, Japónicas y Javanica. Las especies silvestres ancestrales, presentan un sistema genético que evidencia los diferentes tipos de evolución de las formas cultivadas (Acevedo *et al.* 2006).

Las especies silvestres se desarrollan con mucha facilidad sin intervención del hombre, nunca fueron cultivadas, y se adaptan a las condiciones ambientales imperantes en el lugar de crecimiento generalmente adverso y son fuente importante de genes de resistencia a plaga y enfermedades propias de la región (Deka & Barthakur 2010). En arroz, una especie autógama, las variedades liberadas son generalmente líneas puras y una línea pura es una población donde todas las plantas son homocigotas y genéticamente iguales por lo que son

vulnerables, requiriéndose permanentemente desarrollar nuevas variedades para diversificar el material entregado a los agricultores.

Las variedades pueden obtenerse mediante diferentes métodos de mejoramiento destacando el de las hibridaciones que pueden ser intra e interespecíficas. Ambos métodos de hibridación permiten combinar genes presentes en los genotipos parentales en la progenie derivada; la diferencia es que los genes en las cruzas intraespecíficas provienen de variedades de una sola especie y las interespecíficas provienen de genotipos de especies diferentes. Las cruzas interespecíficas pueden presentar diferentes niveles de dificultades asociados a los niveles de incompatibilidad o la transferencia de caracteres indeseables de los padres silvestres y exige numerosos años de trabajo continuo, para separar y eliminar genes no deseables que afectan la calidad, la adaptación y el rendimiento (Camarena 2014).

2.7. Meloidogyne graminicola

2.7.1 Características morfológicas

Es un endoparásito sedentario. El nematodo se alimenta solamente dentro de la raíz. La hembra tiene forma de pera y posee un cono vulvar. Se reproduce por partenogénesis, los huevos son expulsados en una masa gelatinosa o matriz, sobre la superficie de la corteza de la raíz; posee una tasa de reproducción que oscila entre 400 a 1 200 huevos, durante su ciclo de vida y de cada uno sale un nematodo juvenil (J2) que es el segundo estadio (J2) que permanece parte de su vida en el suelo. Para alimentarse penetra la raíz, forman células gigantes y elaboran enzimas que en tres días forma nódulos (Triviño 2007; Reyes 2013).

2.7.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente según Wouts (1979).

Phylum: Nematoda

Clase: Secernentea

Orden: Tylenchida

Superfamilia: Tylenchoidea

Familia: Meloidogynidae

Subfamilia: Meloidogyninae

Género: *Meloidogyne*

Especie: *graminicola*

2.7.3. Distribución geográfica de *M. graminicola*

En la Figura 10, se puede apreciar la distribución de *M. graminicola* a nivel mundial.

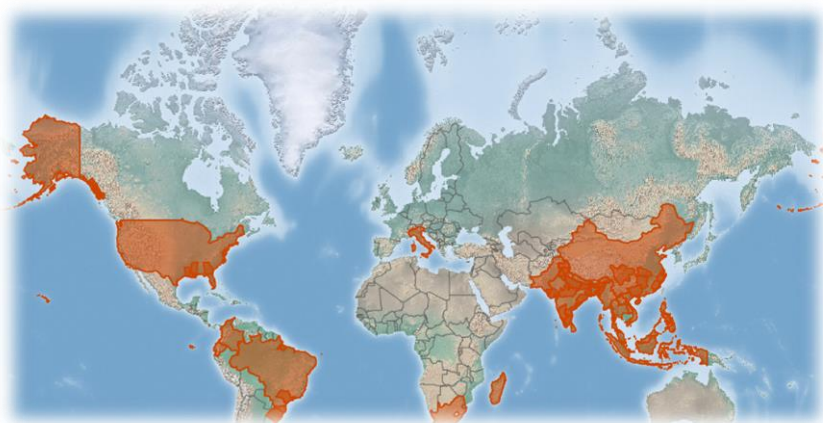


Figura 10: Centro de Biociencia Agrícola Internacional -CABI, de color naranja se observa la distribución de *M. graminicola* a nivel mundial

Fuente: CABI (2021).

El nematodo agallador de raíces *M. graminicola*, es de gran importancia económica en algunos países productores de arroz. Este nematodo es común en los trópicos y subtrópicos. Se identificó en Ecuador por primera vez en el año 1987, en la hacienda “Sausalito” ubicada en el cantón Puerto Inca de la provincia del Guayas en unas plantaciones de arroz de la variedad *Orizica 1*. Por el año 2000 ya se había diseminado por la mayoría de las zonas arroceras de la provincia del Guayas, pero aún con baja infestación en las plantaciones de las provincias de El Oro y Loja (Triviño 2007).

En los últimos monitoreos de nematodos, efectuados en las plantaciones de las principales áreas arroceras del país, se determinó que está distribuido en plantaciones de Simón Bolívar, El Triunfo, Daule, Nobol, Taura, Palestina, General Vernaza, Puerto Inca, Naranjal, Samborondón, Santa Lucía, Yaguachi, Jujan, Mariscal Sucre (provincia del Guayas); Babahoyo, Montalvo, Mocache, Palenque, Quevedo, Valencia, Vinces, Pueblo viejo, San Juan (provincia de Los Ríos); en los cantones de Rocafuerte y Sucre en la provincia de Manabí; Santa Rosa y Arenillas en la provincia de El Oro; en Macará y Zapotillo en la provincia de Loja; y en sectores arroceros de la provincia del Cañar. Esta especie de nematodo ha registrado altas densidades poblacionales que en algunos casos superan los 20 mil nematodos/10 g de raíces (Triviño y Velasco 2013; Triviño *et al.* 2016).

Estudios realizados en diversos ambientes muestran, una mayor densidad poblacional de *M. graminicola* en el cantón Simón Bolívar de la provincia de Guayas, y en los cantones de Quevedo y Palenque en la provincia de Los Ríos con 21 592, 44 509 y 12 392 segunda etapa J; respectivamente en 10 g de raíces analizadas (Triviño *et al.* 2016).

Estudios realizados en 112 muestras de suelo y raíces, provenientes de 11 municipios productores de cultivos de arroz irrigados en el estado de Rio Grande (Brasil), reportaron presencia de *M. graminicola*. La variación observada fue de 10 a 4 370 juveniles en 200 cm³ de suelo, y 10 a 14 800 juveniles en 10 g de raíz. En las muestras recolectadas en el estado de Santa Catalina la variación fue de 170 a 1 590 juveniles en 200 cm³ de suelo y de 1 050 a 18 420 juveniles en 10 g de raíz. Una de las principales causas de la elevada ocurrencia de ese nematodo fue el monocultivo de arroz, con cultivares susceptibles, a lo largo de muchos años. Otra posible causa fue la falta de diagnóstico del problema por técnicos y productores, debido a la confusión de los síntomas con otros factores de efecto similar, tales como deficiencias nutricionales, ataque de otros patógenos de suelo (*Orizophagos Oryza* - gusano barrenador), fitotoxicidad causada por los herbicidas o por daños indirectos por el exceso de hierro en el suelo (CULTIVAR 2018).

2.7.4. Síntomas

Según Rivindra *et al.* (2017), los síntomas producidos por la infestación de *M. graminicola* en el cultivo de arroz, tanto en vivero o campo, son parches de color amarillo, plantas atrofiadas, reducción del tamaño de hoja y en casos de infestación intensa puede producir granos vanos. Por lo general, las plantas presentan una coloración amarillenta y marchita, que fácilmente puede confundirse con síntomas de otros tipos de estreses como deficiencia nutricional, problemas de salinidad y alcalinidad (Vaish 2020).

Las plantas infestadas presentan, en condiciones del campo, un crecimiento aéreo deficiente con hojas cloróticas y en la parte subterránea las partes terminales de las raíces hinchadas y enganchadas. Las hembras en forma de pera se encuentran incrustadas dentro de la capa cortical de la raíz. El patrón perineal de la hembra (Figura 11) presenta forma ovalada con arcos dorsales redondos, estrías lisas, a veces con algunas líneas que convergen en cada extremo de la vulva y campos laterales oscuros o ausentes (Tian 2018).

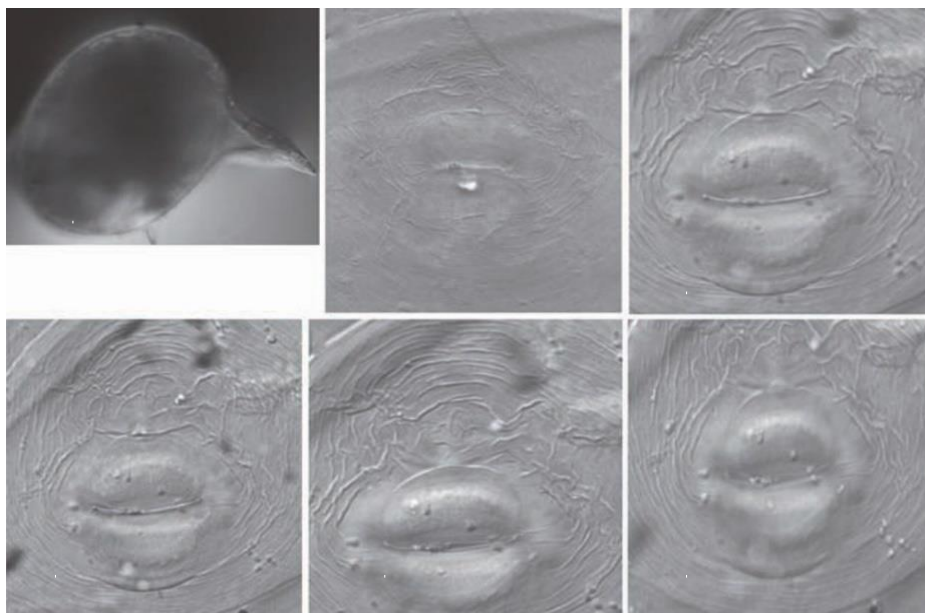


Figura 11: Estudio del patrón perineal de *M. graminicola*

Fuente: Tian (2018).

Los síntomas por la presencia de *M. graminicola* pueden variar según el tipo de suelo, variedad de arroz y condiciones ambientales (Lombeida 2020).

El tejido de las plantas hospedantes sufre grandes cambios morfológicos y fisiológicos provocando alteraciones, desarrollándose células de alimentación permanente para el nematodo como efecto de la invasión del nematodo en el segundo estado juvenil. Estas células se transforman en unas células hipertrofiadas y multinucleadas, como resultado de las secreciones enzimáticas producidas de las glándulas esofageales dorsal del J2, formando una relación exitosa entre hospedante-parásito (Hussey 1985). Las células gigantes son esencialmente células transportadoras de alimentos hacia el nematodo (Huang 1985).

La severidad de los síntomas del nematodo depende de la susceptibilidad del cultivo hospedador y la densidad poblacional de nematodos en el suelo en el momento de la siembra. Los síntomas que presentan ciertos cultivos son muy parecidos a aquellos causados por otros agentes patógenos, por esta razón es recomendable hacer un análisis de suelo y raíces en el laboratorio y realizar ensayos en cultivos hospederos en condiciones controladas para darle el seguimiento adecuado (Figura 12).



Figura 12: Características causadas por *M. graminicola* en el arroz

Fuente: Elaboración propia.

2.7.5. Ciclo de vida

En Bangladesh, *M. graminicola* tiene un ciclo de vida muy corto en cultivos de arroz de menos de 19 días con temperaturas de 22–29 °C; en los Estados Unidos de América el ciclo de vida es de 23–27 días con 26 °C y en la India es de 26-51 días dependiendo en la época del año. El segundo estado juvenil es la etapa infecciosa, el nematodo invade las puntas de las raíces del arroz, las hembras se desarrollan dentro de las raíces y ponen los huevos principalmente en la corteza de la raíz, los juveniles pueden permanecer en la masa gelatinosa materna o migrar a los tejidos de la raíz, lo que le permite seguir multiplicándose dentro de los tejidos del huésped incluso.

M. graminicola se adapta bien a suelos inundados, pudiendo sobrevivir en masas de huevos o como juveniles por largos periodos. Se informa su presencia después de cuatro meses en condiciones de inundación con una disminución en población y como masas de huevo pueden seguir viviendo hasta 14 meses en suelos anegados, inclusive con una profundidad de un metro pueden vivir hasta 5 meses (Singh *et al.* 2003; Coyne *et al.* 2007).

El primer estado juvenil se forma dentro del huevo y sufre su primera muda para convertirse en juvenil 2 (J2). Después de la eclosión de los huevos, los J2 salen y deben encontrar rápidamente una raicilla, ya que de no ser así morirían en pocas horas (a las 12 horas muere el 90 por ciento y a las 19 el 99 por ciento). Los J2 que superan esta difícil etapa comienzan a alimentarse inmediatamente del primer punto con el cual entran en contacto, luego con su estilete van realizando un orificio por el cual finalmente consiguen introducirse y se ubican entonces en su sitio definitivo del cual continúan alimentándose vorazmente. Los J2 pasan

por dos estadios más en los cuales la alimentación pasa a cumplir un papel secundario (Taylor y Sasser 1983; Sasser *et al.* 1987).

Según Hernández *et al.* (2012), los nematodos formadores de agallas experimentan cambios morfológicos durante el ciclo de vida, transformándose del juvenil aguzado en ambos extremos (J2), a través de varias mudas, en hembras o machos adultos. El tiempo del ciclo de vida depende de la temperatura, susceptibilidad del hospedante y los niveles poblacionales, con temperaturas de 18 a 21 °C la duración del ciclo fue aproximadamente cuatro semanas.

En la Figura 13 se ilustra las etapas de la vida de *M. graminicola*.

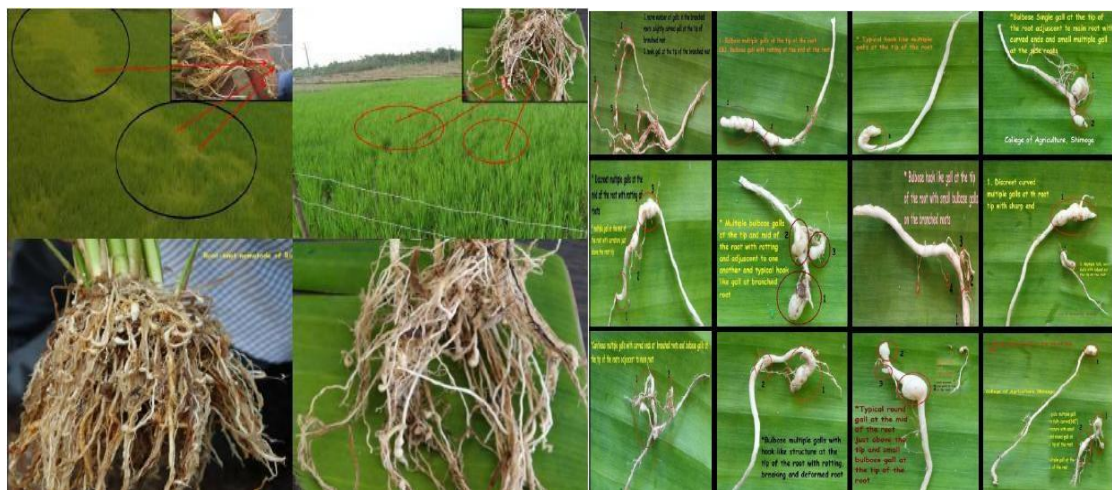


Figura 13: Etapas de la vida de *M. graminicola* en diferentes días

2.7.6. Daños provocados por *M. graminicola*

Los daños provocados por este parasito son muy variados y están influenciados por factores bióticos y abióticos (Norton 1978). Las plantas que no están atacadas por nematodos se encuentran sanas y normales siendo capaces de cumplir todas las funciones fisiológicas para su normal desarrollo. Cuando las plantas son infestadas por el nematodo se interrumpe los procesos fisiológicos y muestran síntomas de la enfermedad. Las plántulas infectadas después de la germinación muestran un retraso en el crecimiento independientemente del número de nódulos (Singh *et al.* 2006).

Los daños en las plantas causados por el ingreso del estilete, la inyección de secreciones glandulares, y la invasión de otros organismos patógenos secundarios (hongos, bacterias, virus) traen como consecuencia una serie de reacciones que culminan con la sintomatología de la neumatosis, causando pérdidas de importancia económica en los cultivos de arroz (Christie 1974).

Estudios varios han determinado que, 4 000 juveniles por planta pueden causar una reducción del 72 por ciento del rendimiento en el cultivo de arroz y valores similares de reducción del peso de la planta con inóculo de 2 000 J2/kg de suelo han sido informados (Sharma 2001; Vera 2014).

2.7.7. Hospederos de *M. graminicola*

En Ecuador, *M. graminicola* se hospeda en varias especies como el arroz (variedades e híbridos de arroz), en arroz negro (*Oryza sativa*), sorgo (*Sorghum spp*), maíz (*Zea mays L.*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y en las malezas *Echinochloa colona*, *E. crusgalli* (Triviño 2007).

Por su amplia polifagia, *M. graminicola* sobrevive y se reproduce con facilidad en ausencia de cultivo, en malas hierbas, cultivos de forraje, luego parasitando el cultivo de arroz en la próxima temporada (Pokharel *et al.* 2007).

2.8. FACTORES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO Y REPRODUCCIÓN DE LOS NEMATODOS

2.8.1. Humedad en el suelo

El agua en el suelo y la variación de la humedad del suelo, debida a la lluvia o al agua de riego, es uno de los principales factores que influyen en el aumento o disminución de las poblaciones de nematodos (Julca 2001). Las lluvias afectan indirectamente la población de nematodos, probablemente por el incremento de humedad en niveles óptimos que beneficia la reproducción de los nematodos y su movilización o por la reducción de oxígeno disponible cuando el suelo se encuentra saturado (Jiménez 1972).

En suelos encharcados por largos periodos la falta de oxígeno en el suelo afectada este organismo. La humedad óptima para su desarrollo aparente esta entre el 40 por ciento y 80 por ciento de la capacidad de retención de agua del suelo (Vargas 2008).

2.8.2. Temperatura del suelo

La temperatura influye en las actividades de los nematodos, como por ejemplo en: la reproducción, movimiento, desarrollo y supervivencia. Casi todos los nematodos parásitos de las plantas se tornan inactivos en temperaturas entre 5 y 15 °C. Tienen un desarrollo óptimo entre 25-30 °C y se vuelven inactivos a temperaturas de 30-40 °C. La temperatura por encima de estos rangos puede ser fatales y puede ocasionar la muerte (Jiménez 1991).

La temperatura también influye sobre la planta hospedera, afectando el desarrollo fenológico, cambios en la morfología y fisiología de la raíz. Estos cambios en el hospedero por efecto de la temperatura afectan la población de nematodos (Esquivel 1996a).

La profundidad de suelo y la época del año influyen en la temperatura del suelo. La variación es mayor en los primeros 15 cm y disminuye conforme aumenta la profundidad, siendo la temperatura una variable física que tiene gran importancia y puede afectar el estado normal del nematodo.

2.8.3. Tipos de suelo

Las características del suelo como: la granulometría, aireación, textura, composición química influyen en el movimiento de los nematodos y por consiguiente en su dispersión. Se menciona que suelos con buena aireación o con partículas más grandes favorecen el desarrollo de los nematodos (López 2006).

En suelos arcillosos las lluvias pueden favorecer el incremento de la población en las primeras semanas y luego la disminución de la población si se prolongan. En suelos de textura limo arcillosos con buen drenaje no se presenta problemas de nematodos (Hutton 1978).

Suelos con textura franco-arenosa, el aporte de materia orgánica, los porcentajes elevados de arena en el suelo por su mayor macro porosidad favorecen la movilidad del nematodo y aceleran sus ciclos biológicos y facilitan su disponibilidad de alimentos. En suelos con más de 50 por ciento de arena el daño es mayor. El tamaño de población varía en función a la profundidad de suelo, encontrándose la mayor población en el estrato superficial (0 - 20 cm), decreciendo a medida que se incrementó la profundidad del suelo (Arévalo *et al.* 2016).

Según López (2018), en fincas cañeras de la región de Piura destinadas a la producción de etanol, se observa una alta incidencia del nematodo agallador de raíces *M. graminicola* spp, en suelos de textura arenosa comparada con suelo de textura fina.

2.8.4. pH del suelo

Meloidogyne spp, tiene la capacidad de sobrevivir y reproducirse en ambientes con un pH, entre 4 y 8; estos valores varían de acuerdo con la humedad y salinidad del suelo. El daño causado por estos nematodos se correlaciona con suelos alcalinos y de textura arenosa (Esquivel 1996b).

2.8.5. Condición fisiológica del cultivo

Debido a que los nematodos se alimentan de las raíces y algunos completan su ciclo dentro de ellas, cualquier factor que afecte la condición fisiológica de la planta probablemente afectará la densidad poblacional, según el estado de desarrollo y el medio ambiente. Además de servir como fuente de alimentación a los nematodos, las plantas modifican el medio ambiente, por ejemplo, aumentan la cantidad de anhídrido carbónico, disminuyendo el oxígeno y ayudando a modificar las sustancias orgánicas de la solución del suelo. Las exudaciones de sus raíces pueden estimular la reproducción o actuar como atrayentes de nematodos (López 2006).

2.8.6. Rotación de cultivos

Encuestas realizadas mostraron que 95 por ciento de las unidades productivas de arroz no realizan rotaciones de cultivos y usan variedades susceptibles, lo que contribuye a elevar las poblaciones de nematodos año tras año provocando severos daños en la producción (Gómez *et al.* 2009).

2.9. RESPUESTA DE LAS PLANTAS AL PARASITISMO

2.9.1. Tolerancia

La tolerancia reduce la cantidad de daño o síntomas en las plantas por unidad de parásito presente. Sin embargo, la tolerancia no restringe el contacto, el crecimiento y la reproducción del parásito después su establecimiento. Por lo tanto, la tolerancia no afecta la cantidad de infección (Taylor y Sasser 1983).

La presencia de un parásito sobre una planta tolerante conlleva a menos daño (expresado como menor reducción en rendimiento) o permite síntomas más ligeros que en una planta sensible. La sensibilidad es lo opuesto a la tolerancia: un daño relativamente alto o una expresión de síntoma relativamente alta por unidad de parásito (Niks 2004a).

2.9.2. Resistencia

Según Niks (2004b), la resistencia es la capacidad que tiene la planta para reducir el crecimiento y/o desarrollo del patógeno o parásito después de que se ha iniciado o establecido el contacto íntimo entre ellos y las plantas. Los componentes de resistencia actúan en forma más eficiente en los parásitos y patógenos que en los herbívoros; debido a que con estos no se establece un contacto íntimo con la planta. La resistencia en las plagas, se expresa por una alta mortalidad y una reducida reproducción y se denomina antibiosis. La resistencia se mide comparando la cantidad de patógeno o parásito por planta o parte de una planta resistente con la cantidad en una planta o parte de una planta susceptible (= menos resistente).

Una planta es resistente cuando es capaz de resistir o se puede recuperar del daño causado por ciertas plagas. La resistencia de plantas está dada por una serie de mecanismos activos o pasivos controlados genéticamente que le permiten reducir o eliminar las plagas sin verse afectada en su estructura o rendimiento que normalmente afectan a una variedad susceptible (Mohammad & Garza 2007).

2.9.3. Resistencia inducida o adquirida

En ciertos casos, una planta susceptible puede adquirir resistencia, a una segunda plaga después de haber sobrevivido a un primer ataque del mismo o de otros organismos perjudiciales. Este fenómeno se conoce como resistencia inducida o adquirida (Emiliozzi 2014).

2.9.4. Resistencia y tolerancia en nematodos

Según Talavera (2003), el uso de variedades resistentes es un método de control eficaz contra las especies de endoparásitos sedentarias como *Meloidogyne*, que pasa la mayor parte de su ciclo de vida dentro de las raíces.

SERVIFAPA (2014), reporta que una planta es resistente cuando inhibe la reproducción del nematodo. Esta inhibición puede ser total o parcial. En plantas resistentes los nematodos mueren después de un tiempo de haber invadido el tejido de la planta. En plantas con tolerancia se reporta poco daño incluso cuando está infectada por niveles altos del nematodo.

Plantas altamente resistentes o inmunes pueden ser invadidas por el género *Meloidogyne*, con desarrollo de juveniles hasta convertirse en adultas sin capacidad de producir huevos o con producción de huevos infértiles; se pueden desarrollar machos hasta llegar a adultos deteniendo su desarrollo antes de completar la segunda, tercera y cuarta muda y el nematodo por reacción inmune deja la raíz para ingresar a otra (Taylor y Sasser 1983).

Los cultivares con genes de resistencia a nematodos son las principales alternativas para el control de nematodos fitoparásitos ya que, reducen eficazmente la tasa de multiplicación del nematodo en comparación con plantas susceptibles, permitiendo buena productividad en campos infestados (Flor 2013).

Una serie de variedades de arroz y líneas han sido registradas como resistentes a *Meloidogyne*, aunque solo un pequeño número de estos son verdaderamente resistentes. Diomandé (1984) descubrió que los cultivares de *O. glaberrima* fueron resistentes a *M. incognita*, mientras que los cultivares de *O. sativa* fueron susceptibles, aunque algunos de ellos fueron mejorados como IRAT 109, IRAT 112, IRAT 133, IRAT 106.

Según Shrestha (2007), para evaluar la interacción entre *M. graminicola* y siete variedades en términos de establecimiento, reproducción y efectos del nematodo en el rendimiento del arroz. Seis (Azucena, Bala, Super Basmati, IR64, Kalinga III y Kasalath) pertenecen a las principales especies cultivadas, *Oriza sativa* L y uno (CG14) a la especie africana, *O. glaberrima* Steud. Azucena es una japónica tropical de tierras altas de Filipinas. Bala es una índica mejorada del este de la India producida a partir de un cruce de la índica TN1 y la variedad N22. En las semillas de Super Basmati, *M. graminicola* causó más irritaciones y tuvo mayor éxito reproductivo en Azucena que en Bala. Sin embargo *M. graminicola* no redujo significativamente el rendimiento en Bala, teniendo una reducción de casi la mitad en comparación con la variedad Azucena, lo que sugiere que la resistencia parcial al establecimiento de nematodos estaba relacionada con la tolerancia a nematodos.

2.9.5. Evaluación de la resistencia

Como con la mayoría de los enemigos naturales con origen en el suelo, la distribución de inóculo en el suelo generalmente es muy heterogénea, por lo que la presión de selección no es uniforme, así, el nivel de resistencia medido no es confiable ya que existe una gran posibilidad de escape. Se han desarrollado métodos para medir la resistencia bajo condiciones más estandarizadas. Las plantas se pueden sembrar individualmente en macetas transparentes e inocularlas con una cantidad conocida de larvas o quistes de nematodos. A través de la pared transparente de la maceta, se puede seguir la tasa de desarrollo y el número de nematodos. Por cada especie de nematodo pueden ocurrir varios biotipos. Se han encontrado relaciones de gen-a-gen en varios patosistemas (Niks 2004).

Según menciona Ramos *et al.* (1998), la presencia o ausencia de los nódulos y hembras en las raíces de las plantas determina si esta es hospedera o no hospedera. El número de agallas en la planta permite clasificarla como: hospedante - eficiente, hospedante - moderadamente eficiente y hospedante - no eficiente. El hospedante - eficiente es un genotipo susceptible porque permite la reproducción del nematodo. El hospedante - moderadamente eficiente y el hospedante - no eficiente son genotipos que restringen el desarrollo del nematodo por lo que pueden ser parcialmente resistentes o resistentes. El índice de reproducción del nematodo se usa para identificar la resistencia en el material genético. Se relaciona la población final con la inicial ($I = P_f/P_i$), esto refleja el nivel de incremento del nematodo y se considera resistente a una planta cuando el valor del índice es menor a 1, y susceptible cuando el valor del índice es mayor a 1.

2.10. DINÁMICA POBLACIONAL DEL GÉNERO *Meloidogyne*

Según Vargas (2009), de manera general se puede observar una tendencia de crecimiento de la población del nematodo paralelo al crecimiento del sistema radicular de arroz debido a una mayor cantidad de alimento y áreas de colonización. Por otro lado, se señala que la población del género *Meloidogyne* disminuye en la última etapa del cultivo.

Las condiciones climáticas, tanto la lluvia como la temperatura, están directamente relacionadas con el crecimiento y desarrollo de los nematodos en las plantas de arroz, de esta manera se vincula la fluctuación estacional con el tamaño de la población de nematodos (National Academy of Science 1978). En épocas de lluvia la población de nematodo aumenta, durante las primeras semanas, pero conforme aumenta el número de días y la

cantidad de lluvia las poblaciones disminuyen, no así en suelos de textura limo arcillosa con buen drenaje (Hutton 1978).

Señala Jiménez (1972), que las fluctuaciones poblacionales de los nematodos no pueden atribuirse totalmente a las lluvias, porque también puede estar influenciado por la reducción de oxígeno disponible cuando el suelo se encuentra saturado o a un nivel de humedad óptima que contribuye a la reproducción de los nematodos y su movilización libre.

Según Carvajal y Moya (2010), la población de los nematodos está asociada con factores edáficos que debilitan las plantas. Las poblaciones de *Meloidogyne* son muy altas en raíces, incluso sin síntomas; es decir, sin presencia de nódulos que causa este género de nematodo en el hospedero, y la proporción en tejidos puede ser de 8 a 38 veces más alta que la hallada en el suelo.

En los suelos infestados, el movimiento de cualquier especie parasitaria hacia las plantas, depende de su potencia reproductora, de la planta huésped y de la duración del periodo que el nematodo permanece en medio ambiente favorable para la reproducción. Los nemátodos están concentrados en los primeros 25 – 50 cm de profundidad según el tipo de labranza y material utilizado (Montero 1993).

Medina *et al.* (2009) afirman que, las malezas de las familias Poaceae y Cyperaceae de los arrozales, son hospedantes de nematodos que atacan al cultivo de arroz, pudiendo mantener poblaciones elevadas de nematodos en ausencia del cultivo, en estas malezas y los rebrotes del arroz que quedan después de las cosechas. Este material es alimento del nematodo y una fuente principal de inóculo permanente, de tal modo que no se rompe el ciclo del nematodo y siempre se encuentre en la unidad de producción. Los autores mencionados recomiendan eliminar las malezas y los brotes del arroz con la finalidad de reducir a las poblaciones de los nematodos presentes.

Padgham (2004), en un experimento de rotación de trigo-arroz, encontró una alta densidad poblacional de *M. graminicola* y la presencia de agallas en forma de ganchos en las raíces del cultivo de arroz, causadas por *M. graminicola*, encontrándose con poblaciones muy alta de inóculo.

En las raíces infestadas con *M. graminicola*, provenientes de las zonas arroceras de la provincia de Los Ríos, se identificaron hembras parasitadas con la bacteria *Pasteuria penetrans*. Por este motivo, después de la cosecha se recomienda no quemar el barbecho para favorecer la incorporación de las esporas de la bacteria y que parasiten a una mayor población de nematodos (Triviño 2007).

Las estrategias reproductivas de los nematodos son variables. Unos crecen mucho y tienen ciclos de vida largos con tasas bajas de aumento de población y otros son relativamente pequeños, tienen ciclos de vida cortos y tasas de reproducción potencialmente más altas. Un hábito endoparásito con inducción de células gigantes u otras fuentes de alimentos ricos y continuamente disponibles, reduce la exposición a la depredación y otros estreses y aumenta aún más el potencial reproductivo de los nematodos. Una disminución en el número de estadios juveniles activos disminuye aún más el tiempo de desarrollo, lo que reduce el tiempo de generación y aumenta el potencial para múltiples generaciones en una temporada agrícola.

La tasa de multiplicación del nematodo depende de la densidad poblacional del nematodo. Por lo tanto, una variedad con el doble de masa de raíces que otro, admitirá una tasa de multiplicación más alta. De manera similar, las variedades tolerantes mantienen una mayor masa de raíces que las variedades resistentes, por lo que mantendrán una mayor tasa de multiplicación a altas densidades de población antes de la siembra. La tasa de multiplicación depende de las especies de nematodos, la susceptibilidad del huésped y los diversos factores ambientales que influyen tanto en el nematodo como en el huésped (Trudgill 1992).

2.11. *M. graminicola* ASOCIADO AL CULTIVO DE ARROZ

Investigaciones realizadas en plantaciones de arroz en el Ecuador, muestran la presencia significativa de los nematodos, encontrándose a *M. graminicola* como el más extendido y abundante tanto en tierras bajas de secano como en áreas irrigada, en todas las variedades de arroz comercial, siendo un motivo de preocupación en regiones donde los agricultores realizan siembra directa, porque es ahí donde se registran poblaciones muy altas de *M. graminicola* (Triviño *et al.* 2016). En Ecuador, *M. incognita* se reporta con un 80 – 89 por ciento de la incidencia poblacional (Triviño 2003). *M. graminicola* puede ser detectada en el 89 por ciento de las muestras de raíces y suelos colectados en plantaciones de arroz del Ecuador.

2.12. REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO

Bajo condiciones simuladas de inundación o inundación intermitente, las pérdidas de rendimiento causadas por *M. graminicola* varían de 20 por ciento a 80 por ciento y de 11 por ciento a 73 por ciento, respectivamente (Soriano *et al.* 2002b). En el campo, estas pérdidas pueden ser exacerbadas en combinación con otros factores bióticos o abióticos estresantes, como la sequía. El *M. graminicola* es, por lo tanto, un limitante importante para la productividad en los países productores de arroz.

Según estudios realizados por Triviño (2007), *M. graminicola* causa daño a la planta de arroz, y se recomienda tomar medidas de control si se registran niveles desde 200 J2 por 100 cm³ de suelo; también se ha determinado que 1 000 J2 por planta de arroz, presentes inmediatamente después del trasplante, puede reducir la altura, número de macollos y la producción por planta en un 6 por ciento. Se ha observado que 2 000 J2, atacando las raíces de una planta, desde los 30 días del trasplante pueden causar reducción del número de macollos en 18 por ciento y la producción en un 16 por ciento. Poblaciones de 5 000 J2 en una planta después del trasplante reducen la producción en un 48 por ciento.

2.13. SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA

Según Rao (2006) la sustentabilidad, basada en una adecuada relación entre los sistemas humano y ecológico, permite mejorar y desarrollar la calidad de vida, manteniendo al mismo tiempo, la estructura, las funciones y la diversidad de los sistemas agrícolas.

Julca (2012) indica que la sustentabilidad requiere de tres elementos: (1) Sostenibilidad ambiental: desarrollo compatible con el mantenimiento de los procesos biológicos en los que se fundamentan los ecosistemas naturales. (2) Sostenibilidad económica: desarrollo económicamente viable. (3) Sostenibilidad sociocultural: desarrollo social y culturalmente óptimo.

Sarandon (2016), define a la sustentabilidad agrícola como aquella que permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan.

2.13.1. Indicadores de sustentabilidad

La agricultura ha contribuido de manera importante a la diversidad de diferentes especies y de hábitats. Sin embargo, en los últimos tiempos, el uso excesivo de ciertos productos como plaguicidas y fertilizantes sintéticos y malas prácticas agrícolas (monocultivo), han tenido un impacto nocivo sobre la diversidad de los recursos genéticos de las variedades de cultivos y de razas de animales, sobre la diversidad de las especies silvestres de la flora y de la fauna y sobre la diversidad de los ecosistemas.

Muchos agricultores poseen sus propios indicadores para estimar la calidad del suelo o el estado fitosanitario de su cultivo. Algunos reconocen ciertas malezas que indican como, por ejemplo: un suelo ácido o infértil. Para otros, la presencia de lombrices de tierra es un signo de un suelo vivo, y el color de las hojas refleja el estado nutricional de las plantas. En cualquier zona se podría compilar una larga lista de indicadores locales, el problema es que muchos de estos indicadores son específicos del sitio y cambian de acuerdo al conocimiento de los agricultores o a las condiciones de cada finca (Altieri 1995). Por lo mencionado anteriormente, García y Gonzáles (2016) proponen un desarrollo agrícola sustentable que contenga tres áreas fundamentales: parte económica, ecológica y social.

Altieri y Nichols (2007), señalan que los agricultores, los extensionistas e investigadores, deben saber el estado de salud del agro-ecosistema con el cual están involucrados. Especialistas en agricultura sostenible han ideado una serie de indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los agro-ecosistemas. Algunos indicadores desarrollados, consisten en observaciones o mediciones que se realizan a escala de finca, para ver, por ejemplo, si el suelo es fértil y se encuentra bien conservado, y si las plantas están sanas, vigorosas y productivas.

Cuando todas las mediciones realizadas se basan en los mismos indicadores, los resultados son comparables, de manera que se puede seguir la trayectoria de un mismo agro-ecosistema a través del tiempo, o realizar comparaciones entre fincas en varios estados de transición. Cuando la metodología se aplica con varios agricultores, se puede visualizar las fincas que muestran valores bajos o altos de sostenibilidad y/o sustentabilidad. Esto es útil para que los agricultores entiendan porqué ciertas fincas se comportan ecológicamente mejor que otras, y qué hacer para mejorar los valores observados en fincas con valores menores (Horacio 2015).

2.13.2. Sustentabilidad económica

Tommasino (2005) señala que, en general cuándo las acciones están orientadas a una mayor ganancia o a una producción industrial se origina destrucción de la naturaleza en diferentes niveles que no permiten un desarrollo sustentable. Por lo tanto, la producción intensiva, en general, no permite una agricultura sustentable.

Cruz (2006) menciona que, mediante prácticas productivas el agricultor busca seguridad alimentaria y tener excedentes que le permitan un ingreso económico familiar adecuado para el bienestar de su familia. Es importante señalar que se puede lograr excedentes productivos que generen ingresos económicos suficientes para contrarrestar la dependencia económica y alimentaria conservando la biodiversidad. La producción se puede lograr con herramientas o tecnologías básicas, con precios al alcance de los productores y que no incrementen los costos de producción. Es decir, que la producción agrícola de maíz, frijol y otros satisfagan las necesidades básicas de las familias campesinas, protejan la biodiversidad y aseguren un ingreso económico.

2.13.3. Sustentabilidad ecológica

De acuerdo con Sánchez (2005), los seres humanos organizados socialmente, afectan a la naturaleza. Al producir, circular, transformar y consumir, la sociedad desecha materiales al medio natural. La naturaleza es un espacio ambiental donde se regula los ciclos del aire, agua y nutrientes, y es aquella que mantiene las temperaturas necesarias para la vida. Sin embargo, también es la reserva final y recicladora de toda basura que genera el hombre, el sistema político, económico y cultural, hace que la sociedad sea consumista, individualista, egoísta e irracional, destructiva de su medio ambiente; lo que pone en peligro a toda especie que habita en el mundo.

2.13.4. Sustentabilidad social

Según Cruz (2006) la sustentabilidad social, también considerada como sostenibilidad sociocultural, está basada en la participación de la sociedad en la toma de decisiones, en el uso de recursos, en el respeto a la identidad cultural de los diferentes pueblos, en buscar el bienestar y la calidad de vida de la población.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIDAD EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FACIAG) de la Universidad Técnica de Babahoyo (UTB), ubicada en el km 7 ½ de la vía Babahoyo-Montalvo en la provincia de Los Ríos, Ecuador, a 8 m.s.n.m. Los trabajos de inoculación se realizaron en vivero bajo condiciones controladas, y las evaluaciones de densidades poblacionales de nematodos se realizaron en el laboratorio de Fitopatología de la FACIAG.

La zona de Babahoyo presenta un clima tropical húmedo, con temperatura media anual de 26.3 °C, precipitación media anual de 2 689 mm, humedad relativa de 78,8 por ciento y 830,4 horas de heliofanía promedio anual. La investigación sobre la sustentabilidad fue realizada en la Región Costa, provincia de Los Ríos. La primera localidad afectada por alta incidencia de nematodos, es el cantón Quevedo (Figura 14) con 79 m.s.n.m, temperatura media anual 22.0 °C y 33.0 °C y precipitación media anual 3 000 – 4 000 mm.

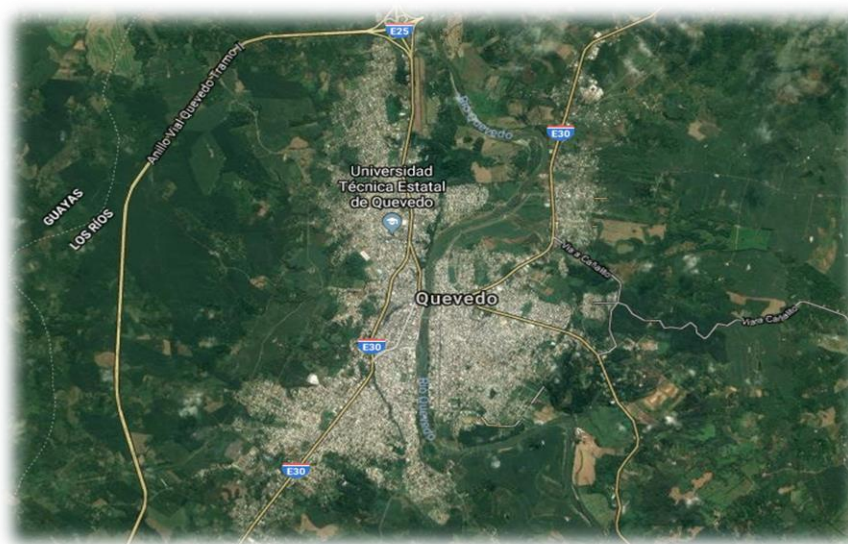


Figura 14: Ubicación de la zona de estudio del cantón Quevedo

Fuente: Estación Meteorológica UTB – INAMHI (2019).

La segunda localidad con un porcentaje más bajo de nematodos, está ubicada en el cantón Babahoyo (Figura 15) a una altura de 8 m.s.n.m. La temperatura media anual es de 25.5-26.0 °C, y la precipitación media anual es de 813.0 mm (Estación meteorológica UTB-2017).

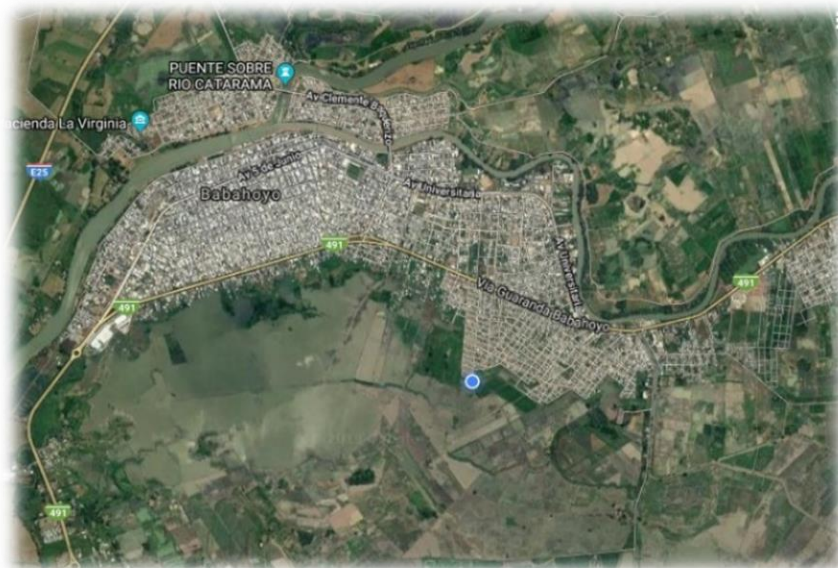


Figura 15: Ubicación de la zona de estudio del cantón Babahoyo

Fuente: Estación meteorológica UTB (2017).

3.2. NIVELES DE RESISTENCIA A *Meloidogyne graminicola* DE 50 LÍNEAS AVANZADAS DE ARROZ (F5) PROVENIENTES DE LOS CRUCES INTERESPECÍFICAS DE *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G., Y CRUZAS INTRAESPECÍFICAS de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica*.

3.2.1. Material genético

Para el presente estudio se utilizaron 50 líneas provenientes de cruces *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, y *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica* y una variedad comercial (testigo). En la Tabla 3 se describe el material genético.

3.2.2. Tratamientos estudiados

Los tratamientos estudiados fueron los segregantes F₅ obtenidos a partir de cruces *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, y *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica* recíprocos entre genotipos japónicos y Puyón, como se mencionan a continuación:

Tabla 3: Tratamientos estudiados de líneas avanzadas de arroz de la F5

Tratamientos	Líneas	N° de individuos	Origen
1	1. Puyón/JP002 P8 – 20	P36	5
2	1. Puyón/JP002 P8 – 20	P14	5
3	1. Puyón/JP002 P8 – 20	P22	5
4	1. Puyón/JP002 P8 – 20	P27	5
5	1. Puyón/JP002 P8 – 20	P13	5
6	2. Puyón/JP002 P8 – 29	P32-1	5
7	2. Puyón/JP002 P8 – 29	P8-5	5
8	2. Puyón/JP002 P8 – 29	P8-16	5
9	2. Puyón/JP002 P8 – 29	P60-1	5
10	2. Puyón/JP002 P8 – 29	P49-30	5
11	3. Puyón/JP002 P8 – 30	P60-25	5
12	3. Puyón/JP002 P8 – 30	P55-2	5
13	3. Puyón/JP002 P8 – 30	P84-19	5
14	3. Puyón/JP002 P8 – 30	P23-12	5
15	3. Puyón/JP002 P8 – 30	P94-1	5
16	4. Puyón/JP002 P8 – 31	P18	5
17	4. Puyón/JP002 P8 – 31	P4	5
18	4. Puyón/JP002 P8 – 31	P7	5
19	4. Puyón/JP002 P8 – 31	P30	5
20	4. Puyón/JP002 P8 – 31	P34	5
21	5. Puyón/JP002 P8 – 28	P35	5
22	5. Puyón/JP002 P8 – 28	P25	5
23	5. Puyón/JP002 P8 – 28	P29	5
24	5. Puyón/JP002 P8 – 28	P28	5
25	5. Puyón/JP002 P8 – 28	P19	5
26	6. Puyón/JP002 P8 – 32	P36	5
27	6. Puyón/JP002 P8 – 32	P30	5
28	6. Puyón/JP002 P8 – 32	P33	5
29	6. Puyón/JP002 P8 – 32	P32	5
30	6. Puyón/JP002 P8 – 32	P11	5
31	7. Puyón/JP002 P11 – 10	P 22	5
32	7. Puyón/JP002 P11 – 10	P74	5
33	7. Puyón/JP002 P11 – 10	P25	5
34	7. Puyón/JP002 P11 – 10	P34	5
35	7. Puyón/JP002 P11 – 10	P23	5
36	8. JP003/JP001 P169 – grano largo	P23-6	5
37	8. JP003/JP001 P169 – grano largo	P17-36	5
38	8. JP003/JP001 P169 – grano largo	P21-2	5
39	8. JP003/JP001 P169 – grano largo	P14-31	5
40	8. JP003/JP001 P169 – grano largo	P6-31	5
41	9. JP003/JP001 P87 – grano largo	P44-24	5
42	9. JP003/JP001 P87 – grano largo	P41-25	5
43	9. JP003/JP001 P87 – grano largo	P41-11	5
44	9. JP003/JP001 P87 – grano largo	P27-25	5
45	9. JP003/JP001 P87 – grano largo	P17-25	5
46	10. P003/JP001 P175 – grano largo	P2-2	5
47	10. JP003/JP001 P175 – grano largo	P2-7	5
48	10. JP003/JP001 P175 – grano largo	P2-35	5
49	10. JP003/JP001 P175 – grano largo	P4-6	5
50	10. JP003/JP001 P175 – grano largo	P5-5	5
51	11. INIAP-15	Testigo	5

**Cruzas
interespecificas**

**Cruzas
intraespecificas**

**Variedad
Comercial**

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Análisis estadístico

En este experimento se utilizó el diseño completamente al azar con cinco repeticiones y 51 tratamientos (50 líneas avanzadas y 1 variedad comercial) (Tabla 3).

Las diferentes variables que se estudiaron fueron sometidas al Análisis de Varianza (ANOVA) y al test de Tukey 5 por ciento para la determinación de la significancia estadística y para diferenciar o comparar los valores de las variables estudiadas. Para el análisis de la varianza se transformó los valores reales a *log de x*.

3.2.4. Suelo solarizado

Para disminuir la población de nematodos y otros patógenos presentes en el suelo, se procedió a colocarlos, en un piso de cemento, en camas cubiertas de un plástico transparente y exponerlos a la luz solar. En estas condiciones la temperatura alcanzo los niveles letales para causar la muerte de los nematodos presentes en el suelo. Se calentó la superficie del suelo hasta 50 °C a una profundidad de 5 cm, aproximadamente. Según McGovern y McSorley (1997) y D'Addabbo *et al.* (2005) la mayoría de los nematodos mueren rápidamente cuando son expuestos a temperaturas superiores a 47 °C.

3.2.5. Multiplicación del nematodo

El nematodo se multiplicó en invernadero, utilizando suelo infestado con *M. graminicola* proveniente de una plantación comercial y semillas de arroz de la var. INIAP 15 (susceptible).

De estas plantas se extrajeron masas de huevo del nematodo y se expusieron a eclosión en el laboratorio para obtener los juveniles que se utilizaron en la investigación. Se colocaron en cajas Petri 1 ml de inóculo y con la ayuda de estereomicroscopio se procedió a contar a los nematodos juveniles del segundo estadio (J2) y por cálculo matemático, se obtuvo el volumen de 3 ml que contenían 2 500 (J2) que fueron inoculados a cada una de las plantas en estudio. Este proceso está ilustrado en la Figura 16.

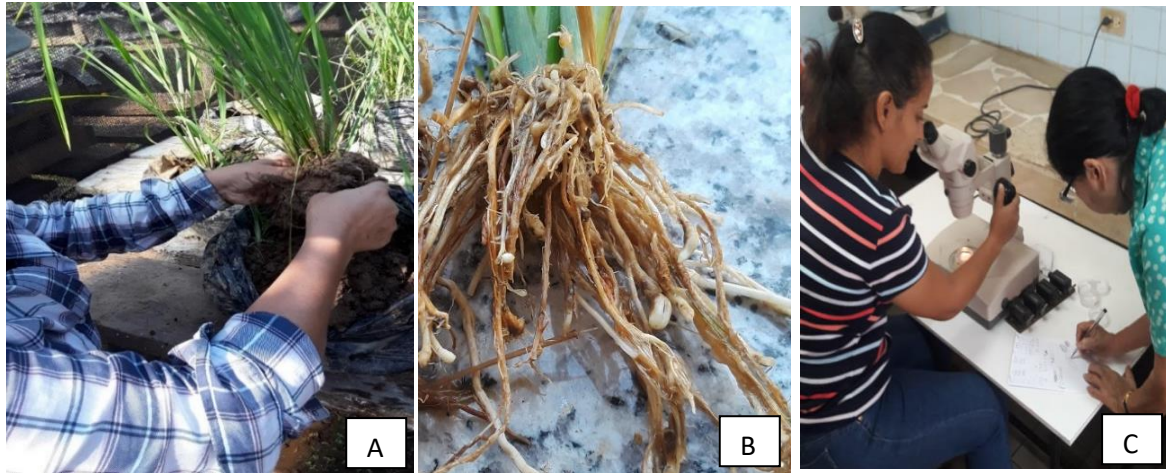


Figura 16: Proceso de multiplicación del nemátodo. (A) Extracción de *M. graminicola*, (B) Agallas de *M. graminicola* y (C) conteo de los nematodos en 1 ml de inóculo

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Método de Inoculación

En cada una de las fundas utilizadas en la investigación, se incorporó 1 kg de suelo solarizado libre de nematodos y otros organismos; además, se colocó fertilizantes como fósforo y potasio en dosis adecuadas (25 gr. de fosforo y 25 gr. de potasio). Se colocaron 5 semillas en cada funda y luego se dejaron dos plantas por funda. A los 25 días de la germinación se inocularon 2 500 J2 de *M. graminicola* a cada una de las plantas estudiadas. Se retiró un poco de suelo alrededor de las raíces y se depositó lentamente el líquido con los juveniles y se taparon nuevamente las raíces con el mismo suelo apartado. Durante los primeros 15 días después de inoculación, las plantas fueron regadas con cuidado para evitar que el inóculo se pierda por secamiento o exceso de humedad del suelo. A los 45 días después de la inoculación se extrajeron las plantas con todo el sistema radical y se efectuaron las evaluaciones correspondientes.

Se estudió la reacción a *M. graminicola* de 50 líneas promisorias de arroz (F₅) y una variedad comercial (INIAP 15), las cuales fueron inoculadas siguiendo el protocolo descrito previamente con 2500 juveniles por planta y el proceso se ilustra en la Figura 17.

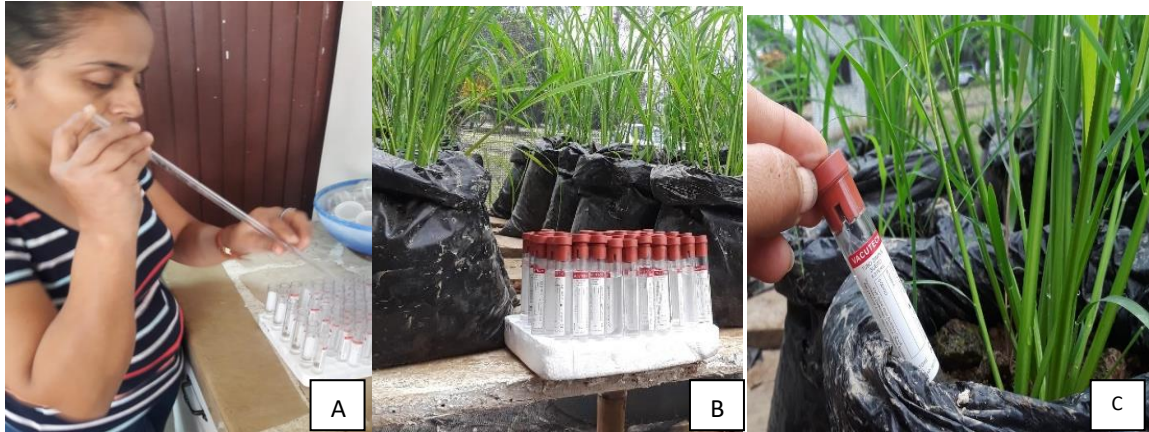


Figura 17: Método de Inoculación: (A) Medición de inóculo; (B) Cantidad exacta de inóculo para cada planta (C) Inoculación a cada planta

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Evaluación

- **Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces**

Se determinó la densidad poblacional de *M. graminicola* en las raíces con el método de extracción “Licuado-Tamizado” (Triviño *et al.* 2013). Las raíces de cada planta se cortaron en pedazos de 1 cm, se homogenizaron y se pesaron 10 g. Estos trozos fueron colocados en un vaso de licuadora Osterizer de tres velocidades y luego se licuaron por 20 segundos en primera velocidad. El licuado se vació en tres tamices de N° 60 (250 μm), 100 (150 μm) y 500 (25 μm) colocados de arriba hacia abajo; el primer y segundo tamiz se lavaron con una ducha tipo teléfono, durante un minuto cada uno y el contenido agua-nematodos recogido en el tamiz 500 se colocó en un vaso de precipitación con ayuda de una piceta y se aforó 100 ml. Se homogenizó la solución agua-nematodos con una pequeña bomba de aire (para pecera), se extrajo una alícuota de 2 ml y se colocó en una cámara contadora para cuantificar el número de nemátodos. El conteo se realizó en un estereomicroscopio con la ayuda de un contador-chequeador. Por cálculo matemático se obtuvo la densidad poblacional de nemátodos en cada planta o repetición.

- **Densidad poblacional de *M. graminicola* en suelo**

Después de la extracción de las plantas de las macetas, este suelo se homogenizó y se colocó aproximadamente 200 cm^3 en una funda plástica por cada repetición. En el laboratorio, cada

muestra se colocó en una bandeja plástica, se mezcló nuevamente y se midió 100 cm³ para la extracción de los nemátodos. Se utilizó el método de “Incubación” (Triviño *et al.* 2013).

El suelo se colocó en dos platos de aluminio superpuestos, de los cuales el primero es calado y el segundo con base. Sobre el primero se colocó una malla fina plástica y una hoja de papel facial; se adicionó agua común y se dejó la muestra en incubación por tres días. Transcurrido ese tiempo, se eliminó el suelo del primer plato y el contenido agua – nemátodos se colectó en un vaso de precipitación graduado. De cada muestra o vaso se eliminó el agua excedente a 100 ml con el uso de un tamiz N° 500, se homogenizó la solución agua-nematodos con una bomba de aire como en las raíces, se extrajeron alícuotas de 4 ml, se colocaron en cámaras contadoras y se determinó el número de nemátodos utilizando un estereomicroscopio y un contador-chequeador. Por cálculo matemático se obtuvo la densidad poblacional de nematodos existentes en 100 cm³ de suelo.

- **Índice de reproducción de *M. graminicola*.**

El índice de reproducción (IR) de *M. graminicola* en los materiales de arroz investigados se determinó dividiendo la densidad poblacional del nematodo obtenida en las raíces a los 45 días de inoculación o población final (Pf), entre la población inicial (Pi) que fueron los 2 500 J2 inoculados, es decir $IR = Pf/Pi$.

Se determinaron los niveles de infestación a *M. graminicola* en las líneas de arroz tomando como referencia la escala descrita en la Tabla 4.

Tabla 4: Escala para calificar la infestación de *M. graminicola* en vivero

Grado	N° de agallas	Nematodos/100 cm³ de suelo	Nematodos/10 g de raíces	Calificación
0	0	0	0	Libre
1	1 a 10	1 – 40	1 a 300	Baja
2	11 a 30	41 – 120	301 a 1000	Moderada
3	31 a 75	121 – 150	1001 a 3000	Alta
4	>75	> 150	> 3000	Muy alta

Fuente: Ramos *et al.* (1998).

Se determinó el índice de reproducción a *M. graminicola* tomando como referencia la escala descrita en la Tabla 5.

Tabla 5: Escala para calificar el índice de reproducción a *M. graminicola* de acuerdo al tipo de hospedante

Grado	Índice de reproducción $I = Pf/Pi$	Respuesta
0	0	No hospedero
1	0.1 a 0.4	Hospedero deficiente
2	0.41 a 1	Hospedero
3	1.1 a 2	Hospedero eficiente
4	< 2	Hospedero muy eficiente

I = Índice; Pi = Población inicial; Pf = Población final.

Fuente: CIP (1985).

3.3. EFECTO DE LOS NIVELES DE POBLACIÓN DE *M. graminicola* EN CARACTERES AGRONÓMICOS DE LÍNEAS AVANZADAS F6 SELECCIONADAS DE ARROZ

3.3.1. Material genético

Para la ejecución de este trabajo se utilizaron:

- (i) Dos líneas F₆ Puyón/JP002 P11 – 10 -74 y Puyón/JP002 P8 – 20, líneas seleccionadas en el experimento anterior F₅ por presentar una menor población de *M. graminicola*. Este material provino de las cruzas interespecíficas e intraespecíficas de *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, y *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica*.
- (ii) La variedad comercial INIAP 15, se incluyó como variedad susceptible (testigo).

3.3.2. Análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 5 (A x B) con cinco repeticiones. El factor A corresponde a 3 fases fenológicas del arroz, el factor B a los tratamientos (cinco niveles de nematodos: 0, 500, 1 000, 2 000 y 3 000).

Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia. Se empleó la prueba de Tukey al 95 por ciento de probabilidad para determinar la diferencia estadística entre las medidas de los tratamientos. Para el análisis estadístico se empleó el paquete InfoStat 2018. Asimismo, se utilizó el siguiente modelo lineal:

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i \beta_j + \varepsilon_{ijk};$$

Donde: γ_{ijk} variable observada;

μ = Media general;

α_i = efecto de la i-ésima etapa fenológica del cultivo;

β_j = efecto del j-ésima niveles de nematodos;

$\alpha_i \beta_j$ = efecto de la interacción de la i-ésima etapa fenológica del cultivo por la j-ésima niveles de nematodos;

ε_{ijk} = error asociado a las ij – ésimas unidades experimentales.

La distribución de grados de libertad para cada fuente de variación puede apreciarse en la Tabla 6.

Tabla 6: Distribución de grados de libertad

Fuente de variación	Grados de libertad (G.L)	
A (Etapas fenológicas)	A – 1	2
B (Nivel nematodos)	B – 1	4
Interacción etapas fenológicas x Nivel de nematodos	(A – 1) (B – 1)	8
Error experimental	AB (R - 1)	60
Total	AB R – 1	74

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Descripción de los tratamientos

En condiciones de invernadero, se evaluó el efecto de diferentes niveles de infestación de nematodos (0, 500, 1 000, 2 000 y 3 000 J2) en las diferentes fases fenológica del cultivo, las que fueron analizadas en las etapas de floración, llenado de grano y cosecha (Tabla 7).

Tabla 7: Fase fenológica del arroz (Factor A) y niveles de nematodos (Factor B) en condiciones de invernadero

Tratamientos	Niveles de nematodos	Evaluación			Total plantas
		Floración	Llenado de grano	Cosecha	
Puyón/JP002 P11 – 10	0	5	5	5	15
Puyón /JP002 P8 – 20	0	5	5	5	15
INIAP 15	0	5	5	5	15
Puyón /JP002 P11 – 10	500	5	5	5	15
Puyón /JP002 P8 – 20	500	5	5	5	15
INIAP 15	500	5	5	5	15
Puyón /JP002 P11 – 10	1000	5	5	5	15
Puyón /JP002 P8 – 20	1000	5	5	5	15
INIAP 15	1000	5	5	5	15
Puyón /JP002 P11 – 10	2000	5	5	5	15
Puyón /JP002 P8 – 20	2000	5	5	5	15
INIAP 15	2000	5	5	5	15
Puyón /JP002 P11 – 10	3000	5	5	5	15
Puyón N/JP002 P8 – 20	3000	5	5	5	15
INIAP 15	3000	5	5	5	15
Total de plantas		75	75	75	225

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Multiplicación del nematodo

El nematodo se multiplicó en invernadero utilizando suelo infestado con *M. graminicola* proveniente de un campo comercial y semillas de arroz de la var. INIAP 15 (susceptible). De estas plantas se extrajeron masas de huevo del nematodo y se expusieron a eclosión en el laboratorio para obtener los juveniles que se utilizaron en la investigación. Se colocaron en tres cajas Petri 1 ml de la solución agua-nematodo (inóculo) y a través de un estereomicroscopio se cuantificó el número de juveniles del segundo estadio (J2) y por cálculo matemático se obtuvo los diferentes niveles de inóculo (500, 1 000, 2 000 y 3 000 J2) que fueron colocados en cada una de las plantas en estudio (Figura 18).



Figura 18: Extracción de masas de huevo de *M. graminicola* para obtención de J

3.3.5. Método de inoculación

En cada una de las fundas utilizadas en la investigación se incorporó 1 kg de suelo solarizado libre de nematodos y otros organismos, además, se colocó fertilizantes como fósforo y potasio en dosis adecuadas (25 g de fosforo y 25 g de potasio).

En cada funda se colocaron 5 semillas y luego se dejaron dos plantas por unidad. A los 25 días de emergidas las plantas se inocularon según los niveles de población programados (500, 1 000, 2 000 y 3 000 J2 de *M. graminicola*) también un testigo sin nematodo. Se retiró un poco de suelo alrededor de las raíces y se depositó lentamente el líquido con los juveniles y se taparon nuevamente las raíces con el mismo suelo apartado.

Durante los primeros 15 días después de inoculación, las plantas fueron regadas con cuidado para evitar que el inóculo se pierda por secamiento o exceso de humedad del suelo. De acuerdo con la etapa de desarrollo de la planta de arroz (floración, llenado de grano y cosecha) se extrajeron 5 plantas por nivel de inóculo con todo el sistema radicular y se efectuaron las respectivas evaluaciones. La Figura 19 muestra el proceso de inoculación.



Figura 19: Inoculación de los niveles de J2 a cada planta

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Variables Evaluadas

a. Evaluación en la fase de la floración

- **Número de macollos por planta**

Se contó el número de macollos /planta.

- **Número de panículas por planta**

Se contó el número de panículas por planta.

- **Altura de planta (cm)**

Se procedió a medir la altura de las plantas (cm) con la ayuda de una regla graduada en cm desde el nivel del suelo (base de la planta) hasta el ápice de la panícula más pronunciada sin tomar en cuenta la arista.

- **Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces y suelo**

Se determinó la densidad poblacional de *M. graminicola* en las raíces con el método de extracción “Licuado-Tamizado” y para el caso de suelo se utilizó el método de “Incubación” (Triviño *et al.* 2013), ambos descritos en párrafos anteriores.

b. Evaluación en la fase de llenado de grano

- **Longitud de la raíz**

Cuando las plantas estuvieron en la etapa de llenado de grano se procedió a medir la raíz (cm) de todas las plantas.

- **Número de agallas/planta**

En el laboratorio se lavó el sistema radicular con agua corriente y se registró el grado de agallas mediante la escala de Ramos *et al.* (1998) calificada de 0 a 4 (Tabla 8).

Tabla 8: Escala para calificar la infestación de *M. graminicola* en vivero mediante el número de agallas en las raíces

Grado	Nº de agallas	Nematodos/100 cm³ de suelo	Nematodos/10 g de raíces	Calificación
0	0	0	0	Libre
1	1 a 10	1 – 40	1 a 300	Baja
2	11 a 30	41 – 120	301 a 1000	Moderada
3	32 a 75	121 – 150	1001 a 3000	Alta
4	>75	> 150	> 3000	Muy alta

Fuente: Ramos *et al.* (1998).

- **Densidad poblacional de nematodos en raíces y suelo**

Para el caso de las raíces se utilizó el método “Licuado-Tamizado” (Triviño *et al.* 2013) y en el suelo el método de incubación (Triviño *et al.* 2013).

A continuación, la Figura 20 muestra la escala para determinar el daño en raíz de arroz causado por *M. graminicola*.

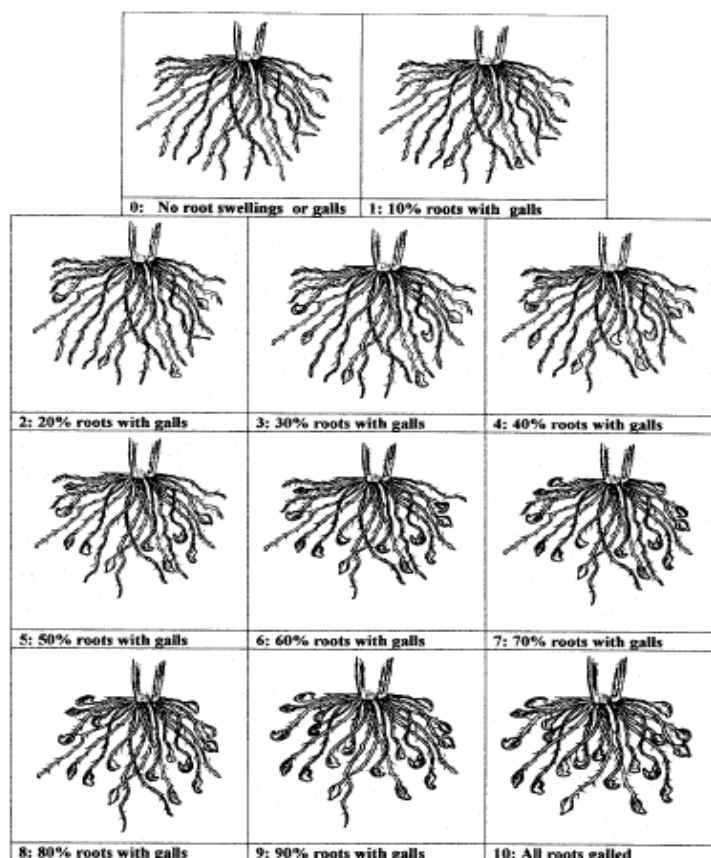


Figura 20: Escala para determinar el daño en raíz de arroz causado por *M. graminicola*

Fuente: Bridge y Page (1982).

c. Evaluación en la fase de cosecha

- **Granos por planta**

Cuando las plantas estuvieron en la etapa de maduración se procedió a contar los granos por planta.

- **Esterilidad de grano (%)**

Se contabilizó el número de granos fértiles (llenos) y estériles (vanos) de cada una de las plantas para determinar el porcentaje de esterilidad.

- **Peso de 1 000 granos (g)**

Se tomaron 1 000 granos por planta, teniendo cuidado de no seleccionar granos dañados por insectos o enfermedades; se pesaron en gramos en una balanza de precisión.

- **Densidad poblacional de nematodos en raíces y suelo**

Para el caso de las raíces se utilizó el método “Licuado-Tamizado” y en el suelo, el método de incubación (Triviño *et al.* 2013).

3.4. SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN DIFERENTES CONDICIONES DE INFESTACIÓN CON *M. graminicola*

3.4.1. Metodología

El estudio se desarrolló en dos etapas:

a. Etapa 1. Evaluación de la densidad población de *M. graminicola* en raíces y suelo del sector arrocero Babahoyo y Quevedo

- **Muestreo nematológico de suelo y raíces en el cultivo de arroz en las zonas Quevedo y Babahoyo**

En la toma de muestras se utilizó como un instrumento un GPS que ayudo a determinar la ubicación exacta del sitio de muestreo. Cada muestra fue tomada al azar en lotes desde 1 a 20 ha donde se tomaron 10 plantas/sitio con un total de 10 muestras tanto de suelo como raíces. En el caso de las raíces, se extrajo cuidadosamente su sistema radicular y de manera homogenizada se extrajo 10 gr de raíces. En suelo se tomaron aproximadamente 10 submuestras y de manera homogenizada se extrajo una muestra de un 1 kg/sitio. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico sin huecos, protegidas del sol para evitar su desecación hasta llegar al laboratorio en un máximo de 2 días. En el laboratorio éstas se almacenaron a una temperatura de 10 a 15 °C. con una etiqueta de identificación tanto para raíces como suelo tanto para la zona de Quevedo y Babahoyo. El análisis nematológico se realizó en el laboratorio ANEMAGRO (Tabla 9).

- **Análisis de suelo y raíces**

Para determinar la densidad poblacional de suelo y raíces se utilizó el método “Licuado-Tamizado”, y en el suelo el método de incubación (Triviño *et al.* 2013).

Tabla 9: Datos y coordenadas geográficas de zonas de muestreo para determinar la densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³ de suelo y 10 g de raíces en campos de arroz de los cantones Babahoyo y Quevedo - Ecuador

CODIGO	RECINTO	PROPIETARIO	SECTOR	PROVINCIA	COORDENADAS GEOGRAFICAS
P1	Chipe Minuope	Andres Murillo	Quevedo	Los Rios	1°13'09"S 79°37'45.9"O
P2	Chipe Minuope	Jony Moran	Quevedo	Los Rios	1°20'36.88"S 79°33'86.53"O
P3	La Cadena	Alfredo Vera Vera	Quevedo	Los Ríos	1°12'18.35"S 79°39'80.13"O
P4	Fruta De Pan	Olmedo Chan	Quevedo	Los Rios	1°12'05.68"S 79°40'36.42"O
P5	Lechugal	Wilson Ochoa	Quevedo	Los Rios	1°12'18.36"S 79°41'05.03"O
P6	San Francisco	Ricardo Montero	Quevedo	Los Rios	1°21'19.87"S 79°32'73.68"O
P7	El Guayacan	Efrain Villareal	Quevedo	Los Rios	1°02'36.0"S 79°28'48.9"O
P8	Bombon	Paola Albán	Quevedo	Los Rios	1°48'33.12"S 79°79'22.15"O
P9	Pichilingue		Quevedo	Los Rios	1°03'31.87"S 79°48'48.40"O
P10	INIAP Pichilingue	INIAP	Quevedo	Los Rios	1°07'70.23"S 79°49'08,17"O
P11	San Pablo	Nixon González	Babahoyo	Los Ríos	1°79'95.47"S 79°48'30.03"O
P12	Palmar	Euterio Quiroz	CEDEJE	Los Ríos	1°80'61.79"S 79°55'07,13"O
P13	Cedral 2	Rafael Bolívar Camino	CEDEJE	Los Rios	1°80'61.79"S 79°55'07.13"O
P14	La legua	Efrén Germán	Babahoyo	Los Rios	1°80'61.78"S 79°55'07.53"O
P15	La legua	Luis Campo	Babahoyo	Los Rios	1°80'61.78"S 79°53'32.63O
P16	Pimocha	Alejandro Campo	Babahoyo	Los Rios	1°83'34.37"S 79°60'20.51"O
P17	Pimocha	Ramón Morán	Babahoyo	Los Rios	1°83'34.37"S 79°60'20.51"O
P18	Mata de cacao	J. Contreras	Babahoyo	Los Rios	1°78'64.98"S 79°39'61.94"O
P19	Cachari	Miguel Zambrano	Babahoyo	Los Rios	1°78'55.58"S 79°47'78.32"O
P20	Cachari	Wilson Loor Zambrano	Babahoyo	Los Ríos	1°78'55.58"S 79°47'78.32"O

Fuente: Elaboración propia.

b. Etapa 2. Sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz, en diferentes condiciones de infestación con *M. graminicola*

Los datos para determinar la sustentabilidad de las zonas seleccionadas se obtuvieron mediante encuestas, entrevistas, talleres, día de campo y observaciones directas en campo. La encuesta, la cual se muestra en el Anexo 1, consistió en 26 preguntas orientadas a obtener información sociocultural, económica y ecológica. La población encuestada estuvo compuesta por profesionales, representantes de asociaciones arroceras, productores de arroz de pequeña escala y otros.

• **Población y muestra**

El cantón Babahoyo posee 5 133 Upas (Unidad de producción agropecuaria) de arroz. Mientras que el cantón Quevedo tiene 715 Upas de este cultivo. Con el fin de llegar a una muestra representativa, se realizaron 94 encuestas en el cantón Babahoyo y 88 en el sector de Quevedo con un nivel de confianza del 90 por ciento. Para el cálculo de la población representativa se utilizó la fórmula por el método de proporciones:

$$n = \frac{\frac{4PQ}{d^2}}{\frac{\frac{4PQ}{d^2} - 1}{N} + 1}$$

Dónde:

n: Número de muestras

N: Población

σ^2 : varianza =p*q=0,5

B: Límite de error de estimación (10 por ciento)

4= Nivel de confianza del 90 por ciento

• **Evaluación de sustentabilidad**

La metodología empleada fue "multicriterio", propuesta por Sarandon (2002), que considera a la vez los lineamientos de Smyth y Dumansky (1995). Se emplearon indicadores, subindicadores y variables cuantificables adaptadas al cultivo de arroz, para determinar las dimensiones, económica, ecológica y sociocultural.

La dimensión económica considero los siguientes indicadores: autosuficiencia alimentaria, ingreso neto mensual y riesgo económico. La dimensión ecológica, considero los siguientes indicadores: Manejo de la biodiversidad, manejo del suelo, manejo de plagas. La dimensión sociocultural consideró los siguientes indicadores: satisfacción de las necesidades básicas, aceptabilidad de los sistemas de producción, integración social y conocimiento y conciencia ecológica. Cada indicador considero una serie de variables todo lo cual esta descrito en la Tabla 9.

- **Escalas de medición**

La propuesta desarrollada empleó escalas de 0 a 4, siendo 0 la categoría menos sustentable y 4, la más sustentable. Independientemente de las unidades en que se obtuvieron originalmente, los valores de cada indicador se expresaron en los valores de esta escala. Se consideró el valor umbral de 2 como un nivel aceptable de sustentabilidad, siguiendo lo señalado por Sarandon y Flores (2014). Los indicadores y sub-indicadores fueron evaluados, calificados y ajustados a la escala original de acuerdo a las necesidades de la finca, con estos datos se pudieron comparar las fincas arroceras la cual facilitó el análisis de la dimensión de la sustentabilidad. Cabe mencionar que no todos los indicadores tienen el mismo valor y peso porque hay algunos más importantes que otros, por lo que fue importante darle una ponderación a los de mayor valor (Tabla 10).

- **Descripción de la ponderación de los indicadores**

El valor de los indicadores fue ponderado multiplicando el numero de la escala por un coeficiente, de acuerdo a la jerarquía relativa de cada variable con relación a la sustentabilidad. Se realizó modificaciones a la metodología propuesta por Sarandon (2010), ya que cierta metodología permite hacer ponderación a los indicadores basados en la importancia que esto significa, esto se basa en la descripción de los indicadores y sub-indicadores y de acuerdo al peso que se dio a cada indicador, reflejado en la formula final de cada dimensión.

Tabla 10: Indicadores y sub indicadores para las tres dimensiones de sustentabilidad utilizando la metodología de “análisis multicriterio”

Dimensión económica (IK)	Dimensión ecológica (IA)	Dimensión sociocultural (IS)
A.- Autosuficiencia alimentaria	A.- Manejo de la Biodiversidad	A.- Satisfacción de las necesidades básicas
A1.- Diversificación de la producción	A1.- Manejo de cobertura vegetal	A1.- Vivienda.
A2.- Superficie de producción de Autoconsumo	A2.- Rotación de cultivos	A2.- Acceso a la educación
B.- Ingreso neto mensual por grupo	A3.- Diversificación de cultivos	A3.- Acceso a salud y cobertura
B1.- Ingreso mensual por su cultivo	B.- Manejo del suelo	A4 -- Servicios.
C.- Riesgo económico	B1.- Aplicación de fertilizantes	B.-Aceptabilidad del sistema de producción
C1.- Diversificación para la venta	B2.- Manejo de agua	B1.- Nivel de satisfacción del productor
C2.-Número de vías de comercialización	C.- Manejo de plagas	C.- Integración social
C3.- Dependencia de insumos externos	C1.- Control de plagas	C1.- Nivel de integración social
C4.- Superficie destinada al cultivo	C2.- Niveles de nematodos/100 cm ³ suelo C3.-Niveles de nematodos/10 g de raíces	D.- Conocimiento y Conciencia Ecológica
C5.- Productividad		D1.- Conocimiento de agroecosistemas
C6.- Acceso a crédito		

A, B, C, D = Indicadores; A1, B1, C1, D1= Sub indicadores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Principales indicadores para evaluar la sustentabilidad

DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	ESCALA	
Económica	A- Autosuficiencia alimentaria	A1- Diversificación de la producción: Es sustentable si la producción alimentaria es diversificada y alcanza para satisfacer el nivel nutricional de la familia.	(4) + de 9 productos (3) de 7 a 9 (2) de 5 a 3 (1) de 3 a 2 productos (0) - de 2 productos	
		A2- Superficie de producción de autoconsumo: Es sustentable si la superficie destinada a la producción de alimentos para el consumo es adecuada con relación a los integrantes del grupo familiar. Se evalúa superficie de autoconsumo (ha)/N° integrantes de la familia	(4) + de 1 ha (3) 1 a 0,5 ha (2) 0.5-0.3 ha (1) 0.3-0.1 ha (0) <= 0.1ha.	
	B-Ingreso neto mensual por grupo.	B1-Es sustentable si puede satisfacer las necesidades económicas del grupo familiar. Estos ingresos son evaluados en UM/mes	(4) + de 300 (3) 300-250 (2) 250-200 (1) 200-100 (0) - de100.	
	C- Riesgo Económico	C1- Diversificación para la venta. Es sustentable si el productor puede comercializar más de 1 producto, ya que, si sufriera alguna pérdida o daño del mismo, podría compensarlo con los demás productos que vende.	(4) ≥ 6 productos (3) 5 a 4 productos (2) 3 productos (1) 2 productos (0) 1 producto.	
			C2- Número de vías de comercialización. La diversificación comercial disminuye el riesgo económico.	(4) ≥ 5 canales (3) 4 canales (2) 3 canales (1) 2 canales (0) 1 canal
			C3- Dependencia de insumos externos. Una alta dependencia no es sustentable	(4) 0 a 20 % (3) 20 a 40 % (2) 40 a 60 %

<<Continuación>>

	(1) 60 a 80 %
	(0): 80 a 100 %
C4. Superficie destinada al cultivo.	(4) \geq 5 hectáreas
	(3) 4 hectáreas
	(2) 3 hectáreas
	(1) 2 hectáreas
	(0) \leq hectáreas
C5. Productividad (toneladas).	(4) \geq 10 toneladas
	(3) 7 – 9 toneladas
	(2) 5 – 7 toneladas
	(1) 3 – 5 toneladas
	(0) \leq 3.6 toneladas
C6. Acceso a crédito	(4) \geq 4 Fuentes de
	(3) 3 fuentes de crédito
	(2) 2 fuentes de crédito
	(1) 1 fuentes de crédito
	(0) \leq sin crédito

<<Continuación>>

DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	ESCALA
Ecológica	A-Manejo de la biodiversidad	A1- Manejo de la cobertura vegetal. La misma provee al suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión.	(4)100 % (3) 99 a 75 % (2) 75 a 50 % (1) 50 a 25 % (0) < 25 % de cobertura.
		A2- Rotación de cultivos.	(4) Rota los cultivos todos los años/Deja descansar un año el lote/incorpora leguminosas o abonos verdes (3) Rota todos los años. No deja descansar el suelo (2) Rota cada 2 ó 3 años (1): Realiza rotaciones eventualmente (0) No realiza rotaciones.
		A3- Diversificación de cultivos.	(4) Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones de cultivos y con vegetación natural (3) Alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos (2) Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos (1) Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones (0): Monocultivo.

<<Continuación>>

DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	ESCALA	
Ecológica	B- Manejo del suelo	B1- Aplicación de Fertilizantes	(4) Aplica niveles altos de fertilización orgánica (3): Aplica niveles medios de fertilización con insumos orgánicos (2) Aplica niveles medios de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (1) Aplica niveles medios de fertilización con insumos inorgánicos (0): Aplica niveles altos de fertilización con insumos inorgánicos	
		B2. Manejo del agua	(4) Tierras continuamente inundadas con más de tres periodos adecuados de secado (3): Tierras continuamente inundadas con tres periodos adecuados de secado (2) Tierras continuamente inundadas con dos periodos adecuados de secado (1) Tierras continuamente inundadas con un periodo adecuados de secado (0): Tierras continuamente inundadas sin periodos adecuados de secado	
		C. Manejo de plagas	C1. Control de plagas	(4) Control con variedades resistentes (3): Control Integrado de plagas (2): Control con dosis medias de pesticidas y prácticas culturales (1): Control con dosis medias de pesticidas (0): Control con altas dosis de pesticidas
			C2. Niveles de nematodos/100g de suelo	(4) > Libre de namatodos (3) 1- 40 bajo en namatodos (2) 41 - 120 moderada en namatodos (1) 121- 150 alto en namatodos (0) Muy alto en namatodos
			C3. Niveles de nematodos/10g de raíces	(4) 0 libre de namatodos (3) 1 – 1000 bajo en namatodos (2) 1001 - 2000 Moderada en namatodos (1) 2001 - 3000 Alto en namatodos (0) > 3000 Muy alto en namatodos

<<Continuación>>

DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	ESCALA
Sociocultural	A-Satisfacción de necesidades básicas.	A1- Vivienda.	(4) De material noble, muy buena (3) De material noble, buena (2) Regular, sin terminar o deteriorada (1) Mala, sin terminar, deteriorada, piso (0) Muy mala.
		A2- Acceso a la educación.	(4): Acceso a educación superior y/o cursos de capacitación (3) Acceso a escuela secundaria (2) Acceso a la escuela primaria y secundaria con restricciones (1) Acceso a la escuela primaria (0) Sin acceso a la educación
		A3- Acceso a salud y cobertura sanitaria:	(4) Centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada (3) Centro sanitario con personal temporario medianamente equipado (2) Centro sanitario mal equipado y personal temporario (1) Centro sanitario mal equipado y sin personal idóneo (0) Sin centro sanitario

Sociocultural		A4- Servicios	(4) Instalación completa de agua, luz y teléfono cercano (3): instalación de agua y luz (2) Instalación de luz y agua de pozo (1) Sin instalación de luz y agua de pozo (0) Sin luz y sin fuente de agua cercana
	B- Aceptabilidad del sistema de producción.	B1. Nivel de satisfacción del productor	(4): Está muy contento con lo que hace, no haría otra actividad, aunque ésta le reporte más ingresos (3) Está contento, pero antes le iba mucho mejor (2) No está del todo satisfecho, se queda porque es lo único que (1) Poco satisfecho con esta forma de vida, anhela vivir en la ciudad y dedicarse a otra actividad (0) Está desilusionado con la vida que lleva, no lo haría más. Está esperando que se le presente una oportunidad para dejar
	C- Integración social.	C1. Nivel de integración social.	(4) Muy alta (3) Alta (2) Media (1) Baja (0) Nula.
	D- Conocimiento y Conciencia Ecológica.	D1. Conocimiento de agroecosistemas.	(4) Concibe la ecología desde una visión amplia, más allá de su finca y conoce sus fundamentos. (3) Tiene un conocimiento de la ecología desde su práctica cotidiana. Sus conocimientos se reducen a la finca con el no uso de agroquímicos más prácticas conservacionistas. (2) Tiene una visión parcializada de la ecología. Tiene la sensación de que algunas prácticas pueden estar perjudicando al medio ambiente. (1) No presenta un conocimiento ecológico ni percibe las consecuencias que pueden ocasionar algunas prácticas. Pero utiliza prácticas de bajos insumos. (0) Sin ningún tipo de conciencia ecológica. Realiza una práctica agresiva al medio por causa de este desconocimiento

3.4.2. Fórmulas empleadas para el cálculo de los indicadores de sustentabilidad

El Índice de sustentabilidad general (ISGen), se calculó empleando los datos de los indicadores: económico (IK), ecológico (IE) y sociocultural (ISC) y cuyas formulas se presentan a continuación.

Indicador económico (IK):

$$IK = \frac{2 \left(\frac{A1 + A2}{2} \right) + B + \left(\frac{C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6}{6} \right)}{4}$$

Indicador Ecológico (IE):

$$IE = \frac{\left(\frac{A1 + A2 + A3}{3} \right) + \left(\frac{B1 + B2}{2} \right) + \left(\frac{C1 + C2 + C3}{3} \right)}{3}$$

Indicador Sociocultural (ISC):

$$ISC = \frac{2 \left(\frac{A1 + A2 + A3 + A4}{4} \right) + B + C + D}{5}$$

a. Dimensión Económica (IK)

Conformado por la autosuficiencia alimentaria (A) y el cual está compuesto por los sub-indicadores: (A1) diversificación de la producción y (A2) superficie de producción de autoconsumo y los cuales fueron ponderados. Por (B) ingreso neto mensual por grupo. Por (C), el cual depende de los sub indicadores: riesgo económico (C1), diversificación para la venta (C2), número de vías de comercialización (C3), dependencia de insumos externos (C4), superficie destinada al cultivo (C5), productividad y por último acceso a crédito (C6).

- **Suficiencia alimentaria.** El sistema es sustentable, si existe la capacidad de producir la mayoría de los alimentos que necesita la familia y poder satisfacer sus necesidades alimentarias.
- **Ingreso económico neto mensual.** El sistema es sustentable si satisface las necesidades económicas de los integrantes de la familia.

- **Riesgo económico.** Un sistema será sustentable, si minimiza el riesgo económico, asegurando la estabilidad de la producción para las futuras generaciones.

b. Dimensión Ecológica (IE)

Respecto a la Dimensión Ecológica, los indicadores que se mencionan a continuación son aquellos que miden el grado de cumplimiento:

- **Manejo de la biodiversidad.** Un sistema es sustentable si se realiza la diversificación de cultivos y se mantiene más de un cultivo (policultivo), donde contribuyendo a reducir y conservación del suelo.
- **Manejo del suelo.** Es sustentable si el suelo sostiene la mayoría de los organismos vivos como la fuente principal de nutrientes para las plantas.
- **Manejo de plagas.** Es sustentable cuando se mantiene poblaciones bajas de nematodos que no causen pérdidas en el rendimiento los cultivos.

c. Dimensión Sociocultural (ISC)

Respecto a la Dimensión Sociocultural, se empleó los indicadores: (A) satisfacción de las necesidades básicas y el cual está compuesto por los sub-indicadores que son vivienda (A1), acceso a la educación (A2), acceso a salud y cobertura (A3), y servicios básicos (A4) y los cuales fueron ponderados. Por más aceptabilidad del sistema de producción (B). Integración social (C), nivel de integración social (C1), conocimiento y conciencia ecológica (D1) y conocimiento de agroecosistema.

- **Satisfacción de las necesidades básicas.** Un sistema sustentable es aquel en el cual los agricultores tienen aseguradas sus necesidades básicas.
- **Aceptabilidad del sistema de producción.** Está directamente relacionada con el grado en la fórmula de aceptación por parte del agricultor, al sistema productivo.

- **Integración social.** Esta referido a evaluar la relación con otros miembros de la comunidad.
- **Conocimiento y conciencia ecológica.** Es referido al conocimiento y conciencia ecológica, que son fundamentales para tomar decisiones adecuadas respecto a la conservación de los recursos.

3.4.3. Índice de sustentabilidad general (ISGen)

Para su cálculo se emplearán los datos de los indicadores económicos (IK), ambientales (IA) y sociales (IS), valorando a las tres dimensiones por igual.

$$\text{ISGen} = \frac{IK + IA + IS}{3}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. NIVELES DE RESPUESTA A *Meloidogyne graminicola* DE 50 LÍNEAS AVANZADAS DE ARROZ (F5) PROVENIENTES DE LOS CRUCES INTERESPECÍFICOS DE *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza rufipogon* G, Y CRUCES INTRAESPECÍFICA *Oryza sativa* ssp. *japonica* x *Oryza sativa* ssp. *japonica*.

4.1.1. Densidad poblacional de *M. graminicola* (J2 /10 g de raíces) en raíces de líneas avanzadas provenientes de cruces del género *Oryza*, inoculadas con 2 500 estados infectivos del nematodo.

El análisis de varianza de la densidad poblacional muestra que existe alta significancia estadística ($p < 0,0001$) entre los tratamientos; es decir, una respuesta diferente entre los genotipos evaluados.

La Figura 21 muestra los resultados y se puede apreciar que el rango varió de 5 530 a 63 210 J2 /10 gr de raíces; correspondiendo el menor valor al genotipo 32 (Puyón/Jp002 P11 – 10 - 22) y el mayor valor al genotipo 7 (Puyón/Jp002 P8 –28–8-5). El experimento tuvo un valor promedio igual a 22888 J2 /10 gr de raíces y el testigo comercial INIAP 15 (susceptible) tiene un valor promedio igual a 17190 J2 /10 gr de raíces.

El genotipo 32 (Puyón/Jp002 P11 – 10 - 7), genotipo 5 (Puyón/Jp002 P8 – 20 – 13), genotipo 31 (Puyón/Jp002 P11 – 10 – 22) y el genotipo 2 (Puyón/Jp002 P8 – 20 – 14) presentaron los valores promedio más bajos iguales a 5 530, 7 130, 7 590 y 8 080 J2 /10 gr de raíces. Por otro lado, los genotipos más susceptibles fueron: el genotipo 7 (Puyón/Jp002 P8 –28–8-5), genotipo 8 (Puyón/Jp002 P8 –28–8-16) y el genotipo 12 (Puyón/Jp002 P8–30–55-2) con los promedios de 63 210, 50 060 y 43 750 J2 /10 gr de raíces, respectivamente.

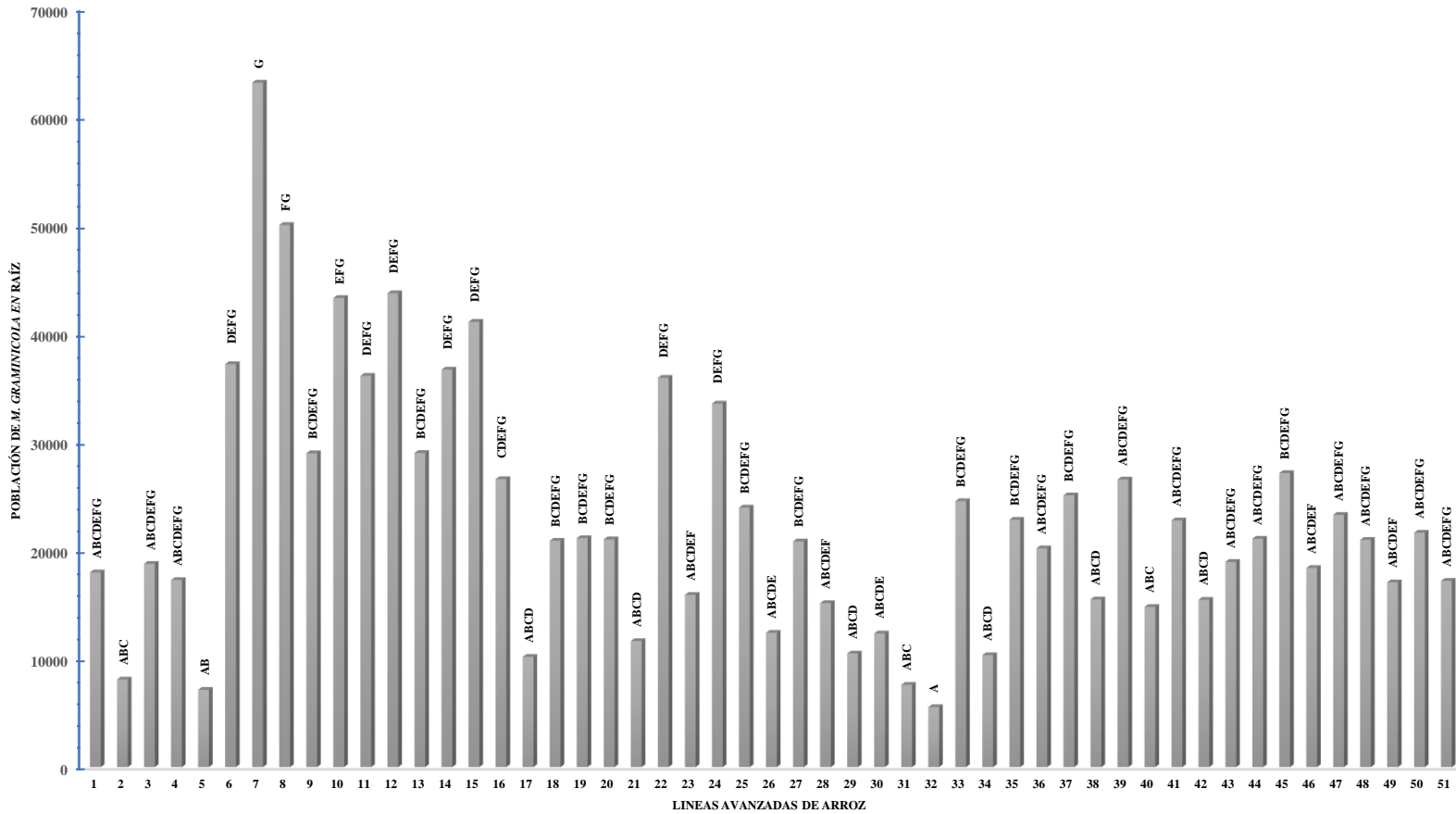


Figura 21: Densidad poblacional de *M. graminicola* (J /10 g de raíces), en raíces de líneas avanzadas provenientes de cruces del género *Oryza*, inoculadas con 2 500 estados infectivos del nematodo

Fuente: Elaboración propia.

Los genotipos estudiados fueron susceptibles a *M. graminicola* según la escala valorada por Ramos *et al.* (1998); sin embargo, se observan genotipos provenientes de cruces interespecíficos con menor cantidad de nematodos en 10 gr de raíces que el testigo comercial. Probablemente este material genético tiene resistencia cuantitativa y la cual se caracteriza por la reducción de la población de nematodos, pero con síntomas de susceptibilidad.

Uno de los síntomas visibles que se observó en el cruce de japónica x japónica fue el amarillamiento de hojas a los 35 días después de la inoculación causado por la presencia de *M. graminicola*. La infección causada por el nematodo en las raíces de las plantas de arroz, interfiere de manera directa en el flujo de absorción y transporte de agua y nutrientes en la planta, originando síntomas en la parte foliar como raquitismo, clorosis y pérdida de vigor.

En esta investigación se observó que las líneas provenientes de cruces inter e intra específicas fueron altamente susceptibles al nematodo *M. graminicola*, especialmente en el nivel de inoculación de 2500 J2 al inicio de desarrollo de la planta, en condiciones controladas. Esta investigación corrobora lo dicho por Reyes (2013), que señala a las gramíneas y entre ellas al arroz como especies favoritas hospederos del nematodo. *M. graminicola* tiene niveles altos de infestación en el cultivo de arroz en los diferentes cantones arroceros de la provincia de los ríos y por lo que se puede señalar que las variedades sembradas por los agricultores, en general, son hospedantes eficientes para el nematodo (Lombeida *et al.* 2021).

4.1.2. Densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³ de suelo en el material genético provenientes de cruces del género *Oryza* inoculados en forma controlada con 2 500 estados infectivos

El análisis de la varianza también muestra alta significancia estadística entre tratamientos para este parámetro evaluado. El rango observado varió de 27 a 2 960 J en 100 cm³ de suelo (Figura 22). El valor más bajo corresponde al genotipo 24 (Puyón/JP002-P8-28-28) y el más alto al genotipo 36 (JP003/JP001-P169-GL-23-6).

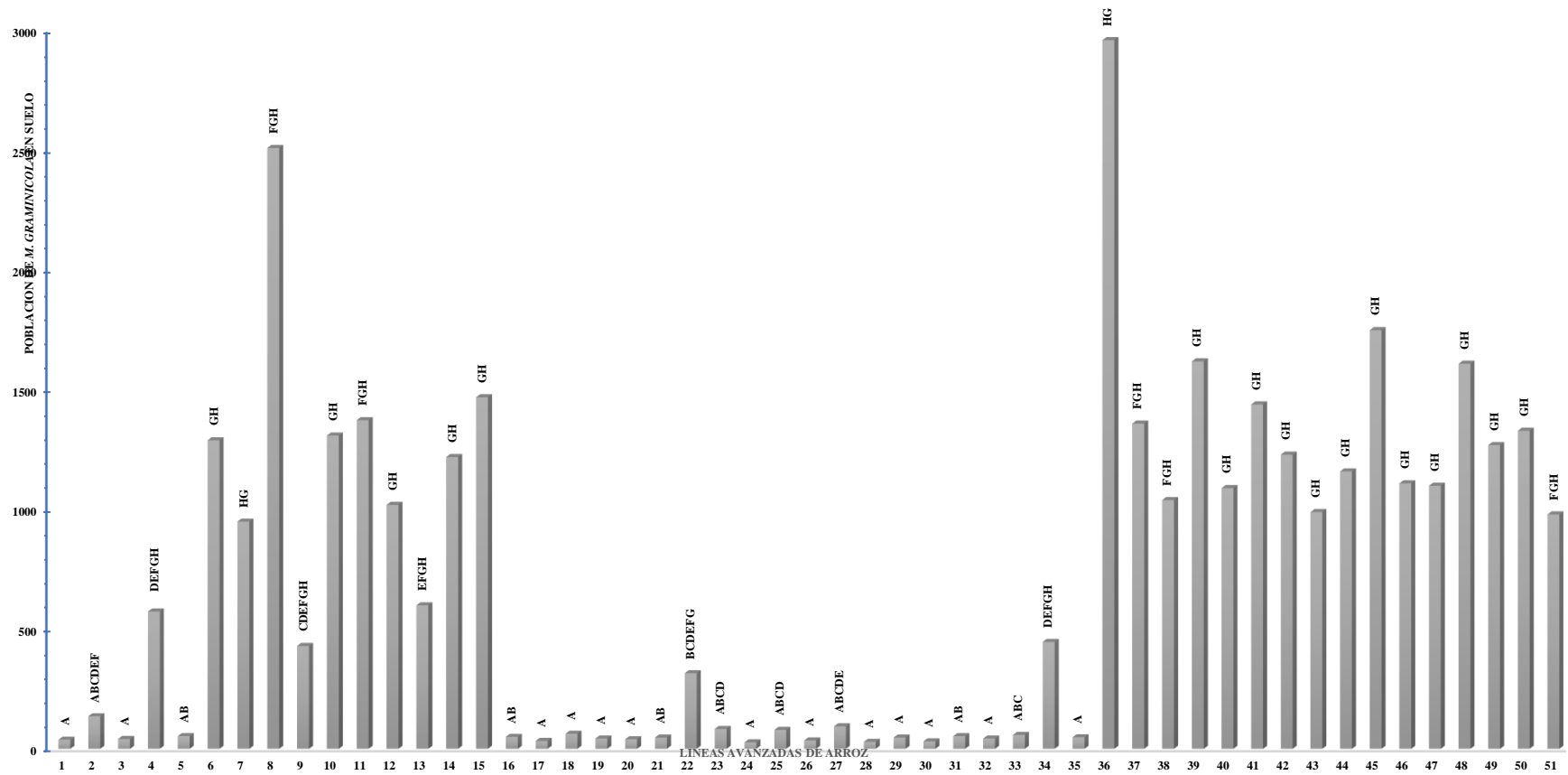


Figura 22: Densidad poblacional de *M. graminicola* en suelo en el material genético provenientes de cruces del género *Oryza* inoculados en forma controlada con 2500 estados infectivos

Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron los genotipos con menor valor como el genotipo 24 (Puyón/JP002-P8-28-28), genotipo 28 (Puyón/JP002-P8-32-33) y genotipo 30 (Puyón/JP002-P8-28-28-11) con los promedios de 27, 29 y 31 J2 en 100 cm³ de suelo, respectivamente. Por otro lado, los genotipos con los valores más altos fueron el genotipo 36 (JP003/JP001-P169-GL-23-6), genotipo 45 (JP003/JP001-P87-GL-17-25) y genotipo 39 (JP003/JP001-P169-GL-14-31) con los valores promedios de: 2 960, 1 750 y 1 620 J2 en 100 cm³ de suelo; respectivamente. El promedio del experimento tuvo un valor igual a 720 J2 en 100 cm³ de suelo y el testigo comercial INIAP 15 alcanzó un valor igual a 980 J2 en 100 cm³ de suelo.

En esta evaluación los genotipos provenientes del cruce Puyón x Japónica mostraron menores valores en general, comparados con los genotipos provenientes de la cruce intraespecífica de Japónica x Japónica, aplicando la escala de severidad y incidencia de Ramos *et al.* (1998) para calificar la respuesta a *M. graminicola* en arroz.

4.1.3. Índices de reproducción de *M. graminicola* en el material genético provenientes de cruces del género *Oryza* inoculados en forma controlada con 2500 estados infectivos

En lo que concierne al índice de reproducción de *M. graminicola*, el rango varió de 2 a 25 veces. La línea en la que se observó un menor índice de reproducción fue la línea 32 (Puyón/JP002 P11–10 P74), en el rango de 1,1 a 2, y por lo tanto, de acuerdo con la escala determinada por CIP (1985), sería un huésped eficiente. Todas las demás líneas según la escala mencionada se calificaron como hospederos muy eficientes. Se identificaron las líneas con mayores índices de reproducción del nematodo como: 7 (Puyón/JP002 P8 –29 P8-5), 8 (Puyón/JP002 P8–29 P8-16), 12 (Puyón/JP002 P8–30 P55-2), 10 (Puyón/JP002 P8 –29 P49-30) que presentaron valores de reproducción de 25, 20, 18 y 17 veces, respectivamente. Por otro lado, la variedad INIAP 15 (testigo susceptible a *M. graminicola*), tuvo un índice de reproducción del nematodo igual a 7.

Algunas de las líneas derivadas de cruces interespecíficos entre *Oryza rufipogon* G. (Puyón) x *Oryza sativa* L. ssp. Japonica y las líneas derivadas de cruces intraespecíficos de *Oryza sativa*, presentaron menores valores de índices de reproducción del nematodo, comparados con el valor de reproducción de la variedad comercial INIAP 15 (Figura 23).

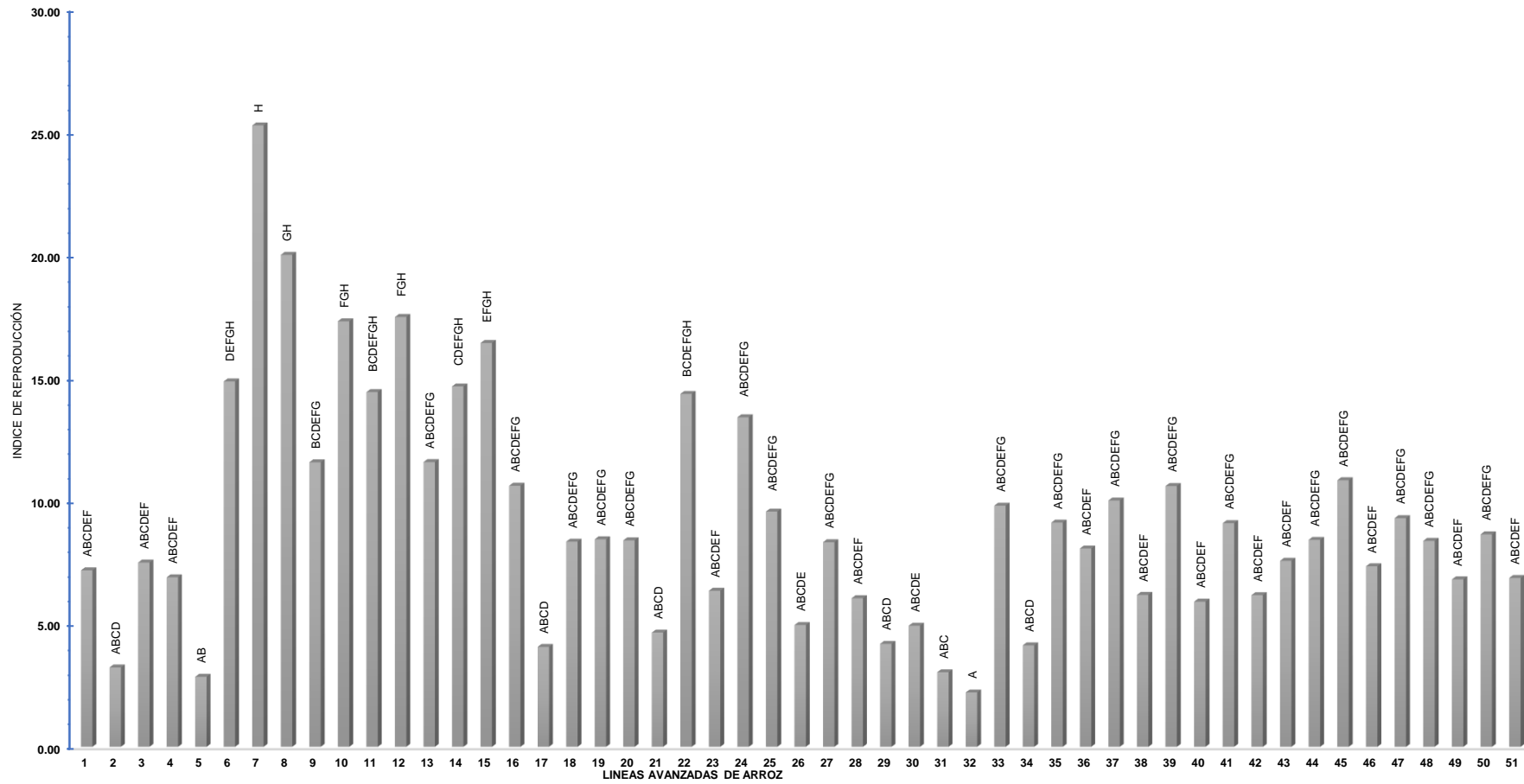


Figura 23: Índice de reproducción de *M. graminicola* en el material genético provenientes de cruces del género *Oryza* inoculados en forma controlada con 2 500 estados infectivos

Fuente: Elaboración propia.

Los cruces de Puyón x japónica tuvieron un índice de reproducción menor a la variedad comercial y los genotipos de los cruces japonico x japonico, se mantienen en índices de reproducción mayores a 2; sin embargo, aun con estos valores menores, siguen siendo hospederos eficientes; razón por la cual el índice de reproducción del nematodo se usa para identificar los niveles de la resistencia en el material genético. La relacion entre la población final y la inicial refleja el nivel de incremento del nematodo, considerándose a una planta resistente cuando el valor del índice es menor a 1, y susceptible cuando el índice es mayor este valor. La susceptibilidad en el arroz es medida por el indice de reproducción más no por la nodulación o agallamiento, ya que la presencia de agallas no siempre se puede dar por hecho la existencia del genero *Meloidogyne* (Taylor y Sasser 1983).

4.2. EFECTO DE LOS NIVELES DE POBLACIÓN DE *M. graminicola* EN CARACTERES AGRONÓMICOS DE LÍNEAS AVANZADAS SELECCIONADAS F6 DE ARROZ.

4.2.1. Determinación del efecto de la inoculación en diferentes etapas del cultivo y niveles de *M. graminicola* en caracteres agronómicos de genotipos de arroz

a. Número de macollos por planta en la etapa de floración

En la Tabla 12 se presentan los resultados observados. El análisis de varianza muestra que, para la variable número de macollos por planta en etapa de floración, registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) para líneas y niveles poblacionales. No encontrándose significancia estadística para la interacción de líneas x niveles de población. El coeficiente de variación fue igual a 7.92 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre todos los tratamientos estudiados.

En la Tabla 12, para genotipos, en promedio de los niveles inoculados, se observa un rango de 7 a 8 macollos en floración. Para cada nivel de inóculo, en promedio de todas las variedades estudiadas, se observa que el número de macollos vario de 7 a 9, correspondiendo el valor más bajo a los niveles de 2 000 J2 y 3 000 J2 y el más alto al nivel 0 sin inoculación.

En forma detallada para cada genotipo y cada nivel de inóculo se observa que el número de macollos vario de 6 a 10, correspondiendo el valor más bajo a Puyón/JP002 P11 – 10 con los niveles de nematodos de 2000 J2 y 3000 J2 de *M. graminicola* y el valor más alto a Puyón/JP002 P8 – 20 en el nivel 0 (sin inoculación).

Tabla 12: Número de macollos, número de panículas, altura y longitud de raíz de plantas (cm) de genotipos de arroz, inoculados con diferentes niveles de población de *M. graminicola*

Factor A	Factor B	Número de macollos a la floración	Número de panículas/planta	Altura de planta a la floración	Longitud de raíz en llenado de grano (cm)
Genotipos	Niveles de nematodos				
Puyón/JP002 P11 – 10		7.0c	6.0 c	89.16 a	15.08 b
Puyón/JP002 P8 – 20		8.0 a	8.0 a	90.96 a	11.92 c
INIAP 15		8.0 b	7.0 b	89.88 a	22.64 a
Niveles de nematodo	0	9.0 a	8.0 a	95.07 a	21.60 a
Niveles de nematodo	500	8.0 b	7.0 b	90.80 ab	17.33 b
Niveles de nematodo	1000	8.0 b	7.0 b	88.87 b	15.47 b
Niveles de nematodo	2000	7.0 b	6.0 b	87.60 b	16.07 b
Niveles de nematodo	3000	7.0 b	6.0 b	87.67 b	12.27 c
Puyón/JP002 P11 – 10	0	8.0 bc	8.0 ab	95.00 ab	24.40 a
Puyón /JP002 P8 – 20	0	10.0 a	9.0 a	97.40 a	13.60 b
INIAP 15	0	8.0 b	8.0 ab	92.80 ab	26.80 a
Puyón /JP002 P11 – 10	500	8.0 bcd	7.0 bcd	90.80 ab	13.80 b
Puyón /JP002 P8 – 20	500	8.0 b	7.0 bc	89.20 ab	12.00 b
INIAP 15	500	8.0 bc	7.0 c	92.40 ab	26.20 a
Puyón /JP002 P11 – 10	1000	7.0 cde	6.0 cd	87.80 ab	13.00 b
Puyón /JP002 P8 – 20	1000	8.0 bc	7.0 bc	89.00 ab	9.80 b
INIAP 15	1000	9.0 bc	7.0 bcd	89.80 ab	23.60 a
Puyón /JP002 P11 – 10	2000	6.0 de	6.0 cd	86.80 ab	12.00 b
Puyón /JP002 P8 – 20	2000	8.0 bc	7.0 bc	89.60 ab	13.00 b
INIAP 15	2000	8.0 bc	6.0 cd	86.40 ab	23.20 a
Puyón /JP002 P11 – 10	3000	6.0 e	5.0 d	85.40 b	12.20 b
Puyón /JP002 P8 – 20	3000	8.0 bc	7.0 bc	89.60 ab	11.20 b
INIAP 15	3000	8.0 bc	7.0 bcd	88.00 ab	13.40 b
Promedio general		8.0	7.0	90.00	16.54
Significancia	Factor a	**	**	ns	**
	Factor b	**	**	ns	**
	Interacciones	ns	ns	ns	**
Coefficiente de variación		7.92	9.71	5.46	11.02

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

b. Número de panícula por planta

En la Tabla 12 se presentan los resultados observados. El análisis de varianza registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) para líneas y niveles poblacionales para la variable número de panículas por planta de las líneas avanzadas seleccionadas de arroz y el testigo referencial en la etapa de floración. No encontrándose significancia estadística para la interacción de líneas x niveles de población. El coeficiente de variación fue igual a 9,71

por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre todos los tratamientos estudiados.

Observando la Tabla 12, para genotipos, en promedio de todos los niveles de inóculo, el número de panículas por planta varió de 6 a 8 observándose el menor valor en Puyón/JP002 - P11 – 10 y el mayor valor en Puyón/JP002 - P8 – 20. Por otro lado, a nivel de inóculo, en promedio de variedades, el número de panículas por planta vario de 6 a 8, correspondiendo el valor más bajo a los niveles de 2 000 J2 y 3 000 J2 y el más alto al nivel 0 o sin inoculación.

En la Tabla 12, a nivel de cada genotipo e inóculo se puede apreciar, que el número de panículas por planta vario de 5 a 9, correspondiendo el valor más bajo a Puyón/JP002 P11 – 10 con el nivel de nematodos de 3 000 J2 de y el valor más alto a Puyón/JP002 P8 – 20 en el nivel 0 (sin inoculación).

c. Altura de planta en la etapa de floración

En la Tabla 12, el análisis de varianza para la variable altura de planta de las líneas mejoradas de arroz y la variedad comercial en etapa de floración, registró que no existe significancia estadística para líneas, niveles poblacionales y la interacción de líneas por niveles de población. El coeficiente de variación fue igual a 5.46 por ciento.

Asimismo, en la Tabla 12, se presenta los valores de los genotipos en promedio de todos los niveles de inoculación de nematodos juveniles estudiados y se observa que la altura de planta varió de 89,16 cm a 90,96 cm correspondiendo el menor valor a INIAP 15 y el mayor valor a Puyón/JP002 - P8 – 20, no existiendo diferencias significativas entre estos valores (Tukey 5 por ciento). Por otro lado, se aprecia a nivel de las inoculaciones, en promedio de genotipos, que la altura de planta vario de 87,60 cm a 95,07 cm, correspondiendo el valor más bajo a los niveles de 2 000 J2 y el más alto al nivel 0 sin inoculación. En ambos casos hay diferencias significativas entre estos valores (Tukey 5 por ciento).

Estudiando cada genotipo y cada nivel de inóculo se observa que esta variable varia de 85.4 cm a 97.4 cm correspondiendo el valor más bajo a Puyón/JP002 P11 – 10 con los niveles de nematodos de 3 000 J2 de *M. graminicola* y el valor más alto a Puyón/JP002 P8 – 20 en el nivel 0 (sin inoculación). La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados (Tabla 12).

Esto demuestra que tanto los genotipos provenientes de cruces interespecíficas como la variedad comercial resultaron afectados por los niveles de población de *M. graminicola* presentes en la etapa de floración del arroz.

d. Longitud de raíz en la etapa llenado de grano

En la Tabla 12, el análisis de varianza para longitud de la raíz en la etapa de llenado de grano, registró que existe una alta significancia ($p < 0.0001$) estadística para las líneas mejoradas de arroz y la variedad comercial, en niveles poblacionales y la interacción de líneas x niveles poblacionales, con un coeficiente de variación de 11.2 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre todos los tratamientos estudiados.

En la Tabla 12, se presenta los valores de longitud de raíces para las variedades, en promedio de todos los niveles de inoculación, y se observa que la longitud de raíces varió de 11,92 cm a 22,64 cm correspondiendo el menor valor a Puyón/JP002 - P8 – 20 y el mayor valor a INIAP 15. Por otro lado, se aprecia para niveles de inoculación, en promedio de los genotipos estudiados, que la longitud de raíz varió de 12,27 cm a 21,6 cm, correspondiendo el valor más bajo al nivel 3000 J2 y el más alto al nivel 0 sin inoculación.

Estudiando la data general para altura de planta para cada genotipo y nivel de inóculo, se observa que esta variable varía de 9,8 cm a 26,8 cm correspondiendo el valor más bajo al genotipo Puyón/JP002 P8 – 20 con el nivel 1 000 J2 y el más alto INIAP 15 con el nivel 0 sin inoculación. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados (Tabla 12).

De manera general se puede observar que las raíces de las líneas mejoradas de arroz tuvieron menor longitud que el testigo INIAP 15. *M. graminicola* forma nódulos o agallas en las partes terminales de las raíces afectando la absorción de nutrientes. Esto se reporta en otros experimentos, donde señala que la presencia del nematodo agallador *Meloidogyne* en las raíces, imposibilita a las plantas tomar los nutrientes y agua del suelo, causando efectos negativos en el desarrollo de sus raíces, inclusive la pérdida del sistema radicular (Gómez *et al.* 2008).

e. Rendimientos de granos de tres genotipos de arroz bajo diferentes niveles de *M. graminicola* inoculados en etapa de plántulas

En la Tabla 13, se muestra las pérdidas y los porcentajes de reducción del rendimiento de dos líneas mejoradas de arroz y la variedad comercial INIAP 15 empleada como testigo referencial por su alta susceptibilidad al nematodo; ocasionados por diferentes niveles poblacionales del nematodo *M. graminicola*.

Tabla 13: Rendimiento de granos (t/ha) y porcentaje de reducción del rendimiento de tres genotipos de arroz por efecto de diferentes niveles de inoculación con *M. graminicola* en etapa de plántulas

Genotipos	Niveles de <i>M. graminicola</i>/plántula	Rendimiento t/ha	% de pérdida de rendimiento
Puyón/JP002 P11-10	0	3.90	-
Puyón/JP002 P8-20	0	4.14	-
INIAP 15	0	4.46	-
Puyón/JP002 P11-10	500	3.70	5.13
Puyón/JP002 P8-20	500	3.92	5.31
INIAP 15	500	3.78	15.24
Puyón/JP002 P11-10	1000	3.60	7.69
Puyón/JP002 P8-20	1000	3.86	6.76
INIAP 15	1000	3.82	14.35
Puyón/JP002 P11-10	2000	3.60	7.69
Puyón/JP002 P8-20	2000	3.80	8.21
INIAP 15	2000	3.90	12.55
Puyón/JP002 P11-10	3000	3.26	16.41
Puyón/JP002 P8-20	3000	3.74	9.66
INIAP 15	3000	3.78	15.24

Se observa que a medida que se incrementa el nivel de inóculo de 0 a 3 000 J2 se reduce el rendimiento de granos. La línea mejorada Puyón/JP002 P11-10, a medida que incrementa el nivel de inóculo presenta pérdidas de rendimiento que van del 5.13 al 16.41 por ciento. La línea mejorada Puyón/JP002 P8-20, mostro un porcentaje de pérdida del rendimiento de 5,31 a 9,66 por ciento, siendo menor a las otras líneas avanzadas y por lo tanto se podría sumir que tiene un nivel más alto de resistencia a *M. graminicola*. Por otro lado, el testigo susceptible INIAP 15 presentó en el nivel 500 J2 y 3 000 J2 pérdidas 15,24 por ciento. La variedad comercial INIAP 15, presentó amarillamiento y finalmente necrosis en las hojas. Estas características fueron más evidentes con el avance del desarrollo del cultivo.

f. Peso 1 000 granos de arroz

En la Figura 24, se puede observar el efecto negativo en el peso de 1 000 granos (g) de los diferentes niveles de inoculación con *M. graminicola* estudiados en la presente investigación. Se puede ver que, mientras se incrementa el nivel de población de *M. graminicola*, menor es el peso de 1 000 granos por planta. Esto concuerda con lo dicho por Vargas (2009), que las poblaciones altas de este nematodo provocan bajo peso del grano.

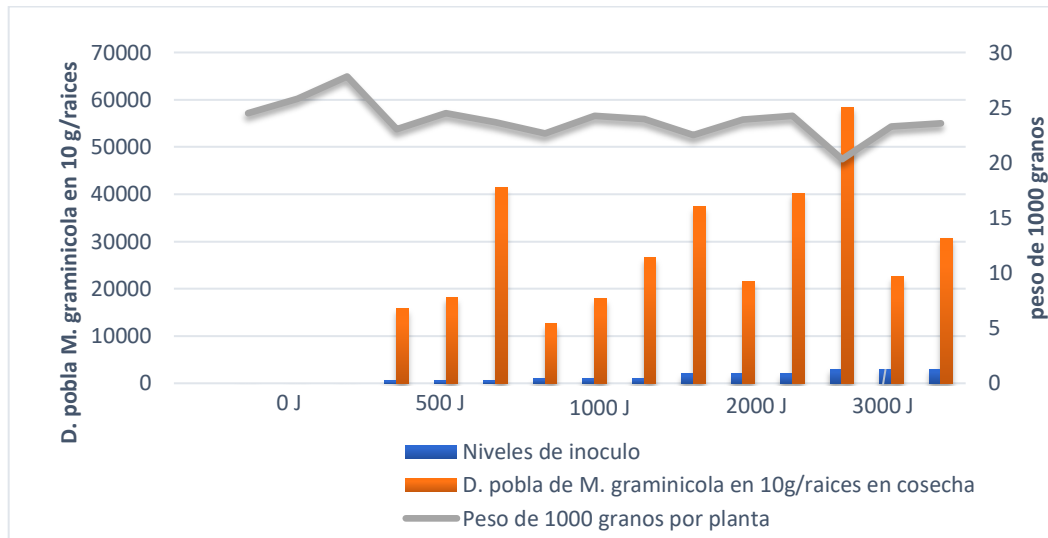


Figura 24: Efecto de diferentes niveles de inoculación de *M. graminicola* en el peso de 1 000 granos (g) de tres genotipos de arroz

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Determinación de la densidad poblacional y el índice de reproducción del nematodo en genotipos de arroz

a. Densidad poblacional de *M. graminicola* en 10g/raíces en etapa de floración

En la Tabla 14, el análisis de varianza para las diferentes poblaciones de *M. graminicola*, registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) y el coeficiente de variación fue de 7,37 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados.

Para genotipos de arroz, en promedio de los niveles de inoculación, se observó un rango de 15 640 a 34 001 J2 en 10 g de raíces en la fase de floración. El valor más alto se encontró en la línea Puyón/JP002 P8-20 y el más bajo en la línea Puyón/JP002 P11-10. La variedad INIAP 15 tuvo 23 357 J2/10g raíces.

Tabla 14: Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces y suelo en etapa de floración y número de agallas por planta en llenado de grano, sometida a diferentes niveles de inóculo en cuanto a caracteres agronómicos de genotipos seleccionadas de arroz

Factor A Genotipos	Factor B Niveles de nematodos	<i>M. graminicola</i>		
		Floración		Llenado de grano
		10 g/raíces	100 cm ³ /suelo	Número de agallas/planta
Puyón/JP002 P11 – 10		15640a	1552a	15 c
Puyón/JP002 P8 – 20		34001c	2642b	23 b
INIAP 15		23357 b	1608a	31 a
Nivel de nematodo	0	0 a	0 a	0 e
Nivel de nematodo	500	24482 b	2267c	16 d
Nivel de nematodo	1000	44282 d	1731b	24 c
Nivel de nematodo	2000	26168bc	2962d	31 b
Nivel de nematodo	3000	26732c	2711cd	44 a
Puyón/JP002 P11 – 10	0	0 a	0 a	0 h
Puyón/JP002 P8 – 20	0	0 a	0 a	0 h
INIAP 15	0	0 a	0 a	0 h
Puyón/JP002 P11 – 10	500	12742 b	1580 bcd	8 g
Puyón/JP002 P8 – 20	500	37493 f	3844 f	20 ef
INIAP 15	500	23211 cd	1378 bc	19 ef
Puyón/JP002 P11 – 10	1000	23796 d	1032 ab	16 f
Puyón/JP002 P8 – 20	1000	84923 g	1996 bcd	23 de
INIAP 15	1000	24127 d	2164 cde	34 c
Puyón/JP002 P11 – 10	2000	22434 cd	2035 bcde	21 ef
Puyón/JP002 P8 – 20	2000	23238 cd	4986g	28 cd
INIAP 15	2000	32832 e	1865 bcd	43 b
Puyón/JP002 P11 – 10	3000	19230 c	3113 ef	30 c
Puyón/JP002 P8 – 20	3000	24349 d	2386 cde	42 b
INIAP 15	3000	36616 ef	2634 de	61 a
Promedio general		30416.0	2535	8.0
Significancia	Factor a	**	**	**
	Factor b	**	**	**
	Interacciones	**	**	**
Coeficiente de variación		7.37	5.45	13.21

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p > 0.05).

Para niveles de inoculación, en promedio de las variedades, se encontró un rango de 24 482 a 44 282 J2 en 10 gr de raíces en la fase de floración. El valor más bajo se observó en el nivel de inoculación de 500 J2 y el más alto en el nivel de 1 000 J2. El incremento fue de 49 y 44 veces más, respectivamente. En los niveles de inoculación de 2 000 y 3 000 J2 en 10 gr

de raíces, el nematodo tuvo menor reproducción (13 y 9 veces); es decir, presentó una densidad poblacional de 26 168 y 26 732 J2 en 10 gr de raíces, respectivamente. Esto posiblemente se debe a que el alto nivel inicial del nematodo determinó una alta competencia entre ellos y afectó severamente los tejidos radiculares de tal modo que no hubo condiciones óptimas para la reproducción del nematodo y la formación de agallas. Rodríguez *et al*, (2019), encontró que una mayor cantidad de población inicial (Pi) del nematodo, disminuye el índice de reproducción (IR), esto se debe a la competencia intraespecífica por disponibilidad de alimento y espacio.

En la Tabla 14, se presentan los valores para cada genotipo y nivel de inoculación encontrándose un rango de 12 742 a 84 923 J2 en 10 gr de raíces. El valor más bajo se detectó en Puyón/JP002 P11 – 10 –74 en el nivel 500 J2 en 10 gr de raíces y el más alto en Puyón/JP002 P8 – 20 -13 en el nivel 1000 J2 en 10 gr de raíces.

La línea Puyón/JP002 P8 – 20 sería la más susceptible de acuerdo a la escala de valoración de Ramos *et al*. (1998). El testigo INIAP 15 presentó un rango de 23 211 a 32 837 J2 en 10 gr de raíces.

El incremento de la población del nematodo *M. graminicola* en los diferentes niveles aplicados demuestra que tanto las líneas avanzadas y la variedad comercial de arroz empleadas en la presente investigación son altamente susceptible por presentar poblaciones superiores a los 3 000 J2. Estudios similares realizados en la zona arroceras de la provincia de Los Ríos, mostro también una alta susceptibilidad diferentes variedades comerciales de arroz a de *M. graminicola* (Lombeida *et al*. 2020).

b. Densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³/suelo en etapa de floración

El análisis de varianza para de la densidad poblacional de *M. graminicola* en sustrato suelo en la etapa de floración, registró diferencias altamente significativas (<0.0001) el coeficiente de variación fue de 5.45 por ciento (Tabla 14). La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados.

Para los genotipos de arroz, en promedio de niveles de nematodos, se encontró un rango de 1552 a 2642 100 cm³/suelo, correspondiendo el valor más bajo al sustrato cultivado con Puyón/JP002 P11 – 10 y el más alto al sustrato con Puyón/JP002 P8-20 (Tabla 14).

Para los niveles de nematodos inoculados, en promedio de los genotipos, el rango vario de 1 731 a 2 962 J2 100 cm³/suelo. El valor más bajo se observó en el sustrato inoculado con 1 000 J2 y el más alto con el nivel de 2 000 J2 (Tabla 14).

Para cada genotipo y para cada nivel en los datos totales del experimento el rango vario de 1 032 a 4 986 J2 100 cm³/suelo. El valor más bajo se encontró en el genotipo Puyón/JP002 P11 – 10 e inoculado con 1 000 J2 y el valor más alto Puyón/JP002 P8-20 e inoculado con 2 000 J2.

Se puede apreciar que tanto los genotipos provenientes de cruces interespecíficas como la variedad comercial INIAP 15, fueron altamente susceptibles a *M. graminicola* de acuerdo con la escala de valoración.

c. Número de agalla de *M. graminicola* por plantas en la etapa de llenado de grano

En la Tabla 14, el análisis de varianza para el número de agallas de *M. graminicola* por planta en etapa de llenado de grano, registró que existe alta significancia ($p < 0.0001$) estadística para las líneas mejoradas de arroz y la variedad comercial, niveles poblacionales y la interacción de líneas por niveles poblacionales. El coeficiente de variación fue igual a 13,21 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados.

Observando los valores presentados en la Tabla 14, para variedades, en el promedio de todos los niveles de poblaciones de nematodos estudiados, el número de agallas por planta varió de 15 a 31 observándose el menor valor en Puyón/JP002 - P11 – 10 y el mayor valor en INIAP 15. Por otro lado, para nivel de nematodos inoculados, en promedio de variedades, el número de agallas por planta vario de 0 a 44, correspondiendo el valor más bajo al nivel 0 sin inoculación y el más alto al nivel 3 000 J2.

En la Tabla 14, a nivel de todos los genotipos y niveles estudiados, también, se puede apreciar, que el número de agalla por planta vario de 0 a 61, correspondiendo el valor más bajo a Puyón/JP002 P11 – 10 con el nivel de inóculo de 0 (sin inoculación) y el valor más alto a INIAP 15 en el nivel 3 000 J2.

Este resultado muestra que a mayor densidad de inóculo el número de J2 se incrementó y esta mayor población, incremento la cantidad de nódulos o agallas formados en las raíces de la planta de arroz, como respuesta al parasitismo por *M. graminicola*. También se observó en las raíces, agallas muy desarrolladas probablemente porque las condiciones ambientales fueron favorables para el desarrollo del nematodo un excelente hospedante. Otros estudios demuestran que la presencia de agallas bien desarrolladas, confirma una exitosa culminación del ciclo de vida, también influye factores como: la planta hospedante, niveles de población y factores ambientales que favorece el desarrollo del ciclo de vida del nematodo (Hernández 2012).

d. Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces en etapa de llenado de grano

En la Tabla 15, se observan los resultados del análisis de varianza de la densidad poblacional de *M. graminicola* en 10 g/raíces en la etapa de llenado de grano. y se registra que no existe significancia estadística entre niveles poblacionales, entre líneas y tampoco entre las interacciones. Con un coeficiente de variación de 3,13 por ciento.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 15, los valores medios de los genotipos, en promedio de niveles de inóculo, muestra que, en la fase de llenado de grano, el rango de *M. graminicola* vario de 44 270 a 92 954 J2 en 100 cm³/suelo. El menor valor se encontró en el sustrato cultivado con Puyón/JP002 P8-20 y el mayor valor en el sustrato cultivado con la línea Puyón/JP002 P 11– 10. En el sustrato cultivado con variedad INIAP 15 se contabilizaron 65 621 J2 en 100 cm³/suelo. Estos valores; sin embargo, no difieren significativamente en la Prueba de Significación de Tukey 5 por ciento.

Para los niveles de inoculación estudiados, en promedio de los genotipos, se observaron rangos de 48 989 a 108 327 J2 10 g/raíces en la fase de llenado de grano de los genotipos de arroz; existiendo diferencias significativas entre estos valores con la Prueba Tukey 5 por ciento. El valor más bajo se observó en el nivel de inoculación 500 J2 y el más alto en el nivel 3000 J2.

Se puede observar que el índice de reproducción más alto se encuentra con los niveles de inóculo de 500 y 1 000 (98 y 94); mientras que, con la población inicial de 2 000 y 3 000 J2, tuvo menor índice de reproducción (43 y 36 veces); es decir, presenta una densidad poblacional de 86 214 y 108 327, respectivamente. Comparando estos valores con los de la

fase de floración se observa que hubo un incremento en la reproducción del nematodo, pero con mayor porcentaje en los niveles bajos de inóculo, eso se puede deber por el nivel de competencia de los nematodos por el sustrato (Tabla 15).

Tabla 15: Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces y suelo en etapa de llenado de grano y cosecha, sometida a diferentes niveles iniciales de inóculo en líneas avanzadas seleccionadas de arroz (F6)

Factor A Genotipos	Factor B Niveles de nematodos	<i>M. graminicola</i>			
		Llenado de grano		Cosecha	
		10 g/raíces	100 cm ³ /suelo	10g/raíces	100 cm ³ /suelo
Puyón/JP002 P11 – 10		92954 a	3065 a	24844 b	2582 a
Puyón/JP002 P8 – 20		44270 a	6020 b	16024 a	6447.2 b
INIAP 15		65622 a	9523 c	27791 c	5588 b
Nivel de nematodo	0	0 a	0 a		0 a
Nivel de nematodo	500	48989 ab	5018 b	25111 c	8239 d
Nivel de nematodo	1000	94545 b	5472 b	19024 b	4844 b
Nivel de nematodo	2000	86214 b	9687 c	33054 d	5225 bc
Nivel de nematodo	3000	108327 b	10835 d	37243 e	6055 c
Puyón/JP002 P11 – 10	0	0 a	0 a	0 a	0 a
Puyón/JP002 P8 – 20	0	0 a	0 a	0 a	0 a
INIAP 15	0	0 a	0 a	0 a	0 a
Puyón/JP002 P11 – 10	500	39805 ab	1053 ab	15768 bc	5460 bc
Puyón/JP002 P8 – 20	500	25973 a	1479 ab	18144 bc	7678 de
INIAP 15	500	81189 ab	12521 e	41422 g	11578 f
Puyón/JP002 P11 – 10	1000	198464 b	1826 bc	12560 b	1758 a
Puyón/JP002 P8 – 20	1000	52715 ab	3232 c	17946 bc	8022 e
INIAP 15	1000	32457 ab	11358 de	26566 de	4750 bc
Puyón/JP002 P11 – 10	2000	99358 ab	2044 bc	37440 fg	1576 a
Puyón/JP002 P8 – 20	2000	61102 ab	1460 4 f	21492 cd	8080 e
INIAP 15	2000	98182 ab	12412 e	40230 g	6018 cd
Puyón/JP002 P11 – 10	3000	127142 ab	10400 d	58454 g	4114 b
Puyón/JP002 P8 – 20	3000	81560 ab	10783 d	22538 cd	8456 e
INIAP 15	3000	116280 ab	11322 de	30737 ef	5594 bc
Promedio general		67616	6203	28608	4872
Significancia	Factor a	ns	**	**	**
	Factor b	ns	**	**	**
	Interacciones	ns	**	**	**
Coefficiente de variación		3.13	11.27	1.21	2.84

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, también se presenta los valores a nivel de los genotipos y los niveles de inóculo. El rango varió de 25 973 J2 a 198 464 J2 en 10 g/raíces. El valor más bajo corresponde a Puyón/JP002 P8 – 20 en el nivel de inóculo 500 J2 y el más alto a Puyón/JP002 P11 – 10 en el nivel de 1 000 J2. Entre estos valores hay diferencias significativas según la Prueba Tukey 5 por ciento.

La línea Puyón/JP002 P 11– 10 sería la más susceptible de acuerdo a la escala de valoración de Ramos *et al.* (1998), En general las líneas y la variedad comercial fueron altamente susceptibles a *M. graminicola* por presentar poblaciones superiores a los 3 000 J2. Adicionalmente, se pudo observar síntomas aéreos como: amarillamiento en la parte foliar de las plantas de arroz siendo muchos notables en la variedad comercial INIAP 15 e inclusive la muerte de plantas.

Los resultados obtenidos demuestran que, a medida que la planta va creciendo, la densidad poblacional de *M. graminicola* se incrementa, esto debe al constante desarrollo del sistema radicular de la planta. Esta investigación corrobora con lo dicho por Arraya (2008), donde menciona, que mientras mayor es la edad del cultivo mayor es el número de nematodos presentes en el arroz, debido al crecimiento de raíces en la planta.

e. Densidad poblacional de *M. graminicola* en suelo en etapa de llenado de grano

En la Tabla 15, se presentan los resultados del análisis de varianza y se registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) con un coeficiente de variación fue de 11,27 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre estos valores observados.

Para variedades, en promedio de nivel de inóculos, se aprecia en la Tabla 15 un rango de 3 065 a 9 523 J en 100 cm³/suelo. El valor más bajo se encontró en el sustrato cultivado con Puyón/JP002 P 11– 10 y el valor más bajo en el sustrato cultivado con el genotipo INIAP 15. Por otro lado, los valores de nematodos encontrados en el sustrato suelo en los niveles de tratamiento, en promedio de genotipos, varió de 5 018 a 10 835 J2 en 100 cm³/suelo, observándose el valor más bajo en el sustrato inoculado con 500 J2 y el más alto con el sustrato 3 000 J2 (Tabla 15).

En relación a la densidad poblacional de *M. graminicola* en la etapa de llenado de grano de los genotipos y los niveles de inóculo se puede apreciar que los valores variaron de 1 053 a 14 604 J2 en 100 cm³/suelo. El valor más bajo corresponde al sustrato cultivado con Puyón/JP002 P 11– 10 y con un nivel de inóculo igual a 500 J2 y el valor más alto a Puyón/JP002 P8 – 20 con un inóculo de 2000 J2 (Tabla 15).

Se puede apreciar que tanto los genotipos provenientes de cruces interespecíficos como la variedad comercial mostraron alta susceptibilidad a *M. graminicola* de acuerdo a la escala de valoración.

f. Densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces en etapa de cosecha

En la Tabla 15, se presenta los resultados del análisis de varianza y se registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) y el coeficiente de variación fue de 1,21 por ciento. La prueba de significación de Tukey 5 por ciento muestra diferencias significativas entre los valores observados para cada una de las variables evaluadas.

Los valores medios de densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces en la etapa de cosecha de los genotipos, en promedio de los niveles de inóculo, están dentro de un rango de 2 582 a 6 447 J2/ 10 g de raíces; correspondiendo el valor más bajo a Puyón//JP002 P11 – 10 y el más alto a Puyón/JP002 P8 – 20. El genotipo INIAP 15 presentó 5 588 J2 / 10 g de raíces. Por otro lado, los valores medios observados para cada nivel de inóculo, en promedio de genotipos, varió de 4 844 a 8 239 J2/ 10 g de raíces y el valor más bajo se observó en nivel de inóculo 1 000 J2 y el más alto en el nivel 500 J2 (Tabla 15).

Observando todos los valores medios de los genotipos y niveles de inóculo se puede apreciar un rango de 1 576 a 11 578 J2 / 10 g de raíces. El valor más bajo se encontró en Puyón/JP002 P11 – 10 con un inóculo de 2 000 J2 y el valor más alto en INIAP 15 con un inóculo de 500 J2 (Tabla 15).

Comparando los niveles de inóculo en la etapa de plántula y la etapa de cosecha se aprecia un incremento con el nivel de 500 y 1 000 J2. La densidad poblacional del nematodo en la etapa de cosecha se incrementó 50 y 19 veces más (25 111; 19 024 J2 / 10 g raíces), Por otro lado, con los niveles de 2 000 y 3 000 J2, se aprecia una menor reproducción (17 y 12 veces), una densidad poblacional de 33 054 y 37 243 J2, respectivamente (Tabla 15).

Por otro lado, comparando las etapas de floración y llenado de grano, se observa un descenso en la reproducción, esto se puede atribuir a la falta de alimento o que este fue insuficiente para los nematodos. Lo mencionado se demuestra debido a que las raíces dejaron de crecer, así como parte del sistema radicular inoculado se tornó necrosado (Anexo 2). Vargas (2009) señala que existe una disminución en la población de *M. graminicola* a partir de la última etapa de desarrollo del cultivo de arroz.

En la Tabla 15, también se observa que en la interacción material genético de arroz versus niveles de *M. graminicola* inoculados, la línea Puyón/JP002 P 11– 10 con un nivel de inóculo de 3 000 J2 con un valor de 58 454 seguida de la variedad comercial INIAP 15 con un nivel de inóculo de 500 J2 con un valor de 41 422, considerada la más susceptible; sin embargo, se demuestra que tanto las líneas y la variedad comercial son altamente susceptibles por presentar poblaciones superiores a los 3 000 J2, consideradas buenas hospederas para *M. graminicola*.

g. Densidad poblacional de *M. graminicola* en suelo en etapa de cosecha

En la Tabla 15, se observan los promedios para la densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³/suelo en la etapa de cosecha. El análisis de varianza para las diferentes poblaciones de *M. graminicola*, se registró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) el coeficiente de variación fue de 2,84 por ciento.

En relación a la densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³/suelo en la etapa de cosecha de las plantas, los niveles más altos de *M. graminicola* se observaron en la variedad comercial INIAP 15 con un nivel de inóculo de 500 J2 con un valor de 11 578 J2 con un promedio general de 4 872 J2 de *M. graminicola* en 100 cm³/suelo en la etapa de cosecha.

Se puede apreciar que tanto los genotipos provenientes de cruces interespecíficas como la comercial resultaron ser altamente susceptibles a *M. graminicola* de acuerdo a la escala de valoración. Siendo el genotipo comercial INIAP 15 con un nivel de inóculo de 500 J2 con un valor de 11 578 J2/100 cm³ suelo, mientras que la línea Puyón/JP002 P11 – 10 con un inóculo inicial de 2 000 J2 tuvo una población menor (1 576 J2).

También se logra observar un descenso en la población de *M. graminicola* en comparación a la etapa de floración y llenado de grano, puede deberse a la falta de alimento. Se corrobora con lo dicho por Vargas (2009), donde menciona que los nematodos en el suelo se comportan de manera irregular en cuanto a dinámica poblacional, con una tendencia de crecimiento hasta los 90 días de edad de la planta, a partir de éste, comienza una marcada disminución en su población.

h. Densidad poblacional promedio de *M. graminicola* a la floración de las plantas de arroz, inoculadas al trasplante

En la Tabla 16, se presenta la densidad poblacional del nematodo *M. graminicola* en plantas en floración de las líneas mejoradas y en el testigo referencial susceptible inoculadas en el momento del trasplante. Se puede apreciar valores altos de densidad poblacional en las líneas Puyón/PJ002 P11-10 y Puyón/JP002 P8-20 en las dosis de inoculación 500 J2 y 1 000 J2, observándose una densidad poblacional muy alta en Puyón/JP002 P8-20, sobrepasando los valores del testigo susceptible en el nivel 1 000 J2. Por otro lado, con los niveles altos de inóculo disminuyó la capacidad de reproducción del nematodo en las líneas mencionadas, esto se puede atribuir al mal estado del tejido de las raíces del arroz que afectó en forma negativa la capacidad de ovoposición de las hembras.

Tabla 16: Densidad poblacional promedio de *M. graminicola* a la floración de las plantas de arroz, inoculadas al trasplante

Genotipos	Nivel de <i>M. graminicola</i> (J2) al trasplante	<i>M. graminicola</i> (J2) por planta a la floración	Índice de reproducción IR = Pf/Pi	Media
Puyón/PJ002 P11-10	500	12742	25.5	16.7
	1000	23796	23.8	
	2000	22434	11.2	
	3000	19230	6.4	
Puyón/JP002 P8-20	500	37493	75.0	45.0
	1000	84923	85.0	
	2000	23238	11.6	
	3000	24349	8.1	
INIAP 15	500	23211	46.4	24.8
	1000	24127	24.1	
	2000	32832	16.4	
	3000	36616	12.2	

Pf = Población final, Pi = Población inicial.

Fuente: Elaboración propia.

En la línea Puyón/JP002 P8-20, en la etapa de floración, el nematodo se reprodujo 75 y 85 veces más que la población inicial (500 y 1 000 J2/planta) respectivamente. Con estos mismos niveles iniciales del nematodo, en la línea Puyón/PJ002 P11-10 se multiplicó 26 y 24 veces más que los niveles iniciales 500 y 1 000 J2/planta al trasplante. Mientras que en el genotipo INIAP 15, *M. graminicola* se reprodujo 46 y 24 veces más con estos dos niveles mencionados (Tabla 16).

i. Población de *M. graminicola* en raíces en diferentes etapas fenológicas del cultivo

Se pudo apreciar la presencia del nematodo *M. graminicola* en todas las etapas de desarrollo de la planta, causando daños y reducción del rendimiento. En la Figura 25, se puede observar que la mayor densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces fue en la etapa de llenado de grano y la menor en la etapa de cosecha, asociado a la senescencia de los tejidos radiculares en el proceso normal de muerte de las plantas al final del ciclo de vida.

Intriago *et al.* (1991), señalan que *M. graminicola* es el principal nematodo fitosanitario en el cultivo del arroz, provocando nódulos a nivel radicular y originado daños en todas las fases de desarrollo de la planta de arroz, causando enanismo, poco macollamiento y la muerte.



Figura 25: Densidades poblacionales de *M. graminicola* en raíces de arroz inoculadas con diferentes niveles en diferentes etapas fenológicas de floración, llenado de grano y maduración

Fuente: Elaboración propia.

4.3. SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ, EN DIFERENTES CONDICIONES DE INFESTACIÓN CON *M. graminicola*

4.3.1. Poblaciones de *M. graminicola* en suelo y raíces obtenidas en campos de arroz en las zonas de Babahoyo y Quevedo

En las muestras de suelo colectadas en los campos de arroz de las zonas de Babahoyo y Quevedo (Tabla 17), se determinó que existe infestación con *M. graminicola*. En el recinto Guayacán del cantón Quevedo (P7), se encontró la población más alta de *M. graminicola* igual a 1 600 J2 en 100 cm³ de suelo. En otros sitios de este cantón se encontraron poblaciones que variaron de 50 a 700 J2/100 cm³ de suelo.

Tabla 17: Densidad poblacional de *M. graminicola* en 100 cm³ de suelo y 10 g de raíces, en campos de arroz de los cantones Babahoyo y Quevedo, Ecuador

Código	Zonas	<i>M. graminicola</i>			
		100 cm ³ suelo	Rangos	10 g raíces	Rangos
P1	Quevedo	150	Muy alto	11500	Muy alto
P2	Quevedo	200	Muy alto	3000	Muy alto
P3	Quevedo	50	Moderado	10500	Muy alto
P4	Quevedo	150	Muy alto	7500	Muy alto
P5	Quevedo	700	Muy alto	17500	Muy alto
P6	Quevedo	200	Muy alto	6000	Muy alto
P7	Quevedo	1600	Muy alto	17000	Muy alto
P8	Quevedo	150	Muy alto	50000	Muy alto
P9	Quevedo	300	Muy alto	70000	Muy alto
P10	Quevedo	250	Muy alto	6000	Muy alto
P11	Babahoyo	100	Moderado	3500	Muy alto
P12	Babahoyo (CEDEGE)	100	Moderado	28000	Muy alto
P13	Babahoyo (CEDEGE)	600	Muy alto	28000	Muy alto
P14	Babahoyo	50	Moderado	3000	Muy alto
P15	Babahoyo	50	Moderado	3500	Muy alto
P16	Babahoyo	250	Muy alto	9000	Muy alto
P17	Babahoyo	150	Muy alto	2000	Muy alto
P18	Babahoyo	300	Muy alto	9000	Muy alto
P19	Babahoyo	50	Moderado	4500	Muy alto
P20	Babahoyo	50	Moderado	4500	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

En la zona de Babahoyo, en el sector CEDEGE (P13), se registraron 600 J2 en 100 cm³ considerada como una población muy alta. En los otros recintos de esta zona muestreada, las poblaciones fluctuaron de 50 a 300 J2/100 cm³ de suelo (Tabla 17).

En la Tabla 17, resaltan las muestras de raíces del cantón Quevedo, recinto Pichilingue donde se observó una población de 70 000 J2/10 g de raíces (P9), clasificándose de acuerdo con la escala como muy alta. Por otro lado, en el cantón Babahoyo, en el sector CEDEGE se observaron 28 000 J2/10 gr de raíces (P12 y P13).

En investigaciones previas han evidenciado la elevada presencia de *M. graminicola* en las zonas arroceras de Ecuador. Una de las probables causas de la elevada ocurrencia del nematodo, es el monocultivo de arroz con variedades susceptibles a lo largo de varios años, debido a la dificultad de hacer rotación de cultivos con plantas no hospederas. Otra posible causa es el desconocimiento y la falta de diagnóstico del problema, por técnicos y productores, debido a que los daños causados por *M. graminicola*, o en las plantas de arroz, pueden pasar desapercibidos fácilmente por productores y técnicos y pueden ser confundidos con otros estreses de naturaleza biótico o abiótica, como deficiencias nutricionales, ataque de otros patógenos de suelo, fitotoxicidad causada por los herbicidas o por daños indirectos como el exceso de hierro en el suelo; a pesar de ser conocidos todos.

La ausencia de medidas de control por falta de identificación del problema y las condiciones favorables para *M. graminicola* en zonas productoras de arroz han determinado su incremento significativo especialmente en los campos de arroz irrigado originando pérdidas en el rendimiento y calidad de las cosechas.

Los resultados del presente estudio, corroboran las investigaciones realizadas por Triviño (2016), quien menciona que existen altas poblaciones de *M. graminicola* en muestras de suelo y raíces en las diferentes provincias arroceras del Ecuador, encontrándose las poblaciones más altas en los cantones de Babahoyo, Quevedo y Valencia, en la provincia de Los Ríos.

4.3.2. Análisis de la sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz en la zona de Babahoyo y Quevedo

a. Dimensión económica

Fue determinada considerando los indicadores de autosuficiencia alimentaria, ingreso neto mensual por grupo y el riesgo económico. Para la determinación de la autosuficiencia alimentaria se consideró las variables diversificación de la producción y superficie de producción.

En la Figura 26, se presentan los diversos niveles de diversificación que mantienen los productores de arroz de Babahoyo y Quevedo. Para Babahoyo y Quevedo se aprecia que el 39 por ciento y el 30 por ciento siembran menos de 2 productos, respectivamente. Las fincas con poca diversificación de cultivos y sin asociaciones tienen menor cantidad de productos para diversificar su alimentación y reducir las pérdidas de ingresos que se ocasionan cuando el cultivo de arroz se ve afectado por algún problema ambiental o de manejo de cultivo.

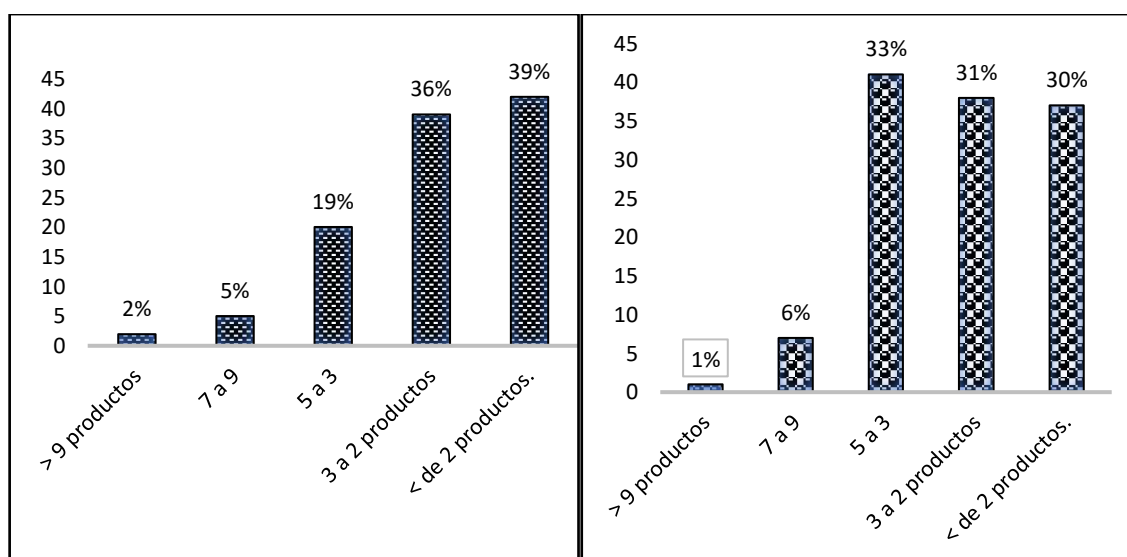


Figura 26: Diversificación de cultivos Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se aprecia que el 26 por ciento de los agricultores de Babahoyo y el 40 por ciento de Quevedo mantienen en sus predios otros cultivos como son: plátano, cacao, yuca, café y mango para la alimentación del grupo familiar y para la comercialización.

La superficie destinada al cultivo de arroz en las dos localidades arroceras de Babahoyo y Quevedo, se presentan en la Figura 27. Se puede apreciar que para Babahoyo un 44 por ciento de los agricultores tienen más (>) de 5 ha, un 28 por ciento tienen 4 ha y un 17 por ciento tienen 3 ha. Para Quevedo, el 5 por ciento tienen igual o mayor de 5 ha, el 15 por ciento tienen 4 ha, el 46 por ciento de los agricultores tienen 2 ha. Por último, está el 37 por ciento con valores iguales o menores a de 1 ha.

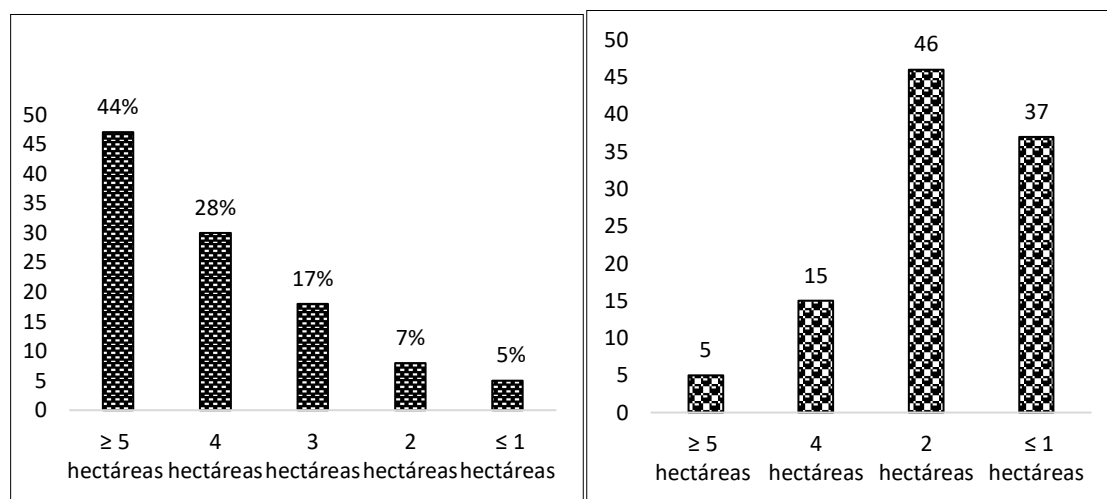


Figura 27: Superficie de arroz Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Para el ingreso neto mensual se observó en la zona de Babahoyo que el 6 por ciento de los agricultores tienen un ingreso mensual menor de 100 USD, el 74 por ciento de 100 a 300 USD y el 20 por ciento más de 300 USD. Por otro lado, en Quevedo el 11 por ciento de los agricultores tienen ingresos menores a 100 USD, el 67 por ciento están entre 100 y 300 USD y el 22 por ciento más de 300 USD (Figura 28).

Para el indicador riesgo económico se consideró las variables: diversificación para la venta, número de vías de comercialización, dependencia de insumos externos, superficie destinada al cultivo, producción y acceso al crédito. Considerando el número de canales de comercialización, se pudo apreciar que el 45 y 40 por ciento de productores arroceros de Babahoyo y Quevedo cuentan con dos canales de comercialización; respectivamente.

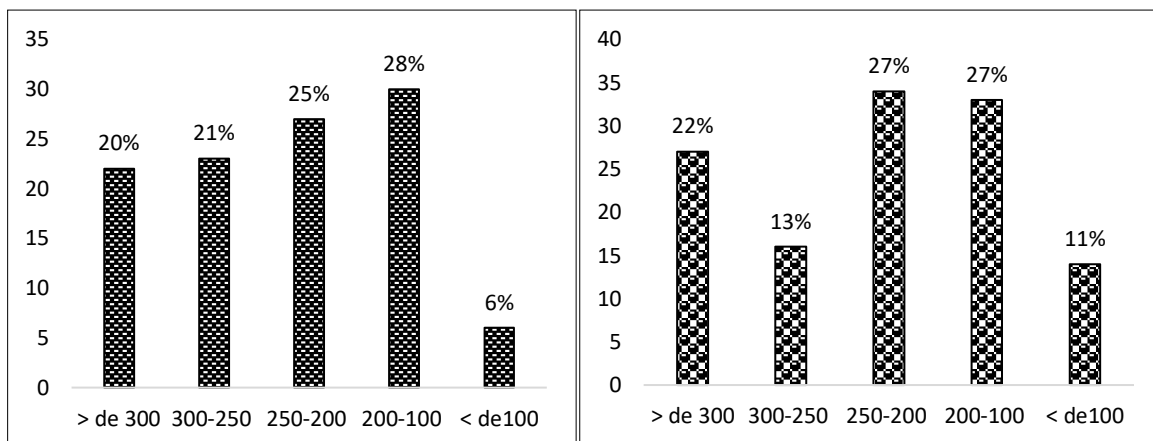


Figura 28: Ingreso Económico Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Para la variable dependencia de insumos externos se observó que el 29 por ciento de los productores de Babahoyo dependen de 60 – 80 por ciento de insumos externos y el 42 por ciento de los productores de Quevedo dependen de 20 – 40 por ciento.

En las zonas de Babahoyo y Quevedo, se observó que el 39 por ciento y el 58 por ciento de los agricultores tienen rendimientos en el rango de 3 a 4 t; respectivamente. Señalando que, uno de los principales problemas son las plagas y enfermedades, inundaciones, malezas y mala calidad de la semilla (Figura 29).

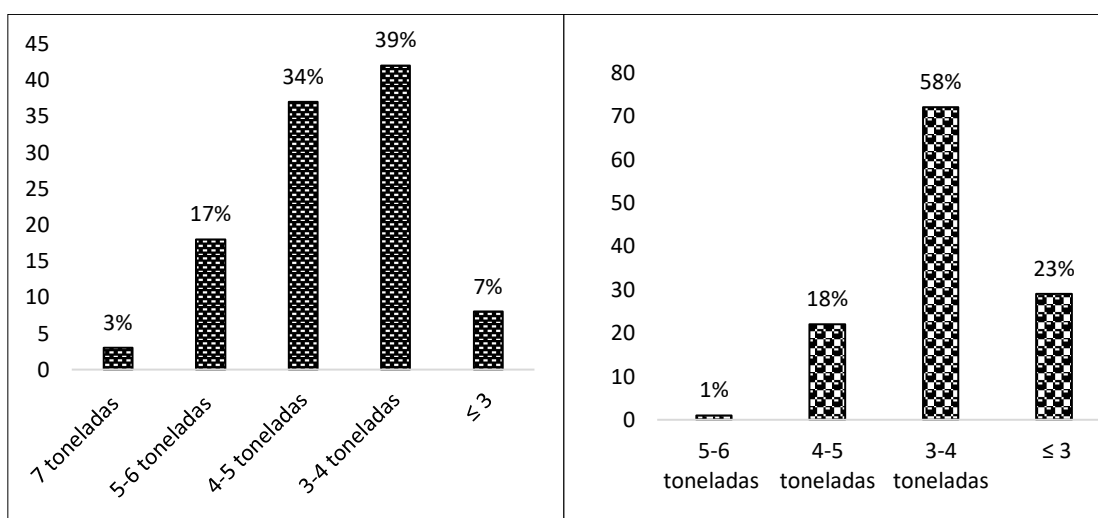


Figura 29: Producción de Arroz Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

En Babahoyo se calcula que el 72 por ciento de los agricultores tienen crédito y en Quevedo el 31 por ciento. El crédito en general es informal con las piladoras (fomentadores), empresas privadas (ECUAQUIMICA, AGRIPAC y PRONACA) y un pequeño porcentaje de crédito es formal con BAN Ecuador; en ambos casos los créditos son para los agricultores con cultivos de arroz con más 5 ha. En Quevedo el 63 por ciento de los agricultores no cuentan con crédito (Figura 30).

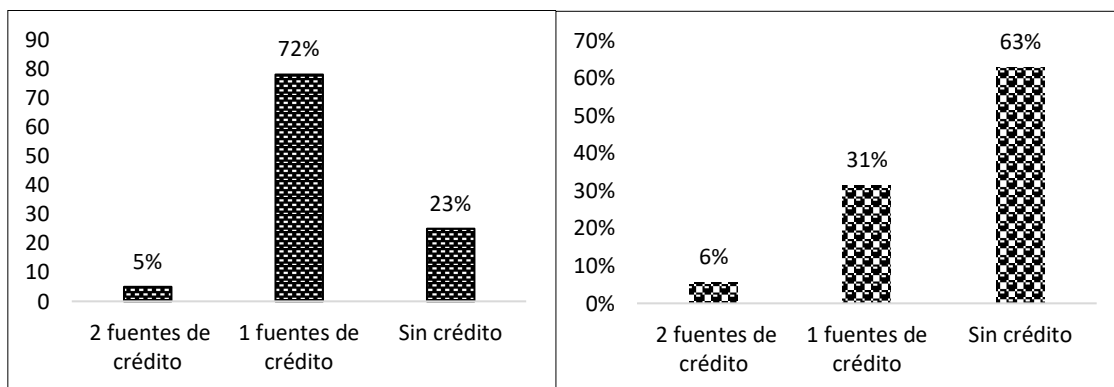


Figura 30: Acceso a crédito Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

b. Dimensión ecológica

Se emplearon los indicadores manejo de la biodiversidad, manejo del suelo y manejo de plagas. Las variables para el manejo de biodiversidad fueron el manejo de la cobertura vegetal, la rotación de cultivos, diversificación de cultivos. Para manejo del suelo se consideró como variables la aplicación de fertilizantes y manejo del agua. Por otro lado, las variables para manejo de plagas fueron control de plagas, los niveles de nematodos en suelo y raíces.

Considerando cobertura vegetal, se encontró que el 38 por ciento y 47 por ciento de agricultores de Babahoyo y Quevedo mantienen < del 25 por ciento de cobertura vegetal. Sólo 1 por ciento y 2 por ciento de los agricultores de Quevedo y Babahoyo, respectivamente, mantienen el 100 por ciento de cobertura vegetal (Figura 31).

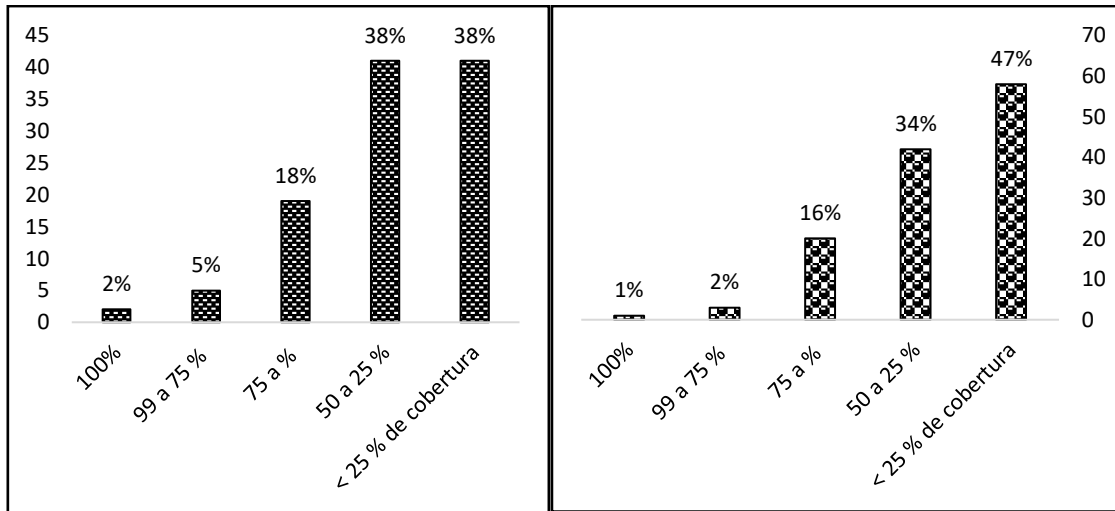


Figura 31: Manejo de cobertura Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Para la variable rotación de cultivos se encontró que no hacen rotación de cultivos el 48 por ciento de los productores de Babahoyo y el 16 por ciento de los productores de Quevedo. Solo el 6 por ciento de Babahoyo y el 4 por ciento de Quevedo rotan todos los años, dejan descansar un año el suelo e incorporan leguminosas verdes. Los cultivos de rotación son: soya y maíz (Figura 32 y 33).

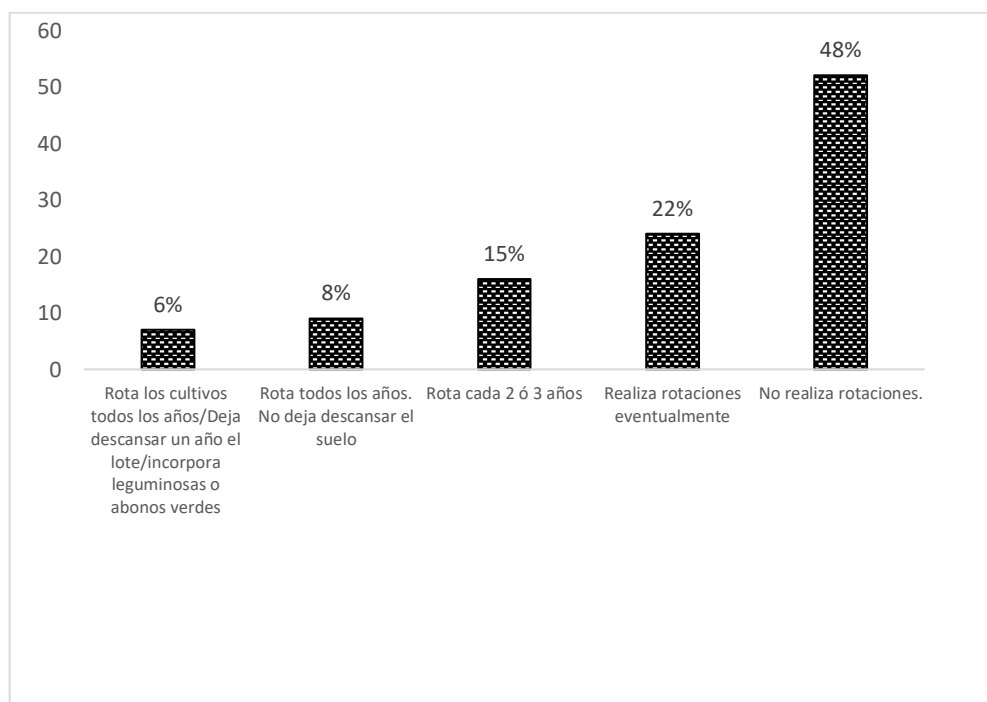


Figura 32: Rotación de cultivo Babahoyo

Fuente: Elaboración propia.

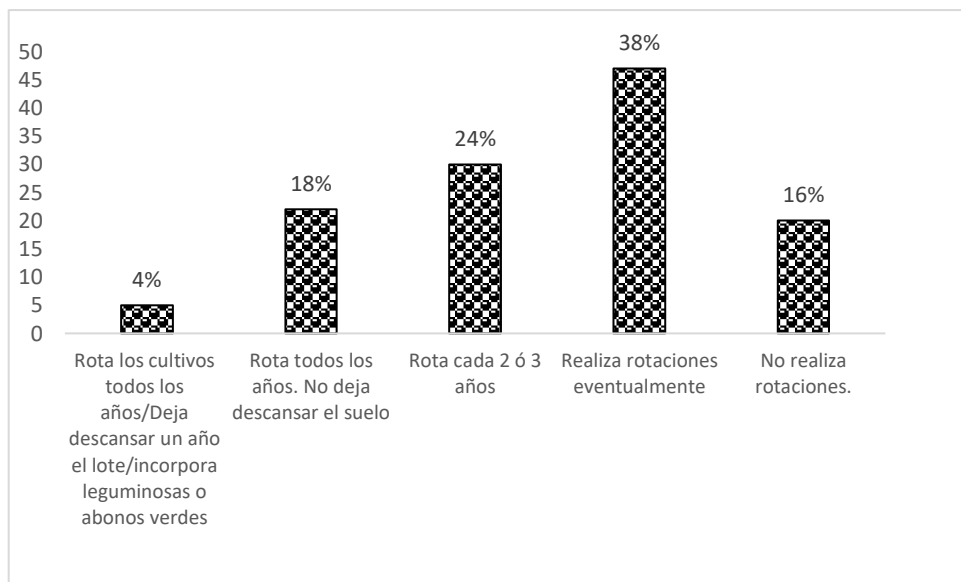


Figura 33: Rotación de cultivo Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el manejo de suelos se consideró los niveles de aplicación de fertilizantes. Se aprecia en la Figura 34 y 35, muestran que el 66 por ciento y el 58 por ciento de los agricultores de Babahoyo y Quevedo; respectivamente, aplican niveles medios a altos de fertilización inorgánica. Sólo el 7 por ciento y 10 por ciento de los agricultores aplican niveles medios y altos de fertilización orgánica.

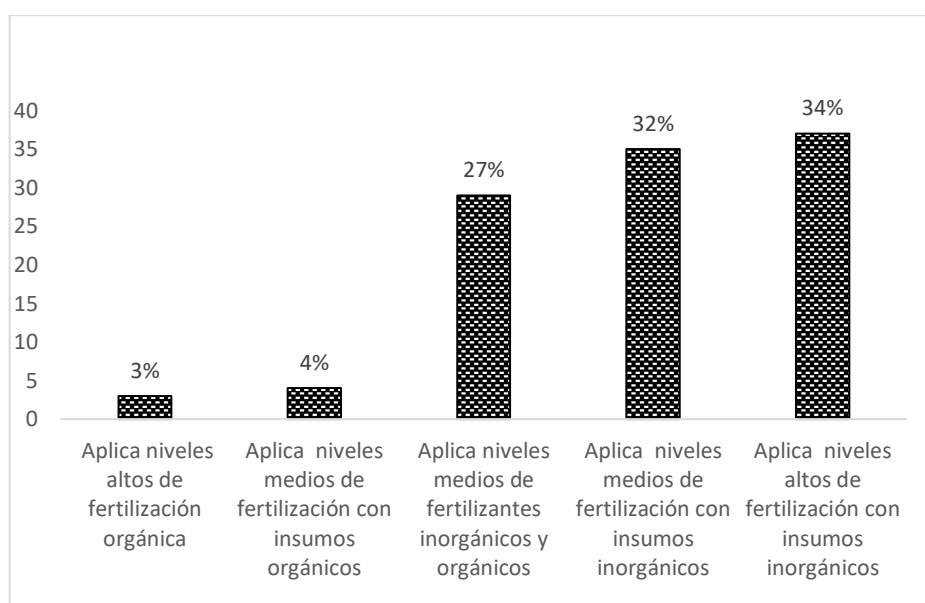


Figura 34: Aplicación de fertilizantes Babahoyo

Fuente: Elaboración propia.

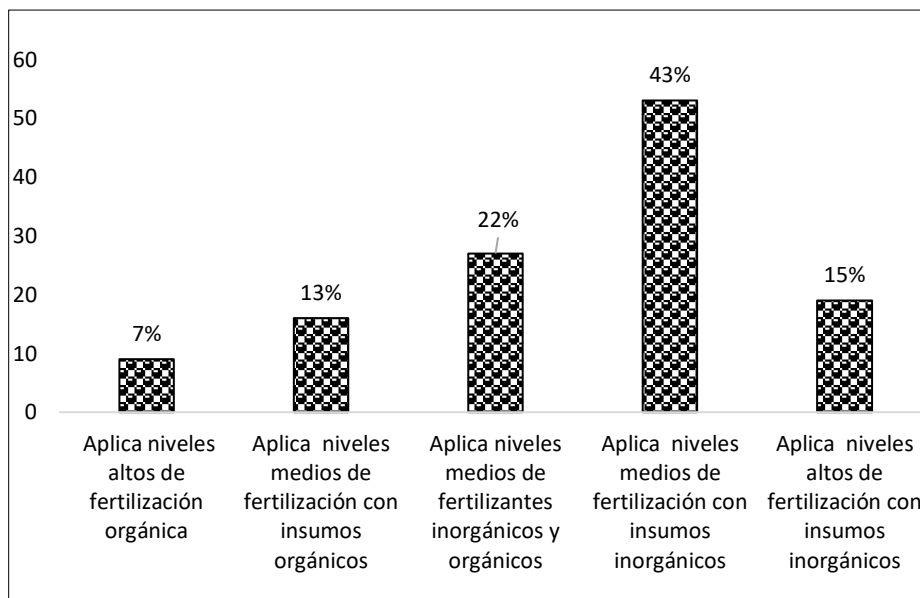


Figura 35: Aplicación de fertilizantes Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a manejo de agua, para Babahoyo y Quevedo el 54 por ciento y el 49 por ciento, respectivamente, mantienen en sus predios tierras continuamente inundadas con un periodo adecuado de secado. De igual forma tenemos el 21 por ciento y el 26 por ciento para estas localidades, mantienen tierras continuamente inundadas con dos periodos adecuados de secado. Por último, están con el 6 por ciento estas localidades con tierras continuamente inundadas con más de tres periodos adecuados de secado (Figuras 36 y 37).

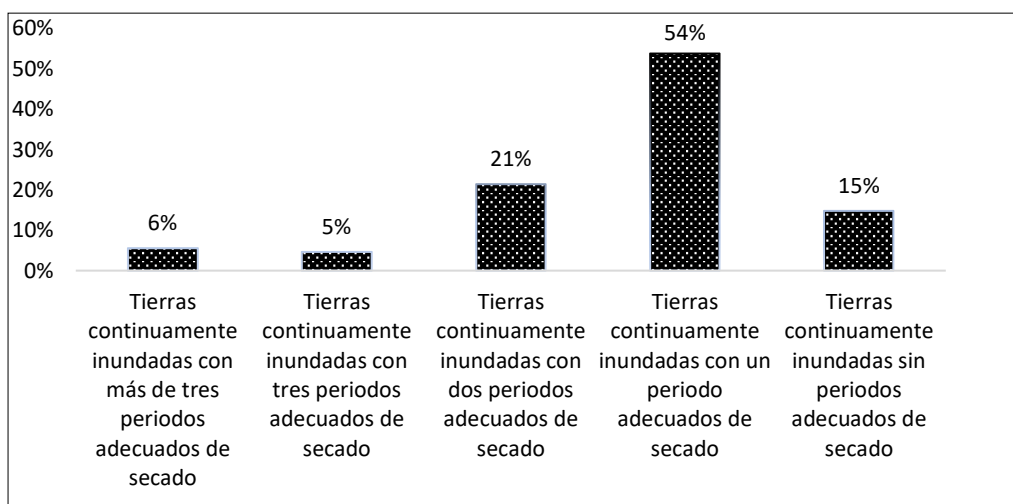


Figura 36: Manejo de agua Babahoyo

Fuente: Elaboración propia.

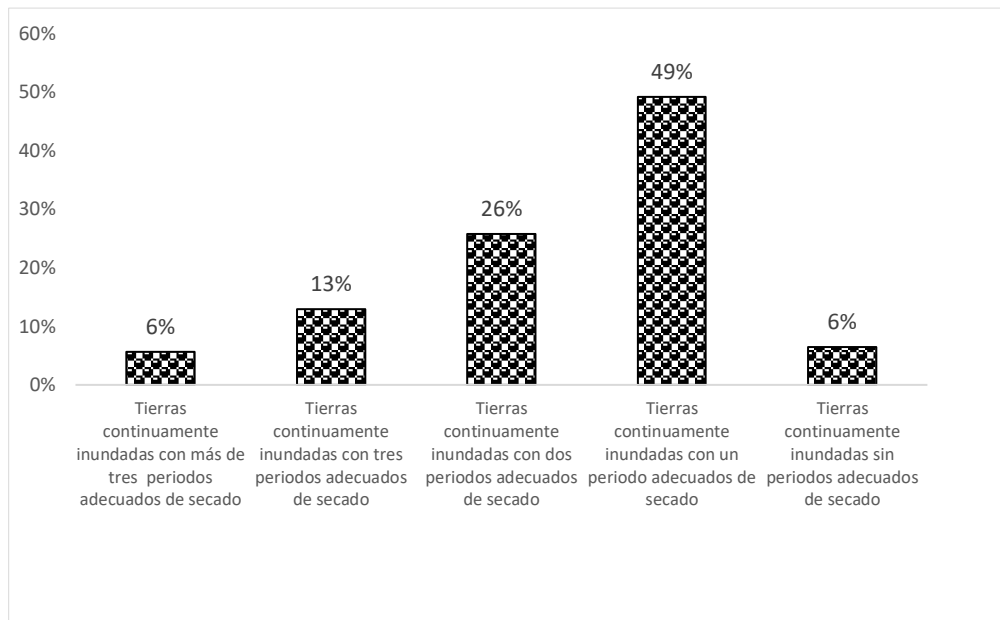


Figura 37: Manejo de agua Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Para el control de plagas se puede apreciar en la Figura 38, que el 75 por ciento de los agricultores de Babahoyo y el 80 por ciento de los agricultores de Quevedo controlan las plagas dando dosis medias a altas de insecticidas. En Babahoyo y Quevedo sólo el 4 por ciento y el 1 por ciento de los agricultores usan variedades resistentes a plagas.

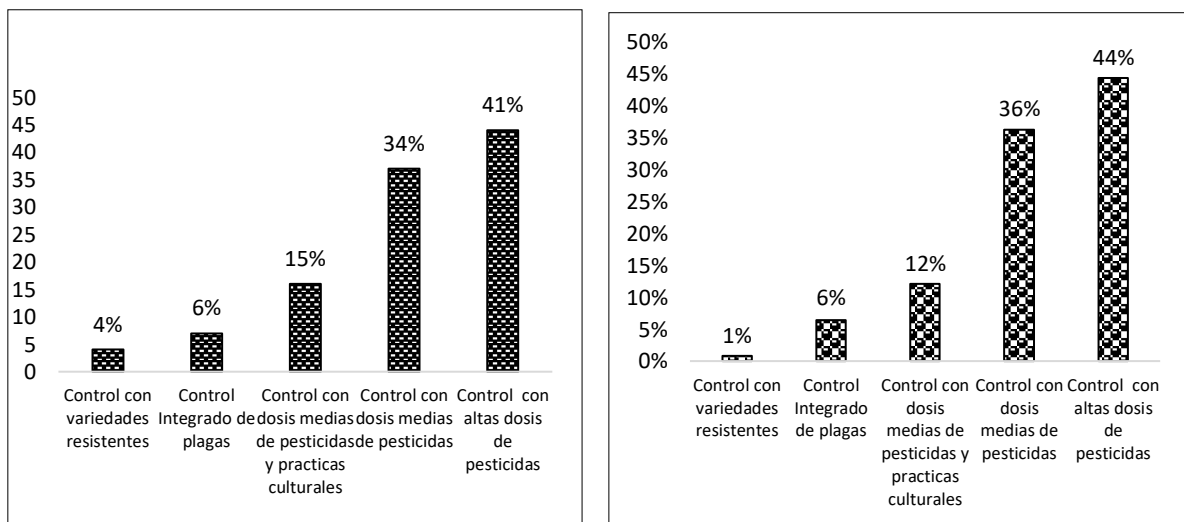


Figura 38: Control de plagas Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar, que algunos agricultores encuestados solicitan ser capacitados para no seguir utilizando productos que afectan el ecosistema y reactivan plagas que desde hace muchos años ya se habían extinguido de las zonas arroceras.

Según (BNE 2016), muchos agricultores arroceros para combatir el problema de plagas utilizan indiscriminadamente pesticidas que dañan los suelos y contaminan los ríos, y que no existe control del Ministerio del Medio Ambiente en la aplicación de químicos en los cultivos.

Con respecto a la presencia de nematodos, en la Figura 39 y 40, se puede observar que para la zona de Babahoyo los niveles *M. graminicola* en raíces fueron de 90 por ciento calificados como muy altos y en la zona de Quevedo el nematodo en raíces tuvo valores de 10 por ciento calificados como moderados. A nivel de las unidades productivas el 60 por ciento tuvo *M. graminicola* en niveles moderados y el 40 por ciento en niveles muy altos. Por otro lado, en la zona de Quevedo, el nivel de nematodos fue de 100 por ciento calificado como muy alto. En cuanto a nematodos en suelo el 90 por ciento corresponde a muy alto y el 10 por ciento a moderado.

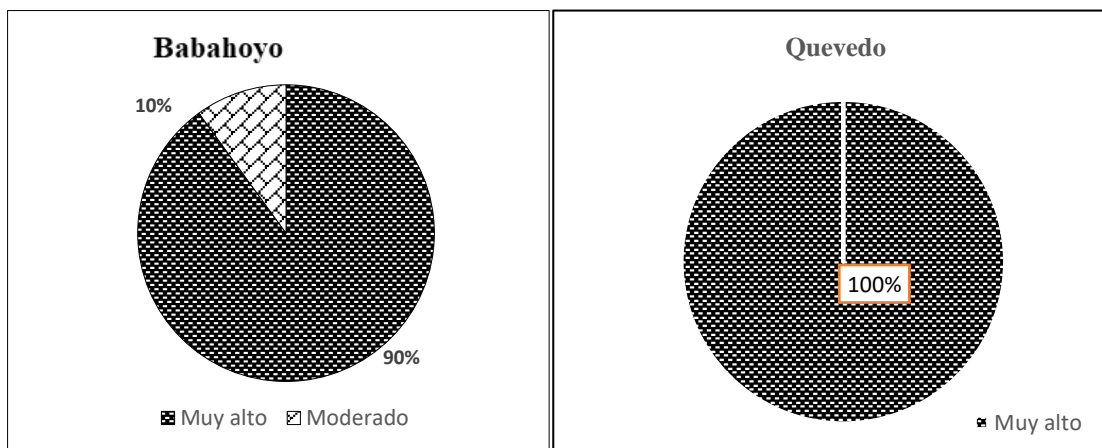


Figura 39: Población de *M. graminicola* en 10g de raíces Babahoyo y Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

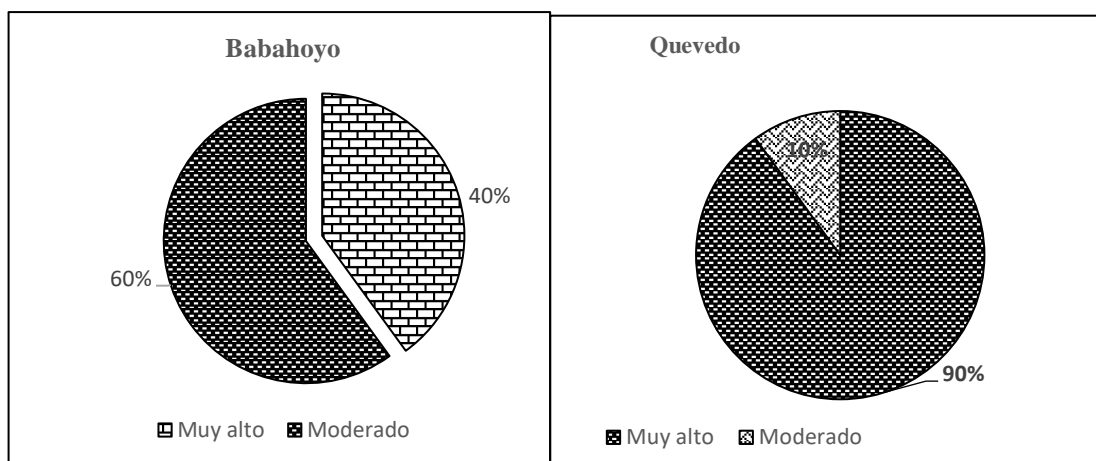


Figura 40: Población de *M. graminicola* en 100 cm³ de suelo

Fuente: Elaboración propia.

c. Dimensión sociocultural

Fue determinada considerando los indicadores satisfacción de necesidades básicas, aceptabilidad del sistema de producción, integración social y conocimiento y conciencia ecológica.

Para determinar la satisfacción de necesidades básicas se consideró las variables: vivienda, acceso a la educación, acceso a la salud y cobertura sanitaria y servicios. Del total de agricultores encuestados 49 por ciento y 51 por ciento de la zona de Babahoyo y Quevedo; respectivamente tienen viviendas de cemento con características muy buenas. Tienen acceso a la escuela primaria y secundaria con restricciones el 35 por ciento y 37 por ciento de los agricultores de Babahoyo y Quevedo, respectivamente.

Con respecto a los servicios de salud, 41 por ciento de los productores de Babahoyo indicaron contar con un centro sanitario con personal temporario medianamente equipado. Por otro lado, en la zona de Quevedo, 44 por ciento de los agricultores señalaron que disponen de un centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada.

La determinación de la variable servicios básicos, mostro que el 44 por ciento de los productores de Babahoyo y 46 por ciento de los de Quevedo cuentan instalación de luz y agua de pozo.

Se midió el grado de satisfacción de los agricultores en cuanto a su actividad agropecuaria de las dos zonas. Se determinó para Babahoyo y Quevedo que el 36 por ciento y el 38 por ciento están contentos, sin embargo, señalaron que antes le iba mucho mejor.

Sobre integración social, 42 por ciento y 46 por ciento de los agricultores de Babahoyo y Quevedo, califican como alta la integración y relaciones con sus vecinos y otros agricultores. Sobre conocimientos ecológicos se halló que el 39 por ciento de los agricultores de Babahoyo y Quevedo no tienen conocimientos relacionados con la ecológica. Por otro lado 6 por ciento y 12 por ciento de los agricultores de Babahoyo y de Quevedo, respectivamente, no tienen conciencia ecológica de ningún tipo (Figuras 41 y 42).

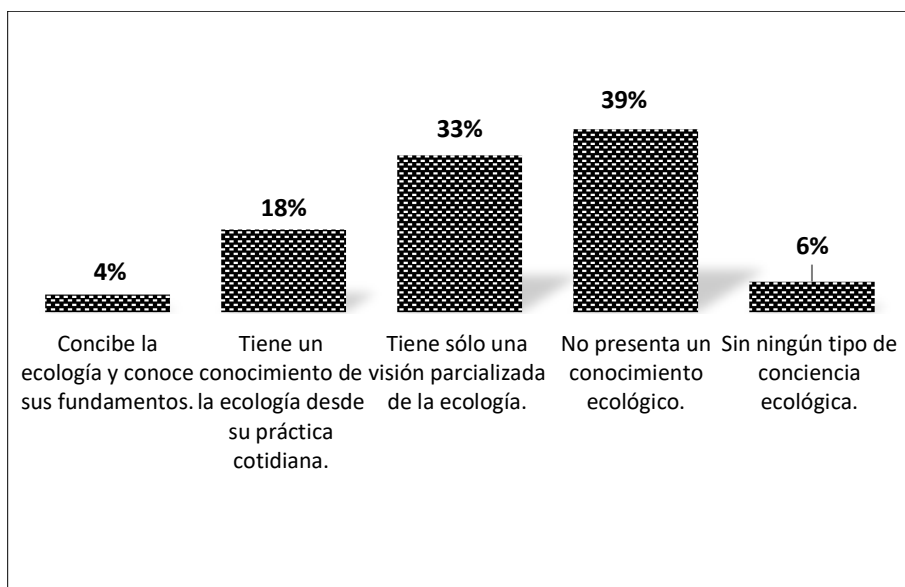


Figura 41: Conocimiento y conciencia ecológica Babahoyo

Fuente: Elaboración propia.

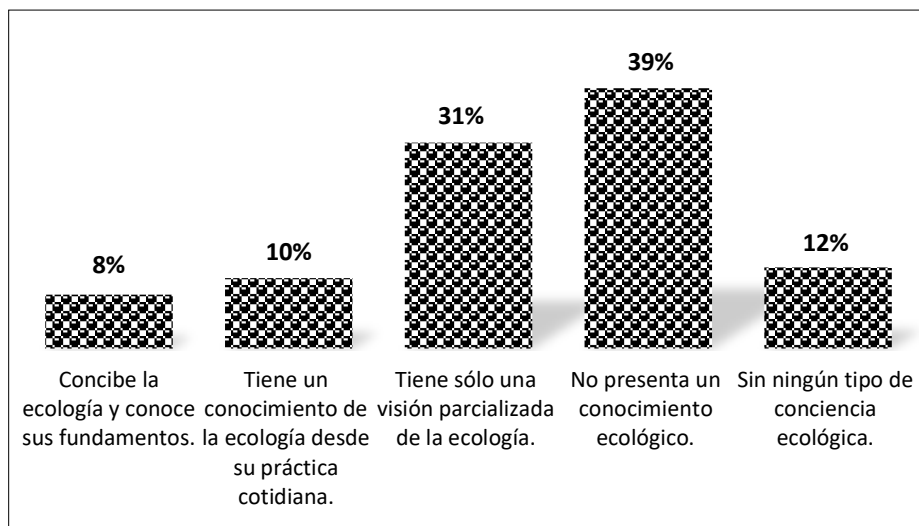


Figura 42: Conocimiento y conciencia ecológica Quevedo

Fuente: Elaboración propia.

d. Evaluación de la sustentabilidad

La sustentabilidad económica (IK) para Babahoyo fue igual a 1,5 y el de Quevedo de 1,4 (Tabla 18) estos valores muestran que los sistemas no son económicamente sustentables de acuerdo con la escala establecida. Estos valores bajos reflejan muchos sub indicadores negativos en los sistemas de producción tanto en Babahoyo como Quevedo como, por ejemplo: la poca diversificación de cultivos, dando lugar a una menor cantidad de productos para diversificar su alimentación y la baja productividad, los problemas de plagas y enfermedades, inundaciones, malezas y mala calidad de la semilla. Sin embargo, el subindicador ingreso mensual alcanzó un valor a 2,66 para Babahoyo y 2,07 Quevedo.

Tabla 18: Evaluación de la sustentabilidad en localidades productoras de arroz con el método de análisis multicriterio, en Quevedo y Babahoyo

Sistema	ASA	IMN	RE	IK	MBD	MS	MP	IA	SNB	ASP	IS	CCE	ISC
Quevedo	1.06	2.07	1.24	1.4*	0.85	1.54	0.54	0.97*	2.67	2.88	2.90	1.64	2.6**
Babahoyo	0.91	2.66	1.54	1.5*	0.97	1.28	0.81	1.02*	2.62	2.49	2.63	1.73	2.4**

IK= Indicador general económico. * No sustentable, por tener valor < 2; ** Sustentable, por tener valor ≥ 2

IK= indicador económico: ASA=Autosuficiencia alimentaria, IMN=Ingreso neto mensual por grupo, RE=Riesgo Económico.

IA= indicador ambiental: MBD= Manejo de la biodiversidad, MS= Manejo del suelo, MP= Manejo de plagas

ISC= indicador social: SNB= Satisfacción de necesidades básicas, ASP= Aceptabilidad del sistema de producción, **IS=**

Integración social: CCE= Conocimiento y Conciencia Ecológica.

Fuente: Elaboración propia.

La sustentabilidad ambiental (IA) para la zona de Babahoyo tuvo valor de 1,02 y para Quevedo de 0,97, estos resultados muestran que la dimensión ambiental no es sustentable. Esto se debe a que los valores de los sub indicadores MBD (0,91) y MP (0,68) son menores a 2. Las causas son: el inadecuado manejo de la biodiversidad, ya que mayoría de los productores no rotan sus cultivos; solo un 25 por ciento tiene manejo de cobertura y el manejo de plagas con medias a altas dosis de insecticidas, en los dos sistemas de producción utilizan.

Los encuestados solicitan ser capacitados para no seguir utilizando productos que afectan el ecosistema y reactivan plagas que desde hace muchos años ya se habían extinguido de las zonas arroceras, dentro de estas está el nematodo *M. graminicola* en suelo y raíces con rangos calificados de moderados a altos.

La sustentabilidad social (IS), en los dos sistemas de producción tienen valores mayores a 2 por lo tanto son sustentables socialmente. Sin embargo, en el sistema de producción de Quevedo el indicador CCE tiene un valor de 1,64, que indica que los agricultores no tienen conocimientos relacionados con la ecología y ningún tipo de conciencia ecológica, por desconocimiento de que produce el mal uso de los recursos que posee la zona.

La sustentabilidad social de los dos sistemas de producción en Babahoyo y Quevedo se explica porque existe satisfacción de las necesidades básicas de los agricultores (A). Ellos cuentan con vivienda (A1), tienen acceso a educación (A2), la mayoría tiene acceso a sistemas de salud (A3) y poseen servicios básicos (A4). También muestran una alta aceptabilidad al sistema de producción que manejan (B), integración social (C). Por otro lado, los agricultores no poseen conocimiento y conciencia ecológica (D1) y conocimiento de agroecosistema.

Cabe mencionar que en su mayoría los agricultores manifestaron estar satisfechos con lo que hacen, señalaron que uno de principales cultivos que tienen en sus fincas es el arroz, con un manejo simple y que les proporciona un alimento básico importante y que les permite dedicarse a otras actividades no agrícolas que les incrementa su ingreso familiar. Esto concuerda con lo dicho por Marín *et al.* (2021) que señala que los agricultores reportaron en su gran mayoría, que la principal actividad que desarrollan en ciertas zonas del país es el cultivo de arroz y otras actividades distinta a la agricultura.

Para los dos sistemas de producción de arroz, el Índice de sustentabilidad económico (IK), Índice de sustentabilidad ecológica (IA) e Índice de sustentabilidad social (ISC) se presentan graficados en las Figuras 43, 44 y 45.

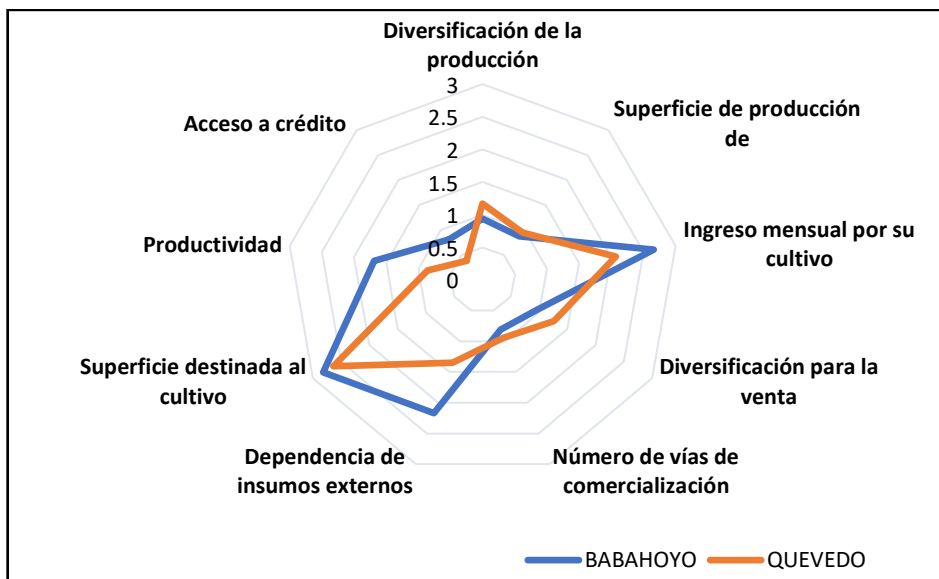


Figura 43: Componentes del indicador económico (ISC) para los sistemas de producción de arroz

Fuente: Elaboración propia.

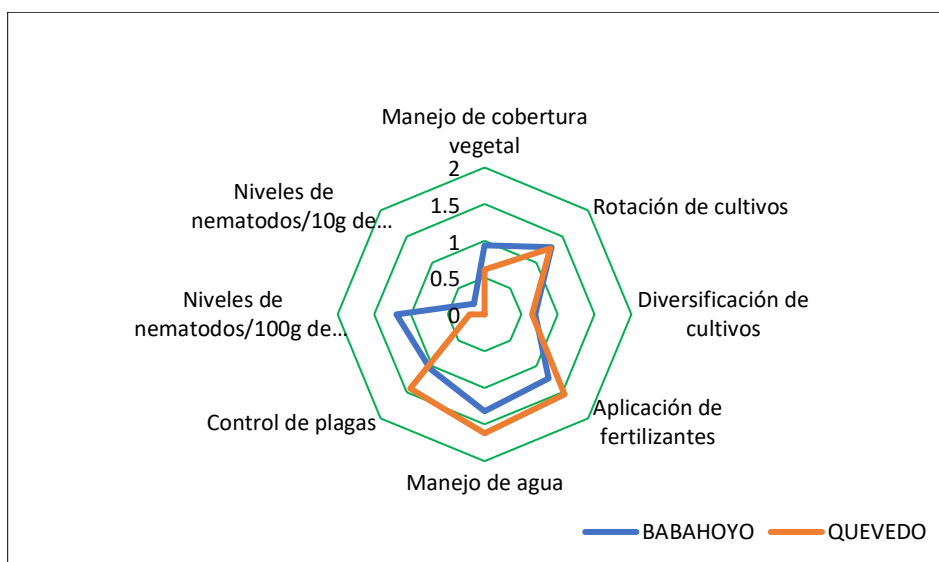


Figura 44: Componentes del indicador ecológico (IA), para los sistemas de producción de arroz

Fuente: Elaboración propia.

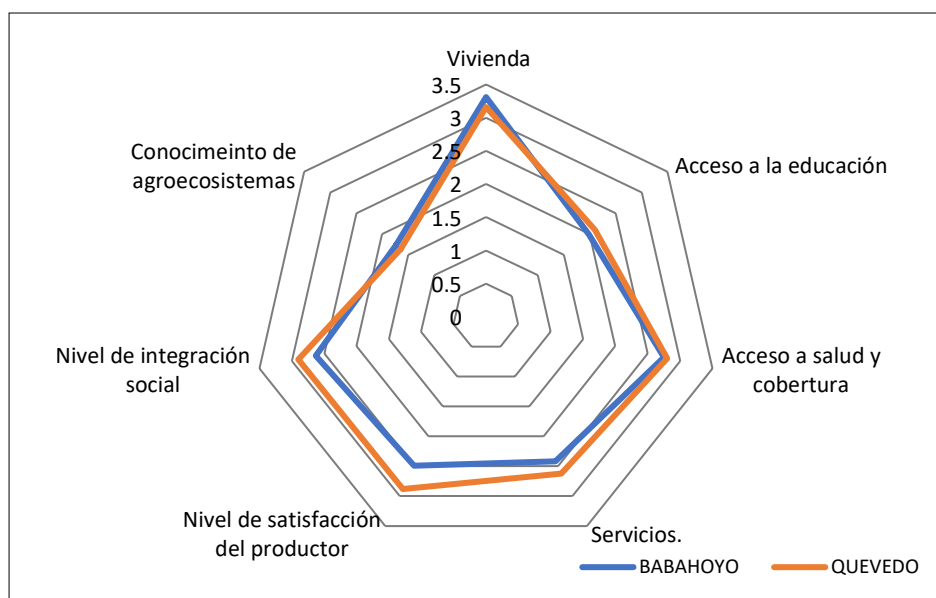


Figura 45: Componentes del indicador socio cultural (ISC), para los sistemas de producción de arroz

Fuente: Elaboración propia.

e. Índice de sustentabilidad general (ISGen)

Para considerar a una finca como sustentable el Índice de Sustentabilidad General (ISGen) debe ser mayor a 2 y; además, ninguna de las tres dimensiones evaluadas debe tener un valor menor a 2 (Sarandón *et al.* 2006). En el caso de las localidades arroceras evaluadas de Babahoyo y Quevedo, aplicando la fórmula ya establecida las 2 localidades alcanzan un (ISGen) de 1,71 y 1,54 respectivamente, no se consideran sustentables, esto debido a que en las dos localidades existen dimensiones que presentan valores menores a 2 (Tabla 19, Figura 46).

Tabla 19: Resultados de ISG en, sistemas de producción de arroz en Quevedo y Babahoyo

Sistema	IK	IE	IS	ISG
Quevedo	1.4	0.97	2.25	1.54**
Babahoyo	1.5	1.02	2.63	1.71**

**Sustentable; * no sustentable con valor <2 (IK)

Fuente: Elaboración propia.

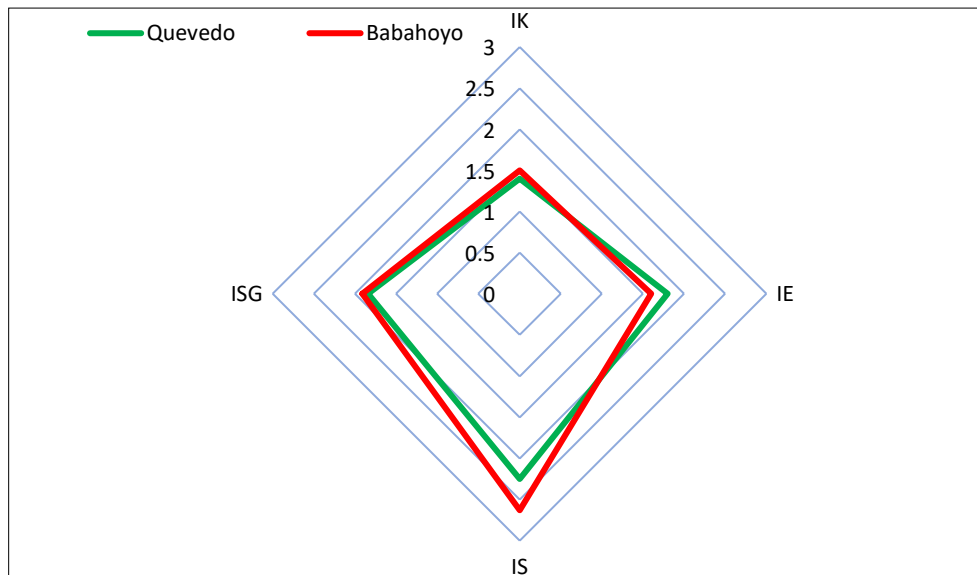


Figura 46: Resultado de ISGen, sistema de producción en arroz

Fuente: Elaboración propia.

Según Giraldo y Valencia (2010), consideran que se debe identificar los puntos críticos de los sistemas de producción, con el fin de que permitan evaluar de manera efectiva y coherente la sustentabilidad de los sistemas.

V. CONCLUSIONES

Objetivo 1

- El genotipo 32 (Puyón/Jp002 P11 – 10 - 22), el genotipo 5 (Puyón/Jp002 P8 – 20 – 13), el genotipo 31 (Puyón/Jp002 P11 – 10 – 74) y el genotipo 2 (Puyón/Jp002 P8 – 20 – 14) presentaron una baja densidad poblacional de *M. graminicola* en 10 g raíces. Por otro lado, el genotipo 24 (Puyón/JP002-P8-28-28), el genotipo 28 (Puyón/JP002 P8-32-33) y el genotipo 30 (Puyón/JP002 P8-28-11) presentaron una baja densidad poblacional de *M. graminicola* en 100cm³ de suelo.
- En índice de reproducción, el mayor número de veces que se multiplicó el nematodo fue 25 veces en el genotipo 7 (Puyón/Jp002 P8 –28–8-5) y el menor 2 veces en el genotipo 32 (Puyón/Jp002 P11 – 10 - 22).

Objetivo 2

- Las líneas mejoradas de arroz Puyón/JP002 P11 – 10 y Puyón /JP002 P8 – 20 obtenidas en la Universidad Técnica de Babahoyo, son muy susceptibles a *M. graminicola* al igual que la variedad comercial ecuatoriana INIAP 15.
- Los niveles de inóculo inicial de 500, 1 000, 2 000 y 3 000 J por planta de arroz redujeron significativamente, altura de planta, desarrollo radicular y número de granos por planta, peso de 1000 granos y rendimiento en los materiales de arroz Puyón/JP002 P11 – 10 y Puyón/JP002 P8 – 20 e INIAP 15.
- La densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces se incrementó en forma constante en la etapa de floración, llenado de grano y disminuyó en la etapa de cosecha en los tres genotipos estudiados.

Objetivo 3

- En la dimensión económica para las 2 localidades, las causas de la baja sustentabilidad, fueron la poca diversificación para la venta, bajo rendimiento, pocas vías de comercialización y la falta de fuentes de financiamiento.
- En la dimensión ecológica, tanto los productores de Babahoyo y Quevedo, los factores que determinan la no sustentabilidad fueron: la baja cobertura vegetal y la poca diversificación de cultivos.
- En la dimensión sociocultural, el grupo de productores de Babahoyo y Quevedo, alcanzaron el valor umbral 2.
- El Índice de Sustentabilidad General (ISG) fue de 1.54 y 1.71 para Quevedo y Babahoyo; respectivamente, mostrando que dos los sistemas de producción no son sustentables para las condiciones en las que se realizó la evaluación de sustentabilidad.

VI. RECOMENDACIONES

- Confirmar los resultados realizando pruebas adicionales de inoculación. Determinar los síntomas y daños que pueda causar el nematodo en diferentes etapas de desarrollo de la planta (floración, llenado de vaina y cosecha) y con diferentes niveles de inóculo.
- Los genotipos Puyón/JP002 P11 – 10 y Puyón/JP002 P8 – 20 con menor densidad poblacional de *M. graminicola* en raíces en este estudio, deben ser evaluados para determinar su nivel de resistencia al nematodo, su potencial de rendimiento y calidad comparándolos con otras variedades susceptibles y ambientes con mayor infestación.
- Incrementar en las variables de la dimensión económica, en los sistemas de producción arrocero, para generar una mayor producción, mediante la utilización de nuevas tecnologías e innovación, la utilización de variedades resistentes para lograr disminuir los problemas fitosanitarios en las zonas productoras de arroz.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, A; Castrillo, A. & Belmonte, U. 2006. Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía Tropical*, 56(2):151-170. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000200001&lng=es&tlng=es
- Andrade, F; Hurtado, J. 2007. Factores ambientales para el desarrollo del cultivo de arroz. Manual del cultivo de arroz. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria). EC. 7 p.
- Amparo, J. 2016. Evaluación de la patogenicidad de *Burkholderia glumae* y *Burkholderia gladioli*, en semilla, plántula y planta de tres variedades de arroz (*Oryza sativa*). 74 p.
- Altieri, M. 1995 *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Process, Boulder. 448 p.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Artículo de Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. 6 p.
- Arévalo, G. E; Zúñiga, C. L; Baligar, V; Bailey, B; Canto, M. 2016. Dinámica poblacional de nemátodos asociados al sistema de cultivo tradicional de cacao en la amazonia peruana. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 11 p.

- Arraya, E. 2008. Identificación, cuantificación y caracterización de densidades poblacionales de nematodos asociados al cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la región Huetar Norte (cantones de los Chiles y San Carlos) de Costa Rica. Tesis Ingeniero Agrónomo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos. 86 p.
- Banco Central del Ecuador. 2016. Reporte de Coyuntura Sector Agropecuario. N° 89 - I. 2016 ISSN N° 1390 – 0579.
- Banco Central del Ecuador. 2021. Reporte de coyuntura Sector Agropecuario. N° 93-III 2020. 10 p.
- Berrio, L; Torres, É; Barona, J; Cuásquer, J. 2016. Diversidad Genética de las Variedades de Arroz Flar Liberadas entre 2003-2014. Universidad de Costa Rica Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2):217-231
- Bridge, J; Page, S.L.J. 1982. The rice root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, on deep water rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*). *Revue de Nématologie* 5: 225–232.
- CABI (Centro de Biociencia Agrícola Internacional). *Meloidogyne graminicola* (rice root knot nematode). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/33243#toDistributionMaps>
- Castro, M. 2017. Rendimiento de arroz en cáscara, primer cuatrimestre 2017. Quito-Ecuador. 50 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 2006. Revista: Manejo Integrado de Plagas No. 52 (en línea). Consultado el 23 de junio 2006. Disponible en: web.catie.ac.cr/informacion/RMIP/rmip52/nht52-1.htm
- Camarena, F; Chura, J; Blas, R. 2014. Mejoramiento genético y biotecnológico de planta. Molina-Lima-Perú. Disponible: https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/MEJORAMIENTO_GENETICO_Y_BIOTECNOLOGICO_DE_PLANTAS.pdf

- Carvajal, L; Moya, J. 2010. Nematodos asociados con cultivos de arroz en Huila y Tolima. Bogotá Colombia. Agron. Colomb., 28(3):590-596.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 1985. Investigaciones Nematológicas en Programas Latinoamericanos de Papa. Vol II: Proyectos y Métodos. Javier Franco y Hernán Rincón, editores. Lima – Perú. 44 p.
- Centro de Biociencia Agrícola Internacional (CABI). 2021. *Meloidogyne graminicola*. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK. CAB International. <https://www.cabi.org/isc/abstract/20066500826>.
- Coyne, D. L; Nicol, J. M; Claudius-Cand laboratory guide ole, B. 2007. Practical Plant Nematology. A field SP-IPM Secretary at International Institute of Tropical Agriculture. Cotonou, Benim. 92 pp.
- Cristo, E; Gonzalez MC; Pérez, N; Crescencio-Bazaldúa, EV; Cárdenas-Travieso, RM; Echevarría-Hernández, A; Blanco G, y Gonzalez M 2012. Efecto de bajos suministros de agua en el comportamiento agronómico e industrial de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) Obtenidos por diferentes métodos de mejora. Cultivos Tropicales, 33(1):50-56.
- CULTIVAR. 2018. Nemátodos en arroz problema a la vista. Visitado el 14 febrero 2015. Disponible en: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/nematoides-em-arroz-problema-a-vista>.
- Cruz, B. 2006. Biodiversidad y Conocimiento Tradicional en la Sociedad Rural. Mc Editores, México. Primera Edición. 457 p.
- Christie, J.R. 1974. Nematodos de los vegetales; su ecología y control. Trad. de la primera edición por Centro Regional de Ayuda Técnica. México, D.F. Limusa 275 p.
- Delgado, F. 2011. Ecuaquímica C.A. Departamento Arroz Ecuaquímica, Guayaquil. Recuperado el 10 de mayo de 2021. Disponible en: http://www.ecuaquimica.com/info_tecnica_arroz.pd

- D'Addabbo, T; Sasanelli, N; Grecco, N; Stea, V; Brandonisio, A. 2005. Effect of water, soil temperature, and exposure times on the survival on the sugar beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*. *Phytopathology* 95:339-344
- Deka, S; Barthakur, S. 2010. Overview on current status of biotechnological interventions on yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* (Lepidoptera: Crambidae) resistance in rice. *Biotechnology Advances*. 28: 70–81.
- Díaz, C; Chaparro, A. 2012. Métodos y usos agrícolas de la ingeniería genética aplicada al cultivo del arroz. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2):179-195.
- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C.W; InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Emiliozzi, M. 2014. Expresión de la resistencia en plantas de tomate a nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne javanica*). Tesis Doctoral. Universidad politécnica del Litoral. Escuela de Ingenieros Agrónomos. 158 p.
- Encuesta de superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC. 2020. Cultivos permanentes y transitorios.
- Encuesta de superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC. 2017. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Visitado el 11 de mayo del 2020. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf
- Esquivel, A. 1996. Influencias del suelo sobre la población del nematodo. Escuela de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Trujillo. 87 p.
- Federación Nacional de Arroceros - FEDEARROZ. 2018. La Fisiología Del Cultivo Del Arroz en el Programa AMTEC.

- Flor, M. 2013. Uso de agentes de control y protección biológica frente a nemátodos del género *Meloidogyne* en cultivos protegidos bajo plástico. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Departamento de fisiología vegetal. 287 p.
- FONTOAGRO. 2011. Complejo Acaro Hongo Bacteria Nuevo Reto Para Arroceros Centroamericanos. Informe Técnico Final. Disponible: https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2007/01/infotec_final_05_311.pdf.
- Franquet, J. 2004. Economía del arroz, variedades y mejora. Edición realizada con el patrocinio de la Universidad Internacional de Cataluña y la Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. 454 p.
- Giraldo, R; Valencia, R. 2010. Evaluación de la sustentabilidad ambiental de tres sistemas de producción agropecuarios, en el corregimiento Bolo San Isidro, Palmira. RIAA, 1(2):7-17.
- González, N; Zamorano, D. 2009. El cultivo del arroz. Fase reproductiva. Disponible en: <https://docplayer.es/42364374-El-cultivo-del-arroz-oryza-sativa-l-nerssy-gonzalez-denisse-zamorano.html>
- Gómez, L; Rodríguez, M; Noval, B; Miranda, LL; Hernández, M. 2008. Interacción entre el económico y una población cubana de *Meloidogyne incognita* en tomate. Revista Protección Veg. 23(2): 90-98.
- Gómez, L; Rodriguez, M; Enrique, R; Miranda, I; González, E. 2009. Factores limitantes de los rendimientos y calidad de las cosechas en la producción protegida de hortalizas en cuba. Rev. Protección Veg. 24(2):117-122.
- Guzmán, T; Hernández, S; Benavides, I; Durán, J; Montero, W. 2011. Nematodos fitoparásitos asociados al arroz en las regiones huetar norte y huetar atlántica de costa rica. agronomía mesoamericana 22(1):21-28. 2011 ISSN: 1021-7444.

- Gracia, Y; González, M. 2016. propuestas agroecológicas para el manejo agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en la unidad de propiedad social agrícola “banco de pavones”, ubicada en el sector Piritu – Becerra en Calabozo estado Guárico, Venezuela 7(2):215-230.
- Hettwer, K; Jähne, M; Frost, K; Giersberg, M; Kunze, G; Trimborn, M; Reif, J; Türk, M; Gehrman, L; Dardenne, F. 2018. Validation of Arxula Yeast Estrogen Screen assay for detection of estrogenic activity in water samples: results of an international interlaboratory study. *Sci. Total Environ.*, 621:612-625.
- Hernández, D; Arias, Y; Gómez, L; Peteira, B; Miranda, L; Rodríguez, M. 2012. Elementos del ciclo de vida de población cubana de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Solanum lycopersicum* L.
- Horacio, M. 2015. Sustentabilidad en sistemas agrícolas de limón (*Citrus aurantifolia*. C), cacao (*Theobroma cacao* L.) Y bambú (*Guadua angustifolia* K.) en Portoviejo-Ecuador”. Tesis de doctorado. Universidad Agraria Nacional La Molina. Lima-Perú. 143 p.
- Hoyos, L; Moya J. 2010. Nematodos asociados con cultivos de arroz en Huila y Tolima. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá. Bogotá-Colombia. 135 p.
- Huang, C.S. 1985. Formation, anatomy and Physiology of giant cells induced by root- know nematode. In: Advance treatise on *Meloidogyne* Biology and control. (Sasser, J.N. and Carter, C.C., Ed) 155-164, North Carolina State.
- Hussey, R.S. 1985 Host parasite relationships associated physiological changes. In Advance treatise on *Meloidogyne* Biology and control. (Sasser, J.N. and Carter, C.C., Ed) 143 – 153, North Carolina State.
- Hutton, D.1978. Influence on rainfall on some plantain nematodes in Jamaica. *Nematropica*. 8(2):34 - 39.

- National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI). 2019. Agrometeorology Station of the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria. 2007. EELS. Plegable promocional No. 270. Segunda edición.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2014. Desarrollo por INIAP. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rarroz>.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2015. Producción de arroz buenas prácticas agrícolas. Perú.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2015. Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en corrientes. Disponible en: www.inta.gob.ar.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2015. Manejo de Insecto Plaga. Plan de fortalecimiento Institucional. www.inta.gob.ar.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2015. Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en corrientes. <https://inta.gob.ar/documentos/guia-de-buenas-practicas-agricolas-para-el-cultivo-de-arroz-de-corrientes>.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. 2016. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de Arroz en Corrientes. Serie Técnica N° 2. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/arroz_guia_2016-final.pdf
- Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias. 2018. Guía tecnológica del cultivo de arroz de secano. Disponible en: <https://inta.gob.ni/project/guia-tecnologica-del-cultivo-de-de-secano-arroz/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC. 2021. Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 2012. Fases desarrollo y etapas de crecimiento del cultivo de arroz.
- Intriago, M; García, B; Peláez, G; Estupiñán, I; Villao, F. 1991. Principales enfermedades del arroz en el Ecuador y su manejo.
- James, C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA. Ithaca, NY. p 1-30.
- Jiménez, A. 1991. Determinación de la Densidad poblacional de Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo del Plátano (*Musa AAB*) en La Región Huetar Norte. Informe Bach. Ing. Agr. San Carlos, Costa Rica. ITCR. del suelo en cultivos de cebolla, plantación forestal y bosque, en la cuenca del río Otún, Risaralda. Tesis Pontificia Universidad Javeriana Facultad De Ciencias Carrera De Microbiología Industrial. Bogotá. 53 p.
- Jiménez, M. 1972. Fluctuaciones anuales de la población de *Radopholus similis* en la zona bananera de Pococí, Costa Rica. *Nematropica*. 2(2):33-40.
- Julca, A. 2012. Seminario de agricultura sustentable. 1 disco compacto. 8mm. 120 Minutos. Portoviejo, Ecuador.
- Julca, A; Gallego, E; Sánchez, J; Cordovilla, P. 2001. Agua y nematodos parásitos de las plantas. *Horticultura: Revista de frutas, hortalizas, flores, plantas ornamentales y de viveros*, 154:20-26.
- Lima-Medina, I; Bravo-Portocarrero, R; Aguilar-Gómez, M. 2017. Densidad poblacional de nematodos asociados al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Rev. Investigación Altoandina*, 19(3):255-264.
- López, R; Salazar, L; Azofeifa, J. 1987. Nematodos asociados al arroz (*Oryza sativa* L.) en Costa Rica. V. Frecuencia y densidades poblacionales en las principales zonas productoras. *Agronomía Costarricense*, 11(2):215-220.

- López, M. 2018. Caracterización de poblaciones de nematodos del género *Meloidogyne* asociadas a los cultivos de banano, caña de azúcar y arroz en las principales zonas productoras del norte del Perú". Piura-Perú. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Piura. 46 p.
- López, J. 2006. Determinación preliminar de géneros y densidades poblacionales de nematodos asociados al cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en la región huetar norte de Costa Rica. Proyecto para obtener el Bachillerato en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 63 p.
- Lombeida, E; Medina, R; Hasang, E; Cobos, F. 2020. Incidencia de *Meloidogyne graminicola* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en la provincia de Los Ríos. Journal of Science and Research: Revista Ciencia E Investigación. ISSN 2528-8083, 5(CININGEC), 110 - 121. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1001>.
- Lombeida, E; Medina, R; Hasang, E; Cobos, F. 2021. Incidencia de *Meloidogyne graminicola* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en la provincia de Los Ríos. Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, 5:110-121.
- Mantelin, S; Bellafiore, S; Kyndt, T. 2017. *Meloidogyne graminicola*: a major threat to rice agriculture. Molecular plant pathology, 18(1):3–15. <https://doi.org/10.1111/mpp.12394>.
- Maqueira, L.A; Roján, O; Duque, D; Torres, W. 2018. Duración de las fases fenológicas, su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.). Cultrop (online), 39(¡):68-73.
- Marín, D; Urioste, S; Celi, R; Castro, M; Pérez, P; Aguilar, D; Labarta, R; Andrade, R. 2021. Caracterización del sector arrocerero en Ecuador 2014-2019: ¿Está cambiando el manejo del cultivo? Publicación CIAT No. 511. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR); Ministerio

de Agricultura y Ganadería (MAG) de Ecuador; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador. Cali, Colombia.

McGovern, R. J; McSorley, R. 1997. Physical methods of soil sterilization for disease management including soil solarization. Pp 637-716. En: Environmentally Safe Approaches to Crop Disease Control. Eds: Recheigl, N. A. y Recheigl J. E. CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Medina, A; Perichi, G. 2009. Nematodos Fitoparásitos asociados a los arrozales en Venezuela. *Nematología Mediterránea*, 37(1):59-66.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2018. Rendimiento objetivos de arroz en cáscara. Quito-Ecuador.

Montero, E. 1993. Dinámica poblacional de Nemátodos utilizando diferentes materiales de siembra en plátano (*Musa AAB*). Informe Bach. Ing. Agr. San Carlos, Costa Rica. ITCR. 57 p.

Mohammad, H; Garza, V. 2007. Resistencia en Insectos, Plantas y Microorganismos. *Cultura Científica y Tecnológica*, 18(4):9-25.

Nacional Academia of Science. 1978. Control de nematodos parásitos de plantas. Limusa, México. 209 p.

Nico, A. 2002. Incidencia y patogenicidad de nematodos fitopatógenos en plantones de olivo (*Olea europaea* L.) en viveros de Andalucía, y estrategias para su control. Tesis Ph.D. Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales ETSIAM, Universidad.

Niks, R. 2004. PREDUZA es el Proyecto de Resistencia Duradera en la Zona Andina, ejecutado por el Departamento de Mejoramiento de Plantas de La Universidad de Wageningen de Holanda y financiado por el Ministerio de Desarrollo y Cooperación, DGIS.

- Norton, D.C. 1978. Ecology of plant-parasitic nematodes. John Wiley and Sons. New York. 217 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2004. El Arroz y Nutrición Humana. Estados Unidos. 2 p. <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Distribución de la producción de arroz a nivel mundial.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 2020. Perspectivas Alimentarias Resúmenes De Mercado. <http://www.fao.org/3/cb0606es/cb0606es.pdf>.
- Padgham, J. L; Abawi, G. S; Duxbury, J. M; Mazid, M. A. 2004. Impact of wheat on *Meloidogyne graminicola* populations in the rice-wheat system of Bangladesh. Nematropica 34:183-190
- Pokharel, R. R; Abawi, G. S; Zhang, N; Duxbury, J. M; Smart, C. D. 2007. Characterization of isolates of *Meloidogyne* from rice-wheat production fields in Nepal. Journal of nematology, 39(3):221–230.
- Rahman, R; Taylor, R. 1979. Pest management and control, nematode parts associated with deep water rice. Rice Institute, Bangladesh 20-21 pp.
- Ramesh, J; Matiyar, K; Vinod, K. 2011. Rice root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*) infestation in rice, Archives of Phytopathology and Plant Protection, 45:6, 635-645.

- Ramos, J; Franco, J; Ortuño, N; Oros, R; Main, G. 1998. Incidencia y Severidad de *Nacobbus aberrans* y *Globodera* spp. En el cultivo de la papa en Bolivia: pérdidas en el valor bruto de su producción. Cochabamba, Ibta/Proimpa, 201 p.
- Rao, R. 2006. Comisión Mundial sobre el medio ambiente y desarrollo.1 Disco compacto. 8mm. 120 Minutos. Portoviejo, Ecuador.
- Ravindra, R; Sehgal, M; Narasimhamurthy, H; Krishnappa, J; Imran, H. 2017. Rice Root-Knot Nematode (*Meloidogyne graminicola*) an Emerging Problem. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6. 3143-3171. 10.20546/ijcmas.2017.608.376.
- Reyes, I. 2013. Determinación de la susceptibilidad de cuarenta materiales de arroz (*oryza sativa*.) a *Meloidogyne graminicola*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. 21 p.
- Rodríguez, M; Hernández-Ochandía, D; Miranda, I; Moreno, E; Castro-Lizazo, I; Delgado-Oramas, B. 2019. Reproducción y patogenicidad de *Meloidogyne incognita* en garbanzo cultivar 'Nacional-29'. *Centro Agrícola*, 46(3), 16-21. Disponible http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000300016&lng=es&tlng=es.
- Roshi, F; Uzzo, M; Wilson, R; Price, A. 2007. Estudio de mapeo fisiológico y genético de la tolerancia al nematodo agallador en arroz. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Aberdeen, Aberdeen, AB24 3UU, Reino Unido.
- Sancho, C; Salazar, L; López, R. 1987. Efecto de la densidad inicial del inóculo sobre la patogenicidad de *Meloidogyne salasi* en tres cultivares de arroz. *Revista Agronomía Costarricense* 11(2): 233-238. 1987.
- Sarandón, S. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 20: 393-414.

- Sarandón, S; Zuluaga, M; Cieza, R; Gómez, C; Janjetic, L; Negrete, E. 2006. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*, 1: 19-28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14>.
- Sarandón, S; Flores, C. 2010. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. En: *Revista Agroecología*. Madrid, España.4:1-6.
- Sarandon, S; Flores, P .2014. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. Universidad Nacional de la Plata.
- SERVIFAPA. 2014. *Manejo Integrado de Nemátodos Fitoparásitos en Cultivos Hortícolas*. Editores Junta de Santa Lucia. España.120 p.
- Sharma, S. 2001. Plant parasitic nematodes in rice -wheat based cropping systems present status and future research, *South Asia*. 227-247 pp.
- Singh, I; Gaur, H; Briar, S; Sharma, S; Sakhuja, P. 2003. Role of wheat in sustaining *Meloidogyne graminicola* in rice-wheat cropping system. *Journal of Nematology*. Bangladesh. 79-86 pp.
- Smyth, A; Dumansky, G. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science.*, 75(4): 401-406. DOI: 10.4141/cjss95-059.
- Soriano, R; Schmit, V; Brar, D; Claude, J; Reversa, G. 1999. Resistance to rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* identified in *Oryza longistaminata* and *O. glaberrima*.
- Soriano, I; Claude, J. 2002. Expression of Tolerant for *Meloidogyne graminicola* in Rice Cultivars as Affected by Soil Type and Flooding. 309 pp.

- Talavera, M. 2003. Manual de Nematología Agrícola. Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal; 23 (in Spanish). Available in:
<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CNTSP722ZI4569&id=456>
- Taylor, A; Sasser, J. 1983. Biología, Identificación y Control de los nemátodos de nódulos de la raíz (Especies de *Meloidogyne*). Proyecto Internacional *Meloidogyne*. Artes Gráficas de la Universidad de Carolina del Norte, USA, 2-9 pp.
- Tian, Z; Munawar, M; Eda, M; Castillo, P; Zheng, J. 2018. Morphological and molecular characterization of the rice root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, Golden and Birchfeild, 1965 occurring in Zhejiang, China. *Journal of Integrative Agriculture* 17(12): 2724–2733.
- Tommasino, H. 2005. Sustentabilidad rural: desacuerdos y controversias. En: ¿Sustentabilidad? Desacuerdo sobre el Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma de zacatecas. México: Miguel Ángel Porrúa.
- Triviño-Gilces, C; Navia, D; Velasco, L. 2016. Guía para reconocer daño en raíces y métodos de muestreo y extracción de nematodos en raíces y suelo. INIAP. Boletín Divulgativo, 433(2):25-30.
- Triviño, C; Figueroa, M. 1993. Los nemátodos del arroz y su control. INIAP, Quito, Ecuador. Boletín Divulgativo N° 241.
- Triviño, C. 2003. Control biológico del nemátodo agallador *Meloidogyne* spp. con la bacteria *Pasteuriapenetrans* en campos de producción. INIAP.
- Triviño, C. 2007. Manejo de los principales nemátodos fitoparásitos en el cultivo de arroz. Manual del Cultivo de Arroz. INIAP. EC. 115-118 pp.
- Triviño, C; Velasco, L. 2013. Problemas afectan producción de arroz. *Revista Informativa INIAP*. EC. 8:1-17.

- Triviño, C; Navia-Santillán, F; Velasco, L. 2013. Guía para reconocer daño en raíces y métodos de muestreo y extracción de nemátodos en raíces y suelo. Yaguachi, EC. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Litoral Sur Dr. Enrique Ampuero Pareja. Boletín Divulgativo No. 433.
- Triviño, C; Navia-Santillan, F; Velasco, L. 2016. Plant- Parasitic Nematodes Associated with rice in Ecuador. *Nematropica* 46(1):45-53.
- Trudgill, D.L. 1992. Resistance to and tolerance of plant-parasitic nematodes in plants. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 29: 167-192.
- Torrini, G; Roversi, P. F; Cesaroni, C. F; Marianelli, L. 2020. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 50(2), 330-339. Wiley, Oxford, UK. English language.
- UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo). 2000a. Información de Mercado sobre productos básicos; Descripción del arroz. (en línea). EE.UU. Visitado el 05 diciembre 2009. Disponible en: [http// www.unctad.org](http://www.unctad.org).
- UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo). 2000b. Información de Mercado sobre productos básicos; Mercado del Arroz (en línea). EE.UU. Visitado el 12 enero 2010. Disponible en: [http// www.unctad.org](http://www.unctad.org).
- UNIVERSO. 2018. Economía. Visitado el 15 de noviembre del 2020. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/07/03/nota/6840920/pesares-arroceros-no-detienen-siembra>.
- Vargas, C. 2009. Dinámica poblacional de nematodos y su relación con el peso de grano, en el cultivo del arroz (*Oryza sativa*), en la Región Huetar Norte y Huetar Atlántica de Costa Rica.
- Vargas, H. 2008. Identificación, Cuantificación, Caracterización y Dinámica Poblacional De Nematodos en el Cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el Cantón de Upala, Región Huetar Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- Velázquez, J; Rosales, A; Rodríguez, H; Salas, R. 2015. Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz, con el sistema s, v y r correlacionado con la sumatoria térmica.
- Velásquez, R. 2016. Análisis económico, social y política de la cadena agroalimentaria del arroz en el Ecuador, periodo 2005-2014. Universidad Católica del Ecuador. Facultad de economía. Quito-Ecuador.
- Vera, M. 2014. Eficacia nematon y *Paecilomyces lilacinus* en el desarrollo vegetativo de la planta de arroz y manejo de *Meloidogyne graminicola* de condiciones de invernadero. Tesis para optar el título de Ingeniero. Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Villalobos, R; Retana, J. 1997. Posibles efectos de un calentamiento global en el cultivo de arroz de secano en el pacífico norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21(2):179-188.
- Vaish, S; Singh, U; Pandey, S; Upadhyaya, V. 2020. Root Knot Nematode (*Meloidogyne graminicola*): An Emerging Concern of Wheat and Barley in Rice Growing Regions.
- Wouts, W. H. 1979. Characterization of the family *Meloidogyne* with a discussion on its relationship to family of the soborder Tylenchina base on gonad morphology. In rootknot nematodes (*Meloidogyne*) species; and systematic, biology and control. Ed. By E.Lamberty and C.E.Taylor, Academic Press, London and New York. pp 20-23.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
PROGRAMA DE DOCTORADO AGRICULTURA
SUSTENTABLE



EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ, EN DIFERENTES CONDICIONES DE INFESTACIÓN CON *M. graminicola*

ENCUESTA

Por favor, tómesese unos minutos para completar la encuesta de sustentabilidad de sistemas de producción de arroz. Su opinión es muy importante. Sus respuestas ayudarán a comprender la importancia y problemas que pueda tener, así también orientar y proponer soluciones. Sus respuestas se mantendrán confidenciales y solo se utilizará para fines de este estudio.

1. ¿Siembra arroz? Sí No (En caso de respuesta negativa, la encuesta no es válida. (No realizarla).

DATOS GENERALES

2. Responsable de la encuesta:

3. Lugar y fecha:

4. Nombre y apellidos del agricultor: -

DIMENSION ECONOMICA

A1.- ¿Diversifica la producción en su finca y le alcanza para satisfacer las necesidades?

0.-de 2 productos	1.- de 2 a 3 productos	2.-de 3 a 5 productos	3.- de 7 a 9 productos	4.- + de 9 productos

A2.- ¿Cuánta superficie dedica para el autoconsumo familiar?

0.- <= 0.1 ha	1.-0.1 – 0.3 ha	2.-0.3 – 0.5 ha	3.- 0.5 – 1 ha	4.- + 1 ha

A3.- PRODUCTIVIDAD (Toneladas)

0.- 0 - 3	1.-3 - 5	2.-5 - 7	3.- 7 – 9	4.- +10

A4. ¿Cuánto es su ingreso familiar (USA - dólares)?

0.- de 100	1.- 100 -200	2.-200 -250	3.- 250 - 300	4.- +300

A5.- ¿Depende de insumos externos y en cuánto?

0.- 0 – 20 %	1.-21- 40 %	2.- 41 – 60%	3.- 61 -80%	4.- 81 – 100%

A6.- ¿Número de vías de comercialización para el arroz?

0.- 1 canal	1.-2 canales	2.- 3 canales	3.- 4 canales	4.- 5 canales

A7.- ¿Cuáles son los medios de comercialización de sus productos?

Piladoras	Comerciante	Fomentad	Consumidor	U.N.A	

A8.- ¿Cuáles son las principales fuentes de financiamiento para sus actividades agrícolas?

Banco privado	BAN Ecuador	Cooperativa de ahorro y crédito	Empresa proveedora de insumo	Prestamista (chulquero)	Fomentador	Ninguna

A9.- Seleccione los cultivos que mantiene en su propiedad a parte del arroz (Campaña 2017/2018):

CULTIVO	Maíz	Soya	Cacao	Caña de azúcar	Naranja	Plátano	Yuca	Maní	Frejol	Otros

DIMENSIÓN ECOLOGICA

B1.- ¿Maneja cobertura vegetal?

0.- 0 – 25%	1.-26 – 50%	2.- 51-75%	3.- 76 – 100%	4.- + 100%

B2.- ¿Aplica usted fertilizantes?

0.- Aplica niveles altos de fertilización con insumos inorgánicos	
1.- Aplica niveles medios de fertilización con insumos inorgánicos	
2.- Aplica niveles medios de fertilizantes inorgánicos y orgánicos	
3.- Aplica niveles medios de fertilización con insumos orgánicos	
4.- Aplica niveles altos de fertilización orgánica	

B3.- ¿Cómo maneja el agua?

0.- Tierras continuamente inundadas sin periodos de secado	
1.-Tierras continuamente inundadas con un periodo de secado	
2.- Tierras continuamente inundadas con dos periodos de secado	
3.- Tierras continuamente inundadas con tres periodos de secado	
4.- Tierras continuamente inundadas con más de tres periodos de secado	

B4.- ¿Realiza control de plagas en su cultivo?

0.- Control con altas dosis de pesticidas	
1.- Control con dosis medias de pesticidas	
2.- Control con dosis medias de pesticidas y prácticas culturales	
3.- Control Integrado de plagas	
4.- Control con variedades resistentes o no aplica nada	

B5.- ¿Realiza rotación de sus cultivos?

0.-No realiza rotaciones.	
1-Realiza rotaciones eventualmente	
2.- Rota cada 2 ó 3 años	
3.-Rota todos los años. No deja descansar el suelo	
4.- Rota los cultivos todos los años/Deja descansar un año el lote/incorpora leguminosas o abonos verdes	

B6.- ¿Realiza diversificación de cultivos?

0.- Monocultivo	
1.- Más de dos cultivos, sin asociaciones	
2.- Más de cuatro cultivos, con muy bajo nivel de asociación entre ellos	
3.- Más de cinco cultivos, con media asociación entre ellos	
4.- Más de 6 cultivos, con asociaciones entre ellos y con vegetación natural	

B7. ¿Qué sabe usted de ecología?

0.- ¿Conoce lo que es ecología? (desde una visión amplia, más allá de su finca y conoce sus fundamentos).	
1.- ¿Su conocimiento es sólo en base al manejo de su finca aplicando buenas prácticas? (Tiene un conocimiento de la ecología desde su práctica cotidiana. Sus conocimientos se reducen a la finca con el no uso de agroquímicos más prácticas conservacionistas).	
2.- ¿Cree usted que algunas prácticas están perjudicando al medio ambiente de su chacra? (Tiene sólo una visión parcializada de la ecología)	
3.- ¿Cree que algunas prácticas que realizan los agricultores estén perjudicando el medio ambiente? (No presenta un conocimiento ecológico ni percibe las consecuencias que pueden ocasionar algunas prácticas). Pero utiliza prácticas de bajos insumos.	
4.- Sin ningún tipo de conciencia ecológica. Realiza una práctica agresiva al medio por causa de este desconocimiento	

DIMENSIÓN SOCIO-CULTURAL**C1.- Tipo de vivienda**

0.- No posee casa propia	
1.- Caña	
2.- Madera	
3.- Mixta	
4.- Cemento	

C2.- ¿Tiene acceso a educación?

0.- Sin acceso a la educación	
1.- Acceso a la escuela primaria	
2.- Acceso a la escuela primaria y secundaria con restricciones	
3.- Acceso a la escuela primaria	
4.- Acceso a educación superior y/o cursos de capacitación	

C3.- ¿Qué atención medica posee?

0.- Sin centro sanitario	
1.- Centro sanitario mal equipado y sin personal idóneo	
2.- Centro sanitario mal equipado y personal temporario	
3.- Centro sanitario con personal temporario medianamente equipado	
4.- Centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada	

C4.- ¿A qué servicio tiene acceso?

0.- Sin Luz y sin fuente de agua cercana	
1.- Sin instalación de luz y agua de pozo	
2.- Instalación de luz y agua de pozo	
3.- Instalación de agua y luz	
4.- Instalación completa de agua, luz y teléfono cercano	

C5.- Grado de satisfacción general

0.- Está desilusionado con la vida que lleva, no lo haría más. Está esperando que se le presente una oportunidad para dejar la agricultura	
1.- Poco satisfecho con esta forma de vida, anhela vivir en la ciudad y dedicarse a otra actividad	
2.- No está del todo satisfecho, se queda porque es lo único que sabe hacer	
3.- Está contento, pero antes le iba mucho mejor	
4.- Está muy contento con lo que hace, no haría otra actividad, aunque ésta le reporte más ingresos	

C6.- ¿Cómo es su relación con otros miembros de la comunidad?

0.- Nula	
1.- Baja	
2.- Media	
3.- Alta	
4.- Muy alta	

Anexo 2. Fotos de raíces sometidas a diferentes niveles de *M. graminicola* en la etapa de floración

PUYON/JP002
Planta 8-20
Nivel de nematodos (0)



PUYON/JP002
Planta 8-20
Nivel de nematodos (500)



PUYON/JP002
Planta 8-20
Nivel de nematodos (2000)



INIAP 15
Nivel de nematodos (0)



INIAP 15
Nivel de nematodos (500)



INIAP 15
Nivel de nematodos (1000)



INIAP 15
Nivel de nematodos (2000)



INIAP 15
Nivel de nematodos (3000)



PUYON/JP002
Planta 10-11
Nivel de nematodos (0)



PUYON/JP002
Planta 10-11
Nivel de nematodos (500)



PUYON/JP002
Planta 10-11
Nivel de nematodos (1000)



PUYON/JP002
Planta 10-11
Nivel de nematodos (2000)



PUYON/JP002
Planta 10-11
Nivel de nematodos (3000)
Raíces



Longitud de las raíces sometidas a diferentes niveles de *M. graminicola* en la etapa de llenado de grano.

PUYON/JP002 Planta 8-20
Nivel de nematodos (0)



PUYON/JP002 Planta 8-20
Nivel de nematodos (500)



PUYON/JP002 Planta 8-20
Nivel de nematodos (1000)



PUYON/JP002 Planta 8-20
Nivel de nematodos (2000)



PUYON/JP002 Planta 8-20
Nivel de nematodos (3000)



Raíces sometidas a diferentes niveles de *M. graminicola* en la etapa de cosecha.

PUYON/JP002 Planta 10-11
Nivel de nematodos (0)



PUYON/JP002 Planta 10-11
Nivel de nematodos (500)



PUYON/JP002 Planta 10-11
Nivel de nematodos (1000)



PUYON/JP002 Planta 10-11
Nivel de nematodos (2000)



PUYON/JP002 Planta 10-11
Nivel de nematodos (3000)



INIAP (15)
Nivel de nematodos (0)



INIAP (15)
Nivel de nematodos (500)



INIAP (15)
Nivel de nematodos (1000)



INIAP (15)
Nivel de nematodos (2000)



INIAP (15)
Nivel de nematodos (3000)



PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (0)



PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (500)



PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (1000)



PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (2000)



PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (3000)



Anexo 3. Semillas de arroz de los genotipos luego de haber sido sometidas a diferentes niveles de *M. graminicola*

**PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (0)**



**PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (500)**



**PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (1000)**



**PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (2000)**



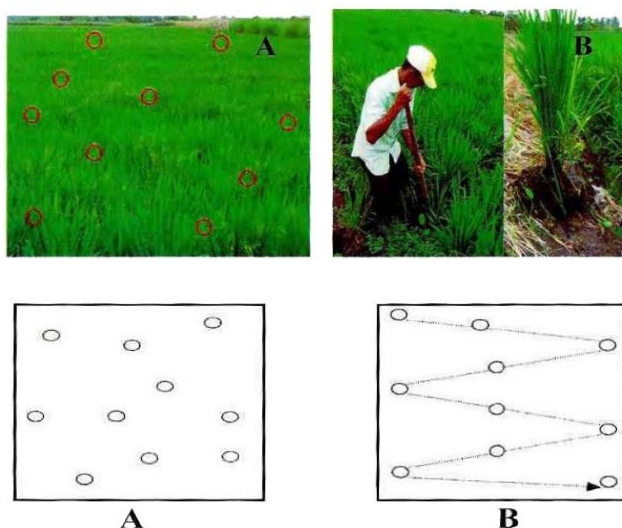
**PUYON/JP002 Planta 8 - 20
Nivel de nematodos (3000)**



Anexo 4. Métodos de muestreo de raíces y suelo

Muestreo de raíces para extraer nematodos

Para el muestreo de raíces en cultivos anuales se debe extraer las plantas con todo el sistema radical, seleccionándolas al azar, o con el método sistemático en zigzag, abarcando toda la plantación. En los cultivos de arroz se extrae 10 sitios/ha, una vez recolectadas, se depositan en bolsas plásticas no perforadas y se identifica con la siguiente información: nombre del cultivo y variedad, edad de la plantación, nombre de la finca y propietario, ubicación del campo, superficie muestreada, lote del campo, número de plantas por muestra y fecha de muestreo (Triviño 2013).



Patrones de muestreo para análisis nematológico: A) Muestreo al azar; B) muestreo sistemático.

Fuente: (INIAP EELS 2013)

Muestreo en suelo para nematodos

En cultivos anuales, en el hoyo de cada planta extraída (10, 20 o 30 plantas/ha según la densidad de siembra), se remueve el suelo adherido a las raíces y se homogeniza; de cada hoyo se extrae una submuestra de 250 gr (aproximadamente media libra), todas ellas se depositan en un recipiente, se homogeniza nuevamente y se toma una muestra compuesta representativa de 1 kg/ha aproximadamente; por último, se deposita en una bolsa plástica y se identifica con los mismos datos descritos para raíces.

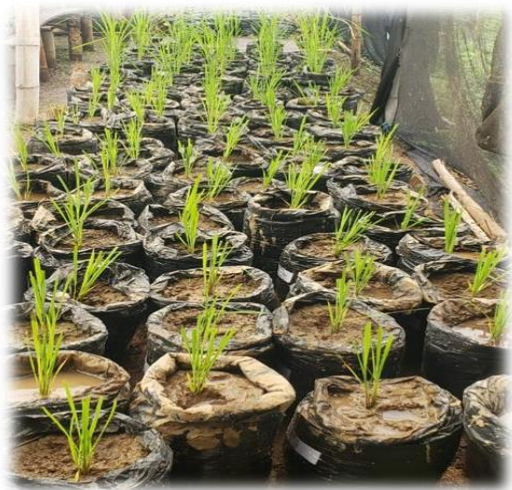
Para el traslado al laboratorio, las muestras se colocan en cajas de cartón o en cajas térmicas para protegerlas del sol (Triviño 2013).



Procedimiento para recolectar muestras de suelo con fines de análisis nematológico.

Fuente: INIAP-EELS (2013).

Anexo 5. Fotografías del estudio experimental



Primeros días de trasplante de arroz



Inoculación de *M. graminicola* en la etapa inicial de la planta de arroz



Visita de la Nematóloga Dra. Carmen Triviño al trabajo experimental



Recolección de las muestras en campos infestados de Quevedo y Babahoyo



Encuesta a los agricultores arroceros



Día de campo, dando a conocer los avances del proyecto



Capacitación con los agricultores de la zona arrocera de Santa Lucia provincia del Guayas